

**АКАДЕМИЯ ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ
«ACADEMY OF NATURAL HISTORY»**

**МЕЖДУНАРОДНЫЙ
ЖУРНАЛ ПРИКЛАДНЫХ
И ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ**

**INTERNATIONAL
JOURNAL OF APPLIED
AND FUNDAMENTAL
RESEARCH**

Журнал основан в 2007 году
The journal is based in 2007
ISSN 1996-3955

Двухлетний импакт-фактор
РИНЦ = 0,593

Пятилетний импакт-фактор
РИНЦ = 0,299

№ 10 2023

Научный журнал
Scientific journal

Журнал International Journal of Applied and Fundamental Research (Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований) зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций. Свидетельство ПИ № ФС 77-60735.

Электронная версия размещается на сайте www.rae.ru
The electronic version takes places on a site www.rae.ru

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР
к.м.н. *Н.Ю. Стукова*
Ответственный секретарь
к.м.н. *М.Н. Бизенкова*

EDITOR
Natalia Stukova
Senior Director and Publisher
Maria Bizenkova

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

д.б.н., проф. Абдуллаев А. (Душанбе); к.б.н. Алиева К.Г. (Махачкала); д.х.н., к.ф.-м.н., проф. Алоев В.З. (Чегем-2); д.б.н., проф. Андреева А.В. (Уфа); к.географ.н., доцент Аничкина Н.В. (Липецк); к.ф.-м.н. Барановский Н.В. (Томск); д.б.н., доцент Белых О.А. (Иркутск); д.т.н., проф. Бурмистрова О.Н. (Ухта); д.т.н., доцент Быстров В.А. (Новокузнецк); д.м.н., проф. Гарбуз И.Ф. (Тирасполь); д.ф.-м.н., проф. Геворкян Э.А. (Москва); д.х.н., проф. Гурбанов Г.Р. (Баку); д.ветеринар.н., доцент Ермолина С.А. (Киров); к.т.н. Есенаманова М.С. (Атырау); к.ф.-м.н., д.п.н., проф. Ефремова Н.Ф. (Ростов-на-Дону); д.м.н. Жураковский И.П. (Новосибирск); д.т.н., доцент Ибраев И.К. (Темиртау); к.т.н., доцент Исмаилов З.И. (Баку); д.б.н., с.н.с. Кавцевич Н.Н. (Североморск); д.т.н., проф. Калмыков И.А. (Ставрополь); д.б.н. Кокорева И.И. (Алматы); д.г.-м.н., доцент Копылов И.С. (Пермь); к.б.н., доцент Коротченко И.С. (Красноярск); к.с.-х.н., доцент Кряжева В.Л. (Нижний Новгород); д.ф.-м.н., доцент Кульков В.Г. (Волжский); д.б.н. Ларионов М.В. (Балашов); д.б.н., к.с.-х.н., доцент Леонтьев Д.Ф. (Иркутск); д.географ.н., к.б.н., проф. Луговской А.М. (Москва); д.г.-м.н., с.н.с. Мельников А.И. (Иркутск); д.т.н., проф. Несветаев Г.В. (Ростов-на-Дону); д.с.-х.н. Никитин С.Н. (п. Тимирязевский); д.фарм.н., доцент Олешко О.А. (Пермь); д.с.-х.н., с.н.с., проф. Партоев К. (Душанбе); к.п.н., доцент Попова И.Н. (Москва); д.т.н., проф. Рогачев А.Ф. (Волгоград); д.м.н., с.н.с., доцент Розыходжаева Г.А. (Ташкент); д.г.-м.н. Сакиев К.С. (Бишкек); д.т.н., проф. Сугак Е.В. (Красноярск); д.ветеринар.н., проф. Трефилов Б.Б. (Санкт-Петербург); к.т.н., доцент Хайдаров А.Г. (Санкт-Петербург); д.м.н., проф. Чарышкин А.Л. (Ульяновск); д.географ.н., проф. Чодураев Т.М. (Бишкек); д.б.н., проф. Шалпыков К.Т. (Бишкек); к.х.н. Шарифуллина Л.Р. (Москва); д.п.н., проф. Щирин Д.В. (Санкт-Петербург)

МЕЖДУНАРОДНЫЙ ЖУРНАЛ ПРИКЛАДНЫХ
И ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

INTERNATIONAL JOURNAL OF APPLIED
AND FUNDAMENTAL RESEARCH

Журнал включен в Реферативный журнал и Базы данных ВИНТИ.

Сведения о журнале ежегодно публикуются в международной справочной системе по периодическим и продолжающимся изданиям «Ulrich's Periodicals directory» в целях информирования мировой научной общественности.

Журнал представлен в ведущих библиотеках страны и является рецензируемым.

Журнал представлен в НАУЧНОЙ ЭЛЕКТРОННОЙ БИБЛИОТЕКЕ (НЭБ) –
головном исполнителе проекта по созданию Российского индекса научного
цитирования (РИНЦ) и имеет импакт-фактор Российского индекса научного
цитирования (ИФ РИНЦ).

Двухлетний импакт-фактор РИНЦ = 0,593.

Пятилетний импакт-фактор РИНЦ = 0,299.

Учредитель, издательство и редакция:
ООО НИЦ «Академия Естествознания»

Почтовый адрес: 105037, г. Москва, а/я 47

Адрес редакции и издателя: 410056, г. Саратов, ул. им. Чапаева В.И., д. 56

ISSN 1996-3955

Тел. редакции – 8-(499)-704-13-41

Факс (845-2)-47-76-77

E-mail: edition@rae.ru

Зав. редакцией Т.В. Шнуровозова

Техническое редактирование и верстка Е.Н. Доронкина

Корректор Е.С. Галенкина, Н.А. Дудкина

Подписано в печать – 31.10.2023

Дата выхода номера – 30.11.2023

Формат 60x90 1/8

Типография

ООО НИЦ «Академия Естествознания»

410035, Саратовская область, г. Саратов, ул. Мамонтовой, д. 5

Распространение по свободной цене

Усл. печ. л. 6

Тираж 500 экз.

Заказ МЖПиФИ 2023/10

© ООО НИЦ «Академия Естествознания»

СОДЕРЖАНИЕ

БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

СТАТЬЯ

ВНУТРИКЛЕТОЧНАЯ ЛОКАЛИЗАЦИЯ СТАБИЛИЗИРОВАННЫХ
МАЛЬТОДЕКСТРИНОМ НАНОЧАСТИЦ ДИОКСИДА ЦЕРИЯ,
МОДИФИЦИРОВАННЫХ ФЛУОРЕСЦЕНТНОЙ МЕТКОЙ,
В НОРМАЛЬНЫХ И ТРАНСФОРМИРОВАННЫХ КУЛЬТУРАХ КЛЕТОК

Замятина Е.А., Аникина В.А., Попова Н.Р. 5

НАУЧНЫЙ ОБЗОР

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ И МОЛЕКУЛЯРНО-ГЕНЕТИЧЕСКАЯ
ХАРАКТЕРИСТИКА ВИРУСА БОЛЕЗНИ НЬЮКАСЛА

*Булах А.В., Мельников Н.П., Кыдыр Н.С., Джарбанова А.Д.,
Исагулов Т.Е., Багыбаева А.М., Джамалова Г.А.* 10

МЕДИЦИНСКИЕ НАУКИ

СТАТЬЯ

ОСОБЕННОСТИ РАСПОЛОЖЕНИЯ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ ЛИНИЙ
ГНАТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ ЛИЦА НА БОКОВЫХ ТЕЛЕРЕНТГЕНОГРАММАХ

Дмитриенко Д.С., Фомин И.В., Ягупова В.Т., Дмитриенко Т.Д., Ягунов П.П. 16

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

СТАТЬИ

ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РВ, CU, ZN И AS МЕЖДУ
ПРОДУКТАМИ ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ ТОНКОЙ ПЫЛИ
МЕДЕПЛАВИЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА СЕРНОЙ КИСЛОТОЙ

Досмухамедов Н.К., Жолдасбай Е.Е., Курмансейтов М.Б., Аргын А.А. 22

РЕЗУЛЬТАТЫ НАБЛЮДЕНИЙ ЛЕДОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ОБЪЕКТЫ,
ЗАТОПЛЕННЫЕ В КАРСКОМ МОРЕ

*Римский-Корсаков Н.А., Пронин А.А., Казеннов А.Ю.,
Кикнадзе О.Е., Анисимов И.М., Лесин А.В., Муравья В.О.* 31

ФАРМАЦЕВТИЧЕСКИЕ НАУКИ

СТАТЬИ

МОЛЕКУЛЯРНЫЙ ДОКИНГ В ИССЛЕДОВАНИИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ
АМИДОВ И ГИДРАЗИДОВ N-АРОИЛЗАМЕЩЕННЫХ АНТРАНИЛОВЫХ
КИСЛОТ С МУТАНТНОЙ ФОРМОЙ 5-ЛИПОКСИГЕНАЗЫ В ПОИСКЕ
СОЕДИНЕНИЙ С ПРОТИВОВОСПАЛИТЕЛЬНОЙ АКТИВНОСТЬЮ

Андрюков К.В. 38

ФИТОТЕРАПЕВТИЧЕСКОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЛЕКАРСТВЕННОГО
РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ В КОСМЕТОЛОГИИ

Семенова Е.В., Абаполова И.И., Белинская Р.И. 43

CONTENTS

BIOLOGICAL SCIENCES

ARTICLE

INTRACELLULAR LOCALIZATION OF FLUORESCENCE-MODIFIED
MALTODEXTRIN STABILIZED CERIUM DIOXIDE NANOPARTICLES
IN CULTURED NORMAL AND TRANSFORMED CELLS

Zamyatina E.A., Anikina V.A., Popova N.R. 5

REVIEW

ECOLOGICAL AND MOLECULAR GENETIC CHARACTERIZATION
OF NEWCASTLE DISEASE VIRUS

*Bulakh A.V., Melnikov N.P., Kydyr N.S., Dzharbanova A.D.,
Isagulov T.E., Bagybaeva A.M., Zhamalova G.A.* 10

MEDICAL SCIENCES

ARTICLE

FEATURES OF THE LOCATION OF THE HORIZONTAL LINES
OF THE GNATIC PART OF THE FACE ON LATERAL TELERADIOGRAMS

Dmitrienko D.S., Fomin I.V., Yagupova V.T., Dmitrienko T.D., Yagupov P.P. 16

TECHNICAL SCIENCES

ARTICLES

FEATURES OF DISTRIBUTION OF PB, CU, ZN AND AS
BETWEEN PRODUCTS OF LEACHING OF FINE DUST
OF COPPER SMELTING PRODUCTION WITH SULFURIC ACID

Dosmukhamedov N.K., Zholdasbay E.E., Kurmanseytov M.B., Argyn A.A. 22

OBSERVATION OF ICE IMPACT RESULTS ON FLOODED OBJECTS
AT KARA SEA

*Rimskiy-Korsakov N.A., Pronin A.A., Kazennov A.Yu., Kiknadze O.E.,
Anisimov I.M., Lesin A.V., Muravya V.O.* 31

PHARMACEUTICAL SCIENCES

ARTICLES

MOLECULAR DOCKING IN THE STUDY OF THE INTERACTION OF AMIDES
AND HYDRAZIDES OF N-AROYL-SUBSTITUTED ANTHRANILIC ACIDS
WITH THE MUTANT FORM OF 5-LIPOXYGENASE IN THE SEARCH
FOR COMPOUNDS WITH ANTI-INFLAMMATORY ACTIVITY

Andryukov K.V. 38

PHYTOTHERAPEUTIC USE OF MEDICINAL PLANT RAW MATERIALS
IN COSMETOLOGY

Semenova E.V., Abapolova I.I., Belinskaya R.I. 43

СТАТЬЯ

УДК 577:546.655

ВНУТРИКЛЕТОЧНАЯ ЛОКАЛИЗАЦИЯ СТАБИЛИЗИРОВАННЫХ МАЛЬТОДЕКСТРИНОМ НАНОЧАСТИЦ ДИОКСИДА ЦЕРИЯ, МОДИФИЦИРОВАННЫХ ФЛУОРЕСЦЕНТНОЙ МЕТКОЙ, В НОРМАЛЬНЫХ И ТРАНСФОРМИРОВАННЫХ КУЛЬТУРАХ КЛЕТОК**Замятина Е.А., Анкина В.А., Попова Н.Р.***ФГБУН Институт теоретической и экспериментальной биофизики Российской академии наук, Пущино, e-mail: sonyoru162@gmail.com, viktoriya.anikina@list.ru, nellipopovaran@gmail.com*

Наночастицы диоксида церия (НДЦ) являются одним из наиболее перспективных наноматериалов для биомедицинского применения, в связи с чем одной из актуальных задач при исследовании биологической активности НДЦ является исследование путей интернализации и внутриклеточной локализации наночастиц в различных типах клеток. Цель данного исследования – провести анализ цитотоксичности и внутриклеточной локализации НДЦ, модифицированных флуоресцеин-5-изотиоцианатом (ФИТЦ), в культурах нормальных (фибробласты мышины NCTC L929) и трансформированных (остеосаркома человека MNNG/HOS) клеток. Было показано отсутствие цитотоксического эффекта НДЦ, модифицированных ФИТЦ, для нормальных и трансформированных клеток в диапазоне концентраций от 1 до 0,01 мг/мл. Синтезированные НДЦ визуализировались внутри клеток при помощи конфокальной флуоресцентной микроскопии, что свидетельствовало об успешной модификации наночастиц флуоресцентной меткой (ФИТЦ). Определена рабочая концентрация НДЦ для обоих типов клеток, она составляет 30–300 мкл/мл. Установлено, что накопление наночастиц происходит через 9–10 ч инкубации в обоих типах клеток. Методом дифференциального окрашивания было показано, что НДЦ, модифицированные ФИТЦ, локализуются преимущественно в цитоплазме и лизосомах, не попадая в ядра клеток.

Ключевые слова: наночастицы диоксида церия, флуоресцеин-5-изотиоцианат (ФИТЦ), внутриклеточная интернализация, визуализация *in vitro*, фибробласты мыши NCTC L929, остеосаркома человека MNNG/HOS

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 22-63-00082).

INTRACELLULAR LOCALIZATION OF FLUORESCENCE-MODIFIED MALTODEXTRIN STABILIZED CERIUM DIOXIDE NANOPARTICLES IN CULTURED NORMAL AND TRANSFORMED CELLS**Zamyatina E.A., Anikina V.A., Popova N.R.***Institute of Theoretical and Experimental Biophysics of the Russian Academy of Sciences, Puschino, e-mail: sonyoru162@gmail.com, viktoriya.anikina@list.ru, nellipopovaran@gmail.com*

Cerium dioxide nanoparticles (CeNPs) are one of the most promising nanomaterials for biomedical applications. Therefore, one of the current challenges in the investigation of the biological activity of CeNPs is to study the pathways of internalization and intracellular localization of nanoparticles in different cell types. The aim of this study was to analyze the cytotoxicity and intracellular localization of CeNPs modified with fluorescein-5-isothiocyanate (FITC) in normal (mouse fibroblast NCTC L929) and transformed (Human Caucasian osteosarcoma MNNG/HOS) cells. It was demonstrated that CeNPs modified with FITC did not exhibit cytotoxic effects on normal and transformed cells in the concentration range from 1 to 0.01 mg/ml. The working concentration of dyes for both types of cells has been determined and is 30–300 µl/ml. The synthesized CeNPs were visualized inside cells using confocal fluorescence microscopy, indicating successful modification of the nanoparticles with a fluorescent organic dye (FITC). It was found that the accumulation of nanoparticles occurs after 9–10 hours of incubation in both types of cells. It was demonstrated that FITC-modified CeNPs primarily localize in the cytoplasm and lysosomes, without entering the cell nuclei.

Keywords: cerium dioxide nanoparticles, fluorescein isothiocyanate (FITC), *in vitro* visualization, mouse fibroblasts NCTC L929, intracellular localization, human osteosarcoma MNNG/HOS

The research was supported by a grant from the Russian Science Foundation (project no. 22-63-00082).

Нанокристаллический диоксид церия является одним из наиболее перспективных наноматериалов для биомедицинского применения [1–3]. Наночастицы диоксида церия (НДЦ) обладают способностью влиять на протекание редокс-процессов в живых клетках [4, 5], что обуславливает их биологическую активность и сравнительно низкую токсичность *in vitro* [6–8]. Таким образом, одной из актуальных задач при исследовании

биологической активности НДЦ является исследование путей интернализации и внутриклеточной локализации синтезированных наночастиц в различных видах клеток.

Для исследования механизмов биологической активности и мониторинга накопления наночастиц в живой клетке *in vitro* необходимо проводить их функционализацию люминесцентными метками. Для этих целей синтезируют наночастицы

стабилизированные полимерными молекулами, в качестве которых могут выступать полисахариды, с последующей фиксацией на их поверхности люминесцентной метки, например, флуоресцеин-5-изотиоцианат (ФИТЦ). Такой подход позволяет получать биосовместимые, стабильные высокодисперсные золи наночастиц с контролируемой морфологией и возможностью их визуализации в клеточных системах *in vitro*.

Цель исследования – провести анализ цитотоксичности и внутриклеточной локализации НДЦ, модифицированных ФИТЦ, в культурах нормальных (фибробласты мыши L929) и трансформированных (остеосаркома костной ткани человека MNNG) клеток *in vitro*.

Материалы и методы исследования

НДЦ, стабилизированные мальтодекстрином, были синтезированы методом, описанным ранее [9]. Затем стабилизированные НДЦ функционализировали люминесцентной меткой путем растворения порошка синтезированных НДЦ в деионизированной воде при 95°C и добавления флуоресцеин-5-изотиоцианата. После растворения охлаждали и добавляли 50 мл изопропилового спирта. Выпавший осадок отделяли центрифугированием (10000 g, 10 мин), затем осадок промывали изопропиловым спиртом и высушивали в темноте при 60 °C. Очищенный ярко-желтый золь наночастиц получали с использованием диализа. Затем проводили анализ размеров, полученных наночастиц методом динамического светорассеяния (Malvern Zetasizer Nano ZS), который выявил, что гидродинамический диаметр наночастиц без ультразвуковой обработки составлял в среднем 30 нм (Синтез #1), тогда как при обработке в ультразвуковой ванне (суммарно 24 ч) гидродинамический диаметр уменьшался в среднем до 3 нм (Синтез #2).

В работе были использованы клеточные линии из коллекции клеточных культур Лаборатории тераностики и ядерной медицины ИТЭБ РАН: фибробласты мыши (NCTC L929) и остеосаркома костной ткани человека (MNNG/HOS). Клетки культивировали в среде DMEM/F12 (1:1) с добавлением 10% бычьей эмбриональной сыворотки. Культивирование клеточных культур проводили в 96-луночных планшетах в плотности 30000 клеток/см². При исследовании биодоступности наночастиц исходную среду заменяли на растворы исследуемых образцов в среде DMEM/F12 с добавлением 10% бычьей эмбриональной сыворотки. Затем клетки инкубировали в присутствии тестируемых образцов в течение 24, 48 и 72 ч.

Анализ цитотоксичности проводили с использованием МТТ-теста и селективного окрашивания флуоресцентными красителями. Определение метаболической активности в живых клетках проводили с помощью МТТ-анализа, основанного на восстановлении бесцветной соли тетразолия (3-[4,5-диметилтетразол-2-ил]-2,5-дифенилтетразолия бромид, МТТ) до формазана, который имеет пурпурное окрашивание. После инкубации клеток в присутствии образцов среду заменяли на раствор МТТ в среде DMEM/F12 без сыворотки в концентрации 0,5 мг/мл. Через 3 ч среду с МТТ заменяли на ДМСО, планшеты помещали на шейкер при температуре 37°C на 10 мин, после чего измеряли оптическую плотность растворов в лунках планшетов при длине волны 570 нм. Значения оптической плотности пересчитывали в проценты от значений контрольной группы, отклонения в выборках указывали в виде стандартного отклонения (SD). Значимость отклонений между выборками и контролем подтверждали с использованием t-критерия Уэлча при $0,01 < p < 0,05$ (*) и $0,001 < p < 0,01$ (**), с использованием GraphPad Prism.

Жизнеспособность клеточных культур в присутствии образцов оценивали с использованием флуоресцентных красителей Hoechst 33342 (поглощение – 350 нм, эмиссия – 461 нм) и йодид пропидия (поглощение – 493, эмиссия – 636 нм) (LIVE/DEAD-тест). Для каждой группы клеток исследовали пять полей в каждой лунке с помощью микроскопа Carl Zeiss Axiovert 200. Соотношение клеток (общее количество клеток / количество мертвых клеток) рассчитывали с использованием программного обеспечения ImageJ.

Внутриклеточную локализацию двух типов (Синтез #1 и Синтез #2) НДЦ, меченных ФИТЦ, исследовали на культурах нормальных и трансформированных клеток. Клетки высевали на 96-луночные планшеты в плотности 30000 клеток/см² и культивировали в среде DMEM/F12 с добавлением 10% бычьей эмбриональной сыворотки. Разведения тестируемых образцов готовили с использованием среды DMEM/F12 с добавлением 10% эмбриональной бычьей сыворотки в диапазоне концентраций от 25 до 500 мкл/мл. Для визуализации ядра и лизосом после 24 ч инкубации в присутствии ФИТЦ-меченных НДЦ были использованы флуоресцентные красители: Hoechst 33342 – для окрашивания ядер клеток (голубой цвет) и LysoTracker Red – для окрашивания лизосом клеток (красный цвет). Наночастицы за счет ФИТЦ были окрашены в зеленый цвет (поглощение – 495 нм, эмиссия – 525 нм).

**Результаты исследования
и их обсуждение**

*1. Исследование влияния НДЦ,
модифицированных ФИТЦ,
на метаболическую активность
и жизнеспособность клеток
NCTC L929 и MNNG/HOS*

На рис. 1 показано влияние НДЦ, модифицированных ФИТЦ, на активность митохондриальных и цитоплазматических дегидрогеназ и жизнеспособность NCTC L929 и MNNG/HOS, оцененных методами МТТ- и LIVE/DEAD-тестов.

Из диаграмм на рис. 1, А, видно, что дегидрогеназная активность NCTC L929, оцененная по восстановлению МТТ, при инкубации в течение 72 ч в присутствии НДЦ Синтез #1 в концентрации 5 мг/мл, снижается на $47 \pm 8\%$ относительно контроля. Метаболическая активность NCTC L929 в присутствии НДЦ Синтез #1 в концентрации от 0,1 мг/мл до 0,01 мг/мл увеличивается на $6 \pm 2\%$ относительно контроля. При инкубации NCTC L929 в присутствии НДЦ Синтез #2 было показано снижение метаболической актив-

ности на $50 \pm 3\%$ относительно контроля в концентрации 5 мг/мл. В диапазоне концентраций от 1 мг/мл до 0,01 мг/мл НДЦ Синтез #2 не было отмечено изменения дегидрогеназной активности клеток относительно контроля. Оценка жизнеспособности клеток NCTC L929 в присутствии НДЦ Синтез #1 и НДЦ Синтез #2 показывает отсутствие цитотоксического эффекта исследуемых наночастиц в диапазоне концентраций от 5 до 0,01 мг/мл после инкубации в течение 72 ч. В исследуемом диапазоне концентраций НДЦ, модифицированных ФИТЦ (от 5 до 0,01 мг/мл), для обоих образцов наночастиц (Синтез #1 и Синтез #2) для культуры нормальных клеток (NCTC L929) значения IC_{20} и IC_{50} не были обнаружены.

Из диаграмм на рис. 1, Б, видно, что дегидрогеназная активность MNNG/HOS при инкубации в присутствии НДЦ Синтез #1 в концентрации 5 мг/мл снижается на $57 \pm 2\%$ относительно контроля. Напротив, в концентрации НДЦ Синтез #1 от 1 до 0,01 мг/мл дегидрогеназная активность MNNG/HOS увеличивается на $40 \pm 3\%$ относительно контроля.

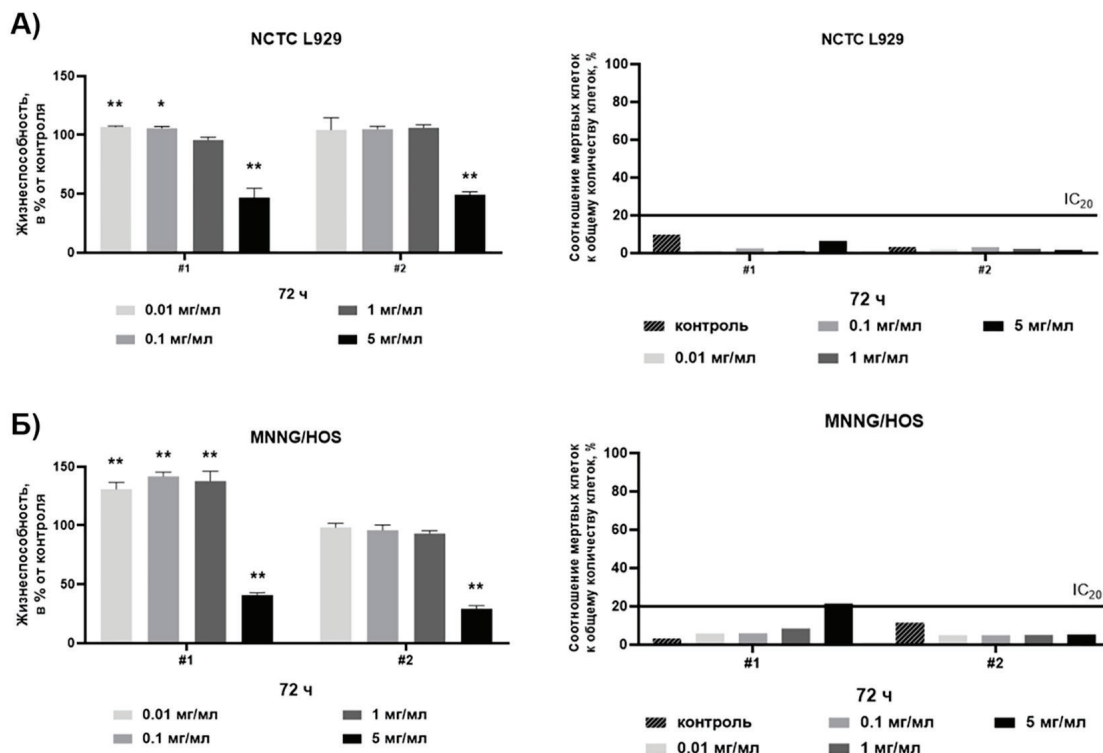


Рис. 1. Результаты МТТ- и LIVE/DEAD-тестов на NCTC L929 и MNNG/HOS in vitro. Тест проведен через 72 ч инкубации клеток в присутствии НДЦ в концентрациях от 5 до 0,01 мг/мл. Значимость отклонений между выборками и контролем подтверждалась с использованием t-критерия Уэлча при $0,01 < p < 0,05$ (*), при $0,001 < p < 0,01$ (**)

При инкубации MNNG/HOS в присутствии НДЦ Синтез #2 в концентрации 5 мг/мл дегидрогеназная активность клеток снижалась на $64 \pm 3\%$. Для НДЦ Синтез #2 в диапазоне концентраций от 1 до 0,01 мг/мл, так же как и в эксперименте с NCTC L929, не было отмечено изменения дегидрогеназной активности клеток MNNG/HOS относительно контроля. Оценка жизнеспособности клеток MNNG/HOS в присутствии НДЦ Синтез #1 в концентрации от 1 до 0,01 мг/мл и НДЦ Синтез #2 в концентрации от 5 до 0,01 мг/мл показывает отсутствие цитотоксического эффекта исследуемых наночастиц после инкубации в течение 72 ч. Однако для клеток MNNG/HOS было достигнуто значение IC_{20} при концентрации НДЦ Синтез #1 равной 5 мг/мл.

2. Внутриклеточная локализация НДЦ, модифицированных ФИТЦ, в культурах нормальных (NCTC L929) и раковых (MNNG/HOS) клеток

Для подбора рабочих концентраций НДЦ была использована клеточная культура NCTC L929, которую инкубировали от 3 до 72 ч в присутствии тестируемых образцов в концентрациях от 15 до 500 мкл/мл. Рабочей концентрацией ФИТЦ-меченных НДЦ выбиралась концентрация, при которой интенсивность свечения образцов была достаточной для визуальной оценки распределения наночастиц внутри клетки и не влияла значительно на жизнеспособность клеток. Рабочая концентрация красителей (Hoechst 33342, LysoTracker Red) для данных типов клеток была определена как 2 мкМ. Установлено, что накопление наночастиц происходит через 9–10 ч инкубации в обоих типах клеток. Оптимальное время инкубации, при ко-

тором поглощенные ФИТЦ-меченные НДЦ хорошо визуализировались внутри клеток, составило 24 ч. Таким образом, для проведения исследования внутриклеточной локализации исследуемых НДЦ, модифицированных ФИТЦ, было выбрано время инкубации 24 ч, а концентрации наночастиц составили для НДЦ Синтез #1 – 30 мкл/мл, для НДЦ Синтез #2 – 300 мкл/мл. Данные по внутриклеточной локализации НДЦ, модифицированных ФИТЦ, представлены на рис. 2 для NCTC L929 и на рис. 3 для MNNG/HOS.

Установлено, что максимальное накопление НДЦ внутри обоих типов клеточных культур происходит через 24 ч инкубации (рис. 2, 3). Однако показано, что большее накопление НДЦ, модифицированных ФИТЦ, как для наночастиц Синтез #1, так и для наночастиц Синтез #2 характерно для нормальной клеточной культуры (NCTC L929), что подтверждается более высоким уровнем зеленой флуоресценции. Как в нормальных, так и в трансформированных клеточных культурах ФИТЦ-меченные НДЦ локализуются преимущественно в цитоплазме и лизосомах, не попадая в ядра клеток. Данные подтверждаются микрофотографиями, полученными после обработки путем колокализации спектров (рис. 2, 3).

Для попадания внутрь клетки НДЦ должны пересечь клеточную мембрану, что возможно посредством ряда механизмов эндоцитоза: макропиноцитоза, клатрин-опосредованного эндоцитоза, кавеол-опосредованного эндоцитоза или клатрин/кавеол-независимого эндоцитотического механизма [10], а также поглощение наночастиц может происходить по пассивному механизму [11].

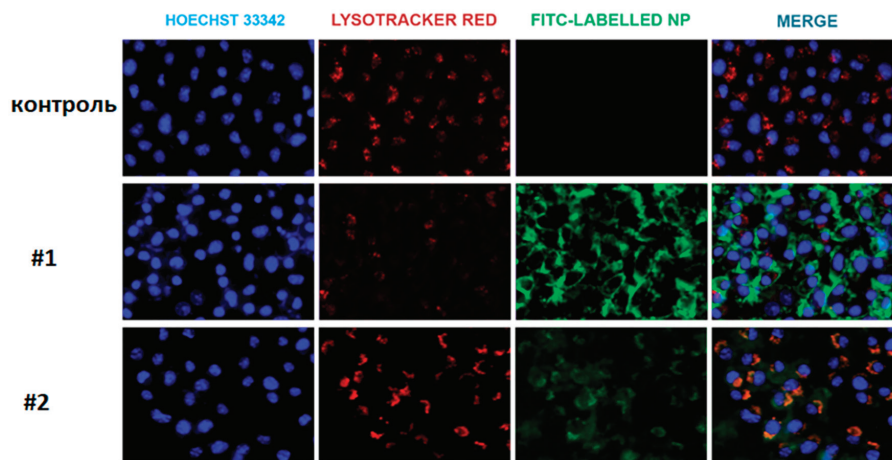


Рис. 2. Изображения культуры NCTC L929, полученные методом конфокальной флуоресцентной микроскопии. Hoechst 33342 – синий, LysoTracker Red – красный, FITC – зеленый, Merge – синий + красный + зеленый. Масштабная линейка = 30 мкм

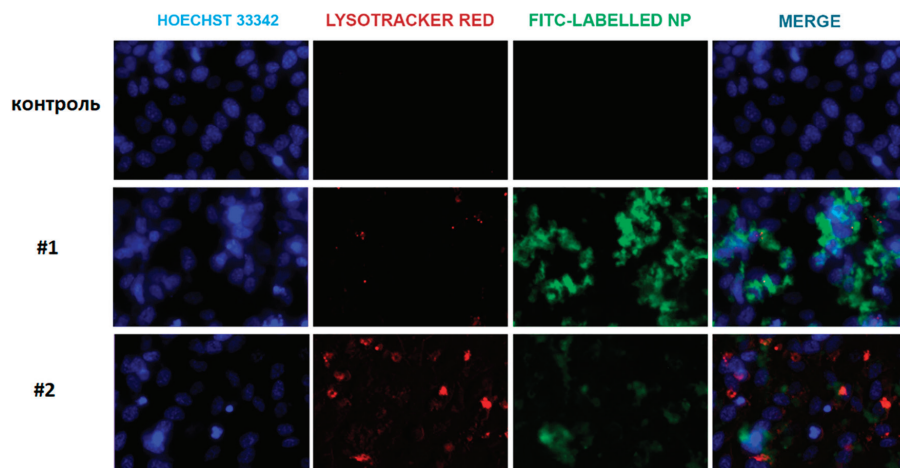


Рис. 3. Изображения культуры MNNG/HOS, полученные методом конфокальной флуоресцентной микроскопии. Hoechst 33342 – синий, LysoTracker Red – красный, FITC – зеленый, Merge – синий + красный + зеленый. Масштабная линейка = 30 мкм

Согласно литературным данным, в трансформированных клетках наблюдается более интенсивное и быстрое поглощение молекул или частиц, чем в нормальных клетках [12]. Однако данное предположение не согласуется с результатами, полученными нами на культурах NCTC L929 и MNNG/HOS, где наблюдается противоположный эффект. Это может быть связано с активацией рецепторов на поверхности нормальных клеток, и, таким образом, скорость рецептор-опосредованного эндоцитоза может быть увеличена. Поэтому, помимо локализации НДЦ внутри клетки, крайне актуально исследовать механизмы эндоцитоза, благодаря которым наночастицы проникают в клетку.

Заключение

Таким образом, полученные данные свидетельствуют о том, что для обоих типов НДЦ, модифицированных ФИТЦ, показано отсутствие достоверного цитотоксического эффекта на культурах как нормальных (NCTC L929), так и трансформированных (MNNG/HOS) клеток в концентрациях от 1 до 0,01 мг/мл. Оба исследованных типа НДЦ визуализируются внутри нормальных и трансформированных клеток при помощи конфокальной флуоресцентной микроскопии в концентрациях НДЦ Синтез #1 – 30 мкл/мл и для НДЦ Синтез #2 – 300 мкл/мл и локализуются преимущественно в цитоплазме и лизосомах, не попадая в ядра клеток.

Список литературы

1. Xu Z., Keller E., Beltran A.M., Zheng K., Voccacini A.R. Cerium doped dendritic mesoporous bioactive glass

nanoparticles with bioactivity and drug delivery capability // Journal of Non-Crystalline Solids. 2023. Vol. 620. P. 122578.

2. Singh K.R., Nayak V., Sarkar T., Singh R.P. Cerium oxide nanoparticles: properties, biosynthesis and biomedical application // RSC Adv. 2020. Vol. 10, Is. 45. P. 27194–27214.

3. Feng N., Liu Y., Dai X., Wang Y., Guo Q., Li Q. Advanced applications of cerium oxide based nanozymes in cancer // RSC Adv. 2022. Vol. 12, Is. 3. P. 1486–1493.

4. Lord M.S., Berret J.F., Singh S., Vinu A., Karakoti A.S. Redox Active Cerium Oxide Nanoparticles: Current Status and Burning Issues // Small. 2021. Vol. 17, Is. 51. P. 2102342.

5. Seminko V., Maksimchuk P., Grygorova G., Okrushko E., Avrunin O., Semenets V., Malyukin Y. Mechanism and Dynamics of Fast Redox Cycling in Cerium Oxide Nanoparticles at High Oxidant Concentration // J. Phys. Chem. C. 2021. Vol. 125, Is. 8. P. 4743–4749.

6. Zhang M., Zhang C., Zhai X., Luo F., Du Y., Yan C. Antibacterial mechanism and activity of cerium oxide nanoparticles // Sci. China Mater. 2019. Vol. 62, Is. 11. P. 1727–1739.

7. Sarnatskaya V., Shlapa Y., Yushko L., Shton I., Solopan S. Biological activity of cerium dioxide nanoparticles // J Biomedical Materials Res. 2020. Vol. 108, Is. 8. P. 1703–1712.

8. Tumkur P.P., Gunasekaran N.K., Lamani B.R., Nazario Bayon N., Prabhakaran K., Hall J.C., Ramesh G.T. Cerium Oxide Nanoparticles: Synthesis and Characterization for Biosafe Applications // Nanomanufacturing. 2021. Vol. 1, Is. 3. P. 176–189.

9. Щербakov А.Б., Жолобак Н.М., Иванов В.К., Иванова О.С., Марчевский А.В., Баранчиков А.Е., Спивак Н.Я., Третьяков Ю.Д. Синтез и антиоксидантная активность биосовместимых водных зелей нанокристаллического диоксида церия, стабилизированных мальтодекстрином // Журнал неорганической химии. 2012. Т. 57. № 11. С. 1499.

10. Sousa De Almeida M., Susnik E., Drasler B., Taladriz-Blanco P., Petri-Fink A., Rothen-Rutishauser B. Understanding nanoparticle endocytosis to improve targeting strategies in nanomedicine // Chem. Soc. Rev. 2021. Vol. 50, Is. 9. P. 5397–5434.

11. Donahue N.D., Acar H., Wilhelm S. Concepts of nanoparticle cellular uptake, intracellular trafficking, and kinetics in nanomedicine // Advanced Drug Delivery Reviews. 2019. Vol. 143. P. 68–96.

12. Xia Q., Huang J., Feng Q., Chen X., Liu X. Size- and cell type-dependent cellular uptake, cytotoxicity and in vivo distribution of gold nanoparticles // IJN. 2019. Vol. 14. P. 6957–6970.

НАУЧНЫЙ ОБЗОР

УДК 578.831.11:578.53

**ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ И МОЛЕКУЛЯРНО-ГЕНЕТИЧЕСКАЯ
ХАРАКТЕРИСТИКА ВИРУСА БОЛЕЗНИ НЬЮКАСЛА****Булах А.В., Мельников Н.П., Кыдыр Н.С., Джарбанова А.Д.,
Исагулов Т.Е., Багыбаева А.М., Джамалова Г.А.***ТОО «Научно-диагностический центр Animal Expert Group», Алматы,
e-mail: melnikov.np@aeg-lab.kz*

В статье отражены результаты теоретических исследований по изучению экологической и молекулярно-генетической характеристики вируса болезни Ньюкасла, особенностей протекания инфекции. Болезнь Ньюкасла представляет собой системную инфекцию птиц, вирус вызывает высокую заболеваемость и смертность, классифицируется как вирулентный штамм птичьего ортоавулавруса 1 (AOAV-1), принадлежащий к роду *Orthoavulavirus*. Спектр заболеваний у птиц делится на два широких фенотипа – авирулентная (лентогенная, легко и бессимптомно протекающее заболевание у диких водоплавающих птиц) и вирулентная (мезогенная, вызывающая респираторные или неврологические симптомы с низкой смертностью; велогенная, тяжело протекающее заболевание у домашних птиц с высокой смертностью) инфекции. Вирус болезни Ньюкасла распространяется инфицированными птицами в течение 1–2 недель после заражения с фекалиями и выделениями из дыхательных путей. Вирус высоко стабилен вне хозяина, выживает в зависимости от сезона от 7 до 30 дней. Передача NDV происходит воздушно-капельным или пероральным путем. Симптомы проявляются на 2–15 сутки после заражения. Геном вируса представлен несегментированной ss(-)РНК, размером около 15,2 тыс. нуклеотидов, и кодирует шесть структурных белков (NP, P, M, F, HN, L) и два вспомогательных (V, W), каждый из которых имеет уникальные функции, и при взаимодействии друг с другом в комплексе они завершают весь процесс вторжения и заражения.

Ключевые слова: вирус болезни Ньюкасла, род *Orthoavulavirus*, инфекция, патотип, геном, белки структурные (NP, P, M, F, HN, L), белки вспомогательные (V, W)

Исследование финансировалось ТОО «Научно-производственный центр UniVet» (договор № 01 от 06.03.2023 г.) по программе исследований на базе ТОО «Научно-диагностический центр Animal Expert Group» (номер гос. регистрации 0123РКД0014 от 27.03.2023 г. Национальный центр государственной научно-технической экспертизы Республики Казахстан).

**ECOLOGICAL AND MOLECULAR GENETIC CHARACTERIZATION
OF NEWCASTLE DISEASE VIRUS****Bulakh A.V., Melnikov N.P., Kydyr N.S., Dzharbanova A.D.,
Isagulov T.E., Bagybaeva A.M., Zhamalova G.A.***Animal Expert Group Scientific and Diagnostic Center, Almaty, e-mail: melnikov.np@aeg-lab.kz*

The article reflects the results of theoretical studies on the study of the ecological and molecular genetic characteristics of the Newcastle disease virus, the features of the proceeding of infection. The Newcastle disease virus is a systemic infection of birds, causes high morbidity and mortality, is classified as a virulent strain of avian orthoavulavirus 1 (AOAV-1), belonging to the genus *Orthoavulavirus*. The spectrum of diseases in birds is divided into two wide phenotypes – avirulent (lentogenic, easily and asymptotically occurring disease in wild waterfowl) and virulent (mesogenic, causing respiratory or neurological symptoms with low mortality; velogenic, severe disease in poultry with high mortality) infection. The Newcastle disease virus is spread by infected birds within 1-2 weeks after infection with faeces and secretions from the respiratory tract. The virus is highly stable outside the host, survives from 7 to 30 days depending on the season of the year. Transmission of NDV occurs by airborne droplets or by oral route. Symptoms appear on 2-15 days after infection. The virus genome is represented by an unsegmented ss(-)RNA, about 15.2 thousand nucleotides in size and encodes six structural proteins (NP, P, M, F, HN, L) and two auxiliary proteins (V, W), each of which has unique functions and, when interacting with each other in a complex, complete the entire invasion process and infections.

Keywords: Newcastle disease virus, genus *Orthoavulavirus*, infection, pathotype, genome, structural proteins (NP, P, M, F, HN, L), auxiliary proteins (V, W)

The study was funded by UniVet Research and Production Center LLP (agreement No. 01 dated 03/06/2023) under the research program based on the Animal Expert Group Research and Diagnostic Center LLP (state registration number 0123PKD0014 dated 03/27/2023 National Center State Scientific and Technical Expertise of the Republic of Kazakhstan).

Вирус болезни Ньюкасла (Newcastle disease virus – NDV) вызывает высокую заболеваемость и смертность сельскохозяйственных птиц, поэтому экономически негативно

отражается на птицеводстве [1]. Впервые NDV идентифицирован в 1926 г. в Англии (в Ньюкасле) и в Индонезии [2]. Инфекция сельскохозяйственных птиц NDV подлежит

регистрации во Всемирной организации охраны здоровья животных (ВОАИ) [3].

Номенклатура NDV. Вирус болезни Ньюкасла (NDV) классифицируется как вирулентный штамм птичьего ортоавулавируса 1 (AOAV-1) [4] (прежнее название птичий парамиксовирус серотипа 1 (APMV-1) [5]), принадлежащий к порядку Mononegavirales, семейству Paramyxoviridae, подсемейству Avulavirinae и роду Orthoavulavirus [6]. Болезнь Ньюкасла представляет собой системную инфекцию птиц [7]. Во всем мире к NDV (AOAV-1) восприимчивы более 2250 видов диких и домашних птиц в пределах 27 отрядов [8].

Цель исследования – изучение особенностей инфекции, экологической и молекулярно-генетической характеристики вируса болезни Ньюкасла на современном этапе.

Материалы и методы исследования

Теоретические исследования основывались на изучении научной, законодательной и нормативной литературы.

Результаты исследования и их обсуждение

Особенности инфекции. Спектр заболеваний у птиц делится на два широких фенотипа – авирулентная (лентогенная) и вирулентная (мезогенная и велогенная) инфекции [9, 10]:

1) лентогенная (маловирулентная) инфекция – это легко и бессимптомно протекающее заболевание у диких водоплавающих птиц (вызывают субклинические респираторные или кишечные инфекции);

2) мезогенная (средневирулентная) инфекция – это умеренно протекающее заболевание у домашних птиц (вызывает респираторные или неврологические симптомы) с низкой смертностью;

3) велогенная (высоковирулентная) инфекция – это тяжело протекающее заболевание у домашних птиц (снижает яйценоскость, поражает кишечник, вызывает кровоизлияния, неврологические симптомы) с высокой смертностью.

В дополнение следует отметить, что при вводе минимальной летальной дозы смертность у цыплят может наступать через 90–150 (лентогенные), 60–90 (мезогенные) и 40–60 (велогенные) ч [9]. Таким образом, на основании патогенности различают пять патологических типов штамма вируса болезни Ньюкасла:

– авирулентные (бессимптомные кишечные);

– лентогенные (широко распространены во всем мире; низкая вирулентность

с легкими или неявными респираторными признаками);

– мезогенные (умеренная вирулентность с респираторными признаками; более низкий уровень смертности);

– висцеротропно-велогенные (вызывающие тяжелые желудочно-кишечные и висцеральные кровотечения);

– нейротропно-велогенные (вызывают респираторные и неврологические клинические симптомы, энцефалиты).

Последние два штамма (висцеротропно-велогенные, нейротропно-велогенные) имеют высокую вирулентность, вызывают высокую смертность (до 100%) и несут ответственность за вспышки заболеваний среди домашней птицы [11].

Экологическая характеристика вируса болезни Ньюкасла. Вирус болезни Ньюкасла инфицированными птицами распространяется в течение 1–2 недель после заражения с фекалиями и выделениями из дыхательных путей [12], а также через яйцо вылупившемуся цыпленку [13]. Вирус присутствует во всех частях тушки и способен в холодильнике сохраняться в течение многих месяцев [9]. Вирус высоко стабилен вне хозяина и в окружающей среде, в частности в птичниках с зараженными птицами, выживает в зависимости от сезона года от 7 (лето) и 14 (весна) до 30 (зима) дней [14]. Передача NDV происходит воздушно-капельным или пероральным путем [4, 11].

Симптомы проявляются на 2–15 сутки после заражения, иногда этот процесс может занять и до 28 дней [11]. Клинические признаки болезни Ньюкасла варьируют в широких пределах в зависимости от штамма и вида хозяина – от снижения потребления корма и воды и/или яйценоскости у кур-несушек до 100%-ной смертности у невакцинированных птиц [4, 11].

Наибольшую угрозу для птицеводства Казахстана и СНГ представляют вирулентные вирусы болезни Ньюкасла класса II генотипов VII, VI и I [15].

Генетическая характеристика вируса болезни Ньюкасла. Все изоляты вируса болезни Ньюкасла хотя и относятся к одному серотипу, но генетически и антигенно разнообразны и постоянно претерпевают эволюционные изменения [11, 16].

Геном вируса болезни Ньюкасла:

1) представлен несегментированной оц(-) РНК, размером около 15,2 тыс. нуклеотидов (15186, 15192 и 19198 нуклеотидов) [17];

2) кодирует шесть структурных белков (NP, P, M, F, HN, L) и два вспомогательных (V, W) [2] (таблица).

Генные продукты вируса болезни Ньюкасла

Белок (обозначение, название)		Функция	Взаимодействие с другими генными продуктами вируса и(или) хозяина
1		2	3
NP	Нуклеопротеин	отвечает за стабильность генома NDV, защищая РНК от нуклеаз-хозяев [18]	работает совместно с белками Р и L, образуя комплекс рибонуклеопротеина (RNP), который участвует в процессах транскрипции и репликации NDV [19]
P	Фосфопротеин	участвует в синтезе вирусной РНК и обеспечивает растворимость NP [20]	в процессе редактирования РНК гена Р, генерируются неструктурные белки W и V [21]
M	Матричный	служит скелетом вируса и необходим для репликации генома и размножения самого вируса [22]; ингибирует транскрипцию и трансляцию клетки-хозяина во время его ранней локализации в ядре [23]	взаимодействия между M-белком и клеточными белками также важны для репликации и патогенности NDV [24]
F	Белок-слияние	участвует в проникновении вируса, слиянии клеток и гемолизе [25]	в комплексе с белком HN служит ключевым фактором проникновения и высвобождения вируса в/из клеток [25]
HN	Гемагглютинин-нейраминидаза	многофункционален, определяет тропизм и вирулентность, играет решающую роль в процессе инфекции, отвечает за прикрепление к рецепторам [26], основной защитный антиген NDV, может индуцировать нейтрализующие антитела у животных [27], обеспечивает высвобождение вириона во время размножения вируса [28]	в комплексе с белком слияния (F) являются вирусными входными белками и признаны основными детерминантами вирулентности [28]
L	РНК-полимераза	самый большой белок в вирусе, многофункциональный, участвует в репликации генома, в транскрипции и регуляции репликации вируса в клетках [29, 30]	Служит вирусной репликазой и транскриптазой во время инфекционного цикла, тогда как белок Р действует как кофактор полимеразы [30]. Белки N, Р и L необходимы для репликации и транскрипции генома NDV во время вирусной инфекции [31]
V	Белок является результатом редактирования гена Р [32]	для ингибирования секреции интерферона I типа (IFN) хозяина и апоптоза, обеспечивая благоприятную среду для репликации вируса [21]; в уклонении от врожденной иммунной системы хозяина [33]; является движущей силой вирулентности, поскольку этот белок является специфичным для хозяина антагонистом врожденного иммунного ответа [34];	играет жизненно важную роль в ограничении круга хозяев [35]
W	Белок является результатом редактирования гена Р [32]	влияет на вирулентность, репликацию и патогенность NDV [36]	может экспрессироваться в ядре или цитоплазме в зависимости от генотипа вирусного штамма [37]

В дополнение к таблице следует отметить, что белок-слияние (F) синтезируется в виде белка-предшественника F0 [38].

Неактивная форма белка F0 расщепляется протеазами клетки-хозяина на активные формы F1 и F2 для того, чтобы вирион AOAV-1 успешно слился с клеточной

мембраной хозяина и проник в цитоплазму для высвобождения своего генома и инициирования жизненного цикла вируса [39]. Молекулярная основа сайта расщепления белка F (FCS) определяет патогенность штаммов NDV: лентогенный вирус в сайте CS содержит меньше основных аминокис-

лот и лейцин в положении 117 [40], мезогенный и велогенный штаммы имеют многоосновную аминокислоту CS с фенилаланином в положении 117 [41]. Специфическая аминокислотная последовательность белка F тесно связана с тропизмом по отношению к тканям мозга, легких и селезенки [42]. Таким образом, аминокислота в месте расщепления белка F является основным фактором, определяющим вирулентность [43].

Вирус болезни Ньюкасла в зависимости от нуклеотидной последовательности гена белка слияния (F) делят на два класса [16, 44]: первый (I) класс включает только один генотип лентогенных штаммов, выделенный из диких птиц по всему миру; второй (II) класс содержит 21 генотип с вело-, мезо- и лентогенными штаммами, выделенными из разных видов-хозяев по всему миру. NDV, относящиеся к классу II, одни, выделенные в период с 1930-х по 1960-е гг., включают генотипы I, II, III и IV с размером генома 15186 нуклеотидов [45], другие, выделенные после 1960-х гг. (V, VI, VII, VIII и X–XVIII) и циркулирующие в настоящее время, имеют вставку из шести нуклеотидов в 5'-некодирующей области гена нуклеопротеина и размер их генома составляет 15192 н. [45]. Наиболее поздние генотипы (XIV–XVIII) были выделены на африканском континенте [46–48]. Как видим, вариация в последовательностях гена F, в ответ на различные давления со стороны вакцины и иммунной системы хозяина, обеспечивает для NDV адаптивные реакции, проявляющиеся в виде мутационных изменений, различий вирулентных свойств, идентификации изолятов NDV [49].

Шесть основных структурных белков (нуклеопротеин (NP), фосфопротеин (P), матричный белок (M), белок слияния (F), гемагглютинин-нейраминидаза (HN), РНК-полимераза (L)) расположены в порядке 3'-NP-PMF-HN-L-5' [44, 50] (каждый из этих шести генов окружен короткими экстрагенными консервативными «лидерными» (GS) и «концевыми» (GE) последовательностями [24, 27, 31]). Таким образом, все белки имеют свои уникальные функции и при взаимодействии друг с другом в комплексе завершают весь процесс вторжения и заражения [37].

Заключение

Результаты теоретических исследований показали, что вирус болезни Ньюкасла: – вызывает высокую заболеваемость и смертность сельскохозяйственных птиц, поэтому экономически негативно отражается на птицеводстве;

– спектр заболеваний у птиц делится на два фенотипа – авирулентную и вирулентную инфекцию, и на основании патогенности различают пять патотипов штамма;

– белок F участвует в проникновении вируса, он и белок HN являются вирусными входными белками и признаны основными детерминантами вирулентности;

– изменчивость в первичной структуре гена F в ответ на давления эволюционного происхождения, в частности со стороны иммунной системы хозяина и вакцин, приводит к появлению последовательных изменений (возникновение мутации, различий вирулентных свойств, идентификации изолятов), которые в комплексе порождают адаптационные реакции NDV.

Таким образом, все изоляты вируса болезни Ньюкасла хотя и относятся к одному серотипу, но генетически, антигенно и экологически разнообразны, так как постоянно претерпевают эволюционные изменения из-за постоянного давления со стороны различных программ вакцинопрофилактики и иммунной системы хозяина.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Список литературы

1. Ashraf A., Shah M.S. Newcastle disease: present status and future challenges for developing countries // African Journal of Microbiology Research. 2014. Vol. 8, Is. 5. P. 411–416. DOI: 10.5897/ajmr2013.6540.
2. Chambers P., Millar N.S., Bingham R.W., Emmerson P.T. Molecular cloning of complementary DNA to Newcastle disease virus and nucleotide sequence analysis of the junction between the genes encoding the haemagglutinin-neuraminidase and the large protein // J Gen Virol. 1986. Vol. 67, Is. 3. P. 475–486. DOI: 10.1099/0022-1317-67-3-475.
3. Smith T., O'Kennedy M.M., Ross C.S., Lewis N.S., Abolnik C. The production of Newcastle disease virus-like particles in *Nicotiana benthamiana* as potential vaccines // Frontiers in Plant Science. 2023. Vol. 14. DOI: 10.3389/fpls.2023.1130910.
4. Newcastle Disease virus. Family: Paramyxoviridae. Subfamily: Avulavirinae. Genus: Orthoavulavirus, species. In: Avian orthoavulavirus. International Committee on Taxonomy of Viruses (ICTV). 2022. [Электронный ресурс]. URL: <https://ictv.global/report/chapter/paramyxoviridae/paramyxoviridae/orthoavulavirus> (дата обращения: 03.06.2023).
5. Alexander D.J., Gough R.E. Newcastle disease and other avian Paramyxoviridae infection Diseases of Poultry // Iowa State University Press. 1997. Vol. 10. P. 541–569.
6. Amarasinghe G.K., Ayllón M.A., Bào Y., Basler C.F., Bavari S., Blasdel K.R., Briese T., Brown P.A., Bukreev A., Balkema-Buschmann A. Taxonomy of the order Mononegavirales: update 2019 // Archives of Virology. 2019. Vol. 164, Is. 7. P. 1967–1980. DOI: 10.1007/s00705-019-04247-4.
7. Rima B., Balkema-Buschmann A., Dundon W.G., Duprex P., Easton A., Fouchier R., Kurath G., Lamb R., Lee B., Rota P., et al. ICTV Virus Taxonomy Profile: Paramyxoviridae // J. Gen. Virol. 2019. Vol. 100, Is. 12. P. 1593–1594. DOI: 10.1099/jgv.0.001328.
8. Newcastle Disease (Infection with Newcastle disease virus). Manual of diagnostic tests and vaccines for terrestrial animals 2022. World Organization for Animal Health (WOAH).

2022. [Электронный ресурс]. URL: https://www.woah.org/fileadmin/Home/eng/Health_standards/tahm/3.03.14_NEWCASTLE_DIS.pdf (дата обращения: 03.06.2023).
9. Infection with Newcastle Disease Virus. OIE. Terrestrial Animal Health Code. 2022. [Электронный ресурс]. URL: https://www.woah.org/fileadmin/Home/eng/Health_standards/tahc/current/chapitre_nd.pdf (дата обращения: 01.07.2023).
 10. Ross C.S., Skinner P., Sutton D., Mayers J., Nunez A., Brookes S.M., Banyard A.C., Brown I.H. Game Birds Can Act as Intermediaries of Virulent Genotype VII Avian Orthoavulavirus-1 between Wild Birds and Domestic Poultry // *Viruses*. 2023. Vol. 15, Is. 2. P. 536. DOI: 10.3390/V15020536.
 11. Miller P.J., Koch G. Newcastle Disease, other avian paramyxoviruses and avian metapneumovirus infections // *Diseases of poultry*. 2020. Vol. 3, Is.14. P. 112–129.
 12. Alexander D.J. Newcastle disease: Modes of spread // *Newcastle disease*. 1988. Vol. 8, Is.14. P. 256–272. DOI: 10.1007/978-1-4613-1759-3_14.
 13. Neog S., Kumar S., Trivedi V. Isolation and characterization of Newcastle disease virus from biological fluids using column chromatography // *Biomed Chromatogr*. 2023. № 37 (1). P. e5527. DOI: 10.1002/bmc.5527.
 14. Kinde H., Utterback W., Takeshita K., McFarland M. Survival of exotic Newcastle disease virus in commercial poultry environment following removal of infected chickens // *Avian Dis*. 2004. Vol. 48, Is. 3. P. 669–674. DOI: 10.1637/7161-020104R.
 15. Орынбаев М.Б., Султанкулова К.Т., Керимбаев А.А., Строчков В.М., Шалғынбаев Э.К., Омарова З.Д., Мусаева Г.К., Бурашев Е.Д., Кыдырбаев Ж.К., Сансызбай А.П. Молекулярно-биологические свойства патогенных вирусов болезни Ньюкасла, выделенных на территории Казахстана // *Сельскохозяйственная биология*. 2016. Т. 51, № 2. С. 255–263.
 16. Dimitrov K.M., Abolnik C., Afonso C.L., Albina E., Bahl J., Berg M., et al. Updated unified phylogenetic classification system and revised nomenclature for Newcastle disease virus // *Infection Genet Evol*. 2019. Vol. 74, Is.103917. DOI: 10.1016/j.meegid.2019.103917.
 17. Wu W., Liu H., Zhang T., Han Z., Jiang Y., Xu Q., Liu S. Molecular and antigenic characteristics of Newcastle disease virus isolates from domestic ducks in China // *Infection Genetics and Evolution*. 2015. Vol. 32. P. 34–43. DOI: 10.1016/j.meegid.2015.02.016.
 18. Smith T., O’Kennedy M.M., Ross C.S., Lewis N.S., Abolnik C. The production of Newcastle disease virus-like particles in *Nicotiana benthamiana* as potential vaccines // *Front Plant Sci*. 2023. № 14. P. 1130910. DOI: 10.3389/fpls.2023.1130910.
 19. Bello M.B., Yusoff K., Ideris A., Hair-Bejo M., Jibril A.H., Peeters B.P.H., Omar A.R. Exploring the Prospects of Engineered Newcastle Disease Virus in Modern Vaccinology // *Viruses* 2020. № 12. P. 451. DOI: 10.3390/v12040451.
 20. Zhao Y., Liu H., Cong F., Wu W., Zhao R., Kong X. Phosphoprotein Contributes to the Thermostability of Newcastle Disease Virus // *BioMed Res*. 2018. DOI: 10.1155/2018/8917476.
 21. Nan F.L., Zhang H., Nan W.L., Xie C.Z., Ha Z., Chen X., Xu X.H., Qian J., Qiu X.S., Ge J.Y., et al. Lentogenic NDV V protein inhibits IFN responses and represses cell apoptosis. *Vet Microbiol*. 2021. Vol. 261, Is. 109181. DOI: 10.1016/j.vetmic.2021.109181.
 22. Duan Z., Deng S., Ji X., et al. Nuclear localization of Newcastle disease virus matrix protein promotes virus replication by affecting viral RNA synthesis and transcription and inhibiting host cell transcription. *Vet Res*. 2019. Vol. 50, Is. 22. DOI: 10.1186/s13567-019-0640-4.
 23. Duan Z., Deng S., Ji X., Zhao J., Yuan C., Gao H. Nuclear localization of Newcastle disease virus matrix protein promotes virus replication by affecting viral RNA synthesis and transcription and inhibiting host cell transcription. *Vet Res*. 2019. Vol. 50, Is. 1. P. 22. DOI: 10.1186/s13567-019-0640-4.
 24. Duan Z., Han Y., Zhou L., Yuan C., Wang Y., Zhao C., Tang H., Chen J. Chicken bromodomain-containing protein 2 interacts with the Newcastle disease virus matrix protein and promotes viral replication. *Vet. Res*. 2020. Vol. 51, Is. 1. P. 120. DOI: 10.1186/s13567-020-00846-1.
 25. Zhang D, Ding Z, Xu X. Pathologic Mechanisms of the Newcastle Disease Virus // *Viruses*. 2023. No. 15 (4). P. 864. DOI: 10.3390/v15040864.
 26. Liu Y., Chi M., Liu Y., et al. Roles of the highly conserved amino acids in the second receptor binding site of the Newcastle disease virus HN protein // *Virology*. 2019. Vol. 16, Is. 1. P. 164. DOI: 10.1186/s12985-019-1273-y/.
 27. Jin Z., Wei Q., Bi Y., et al. Identification of a potential neutralizing linear epitope of hemagglutinin-neuraminidase in Newcastle disease virus // *Virology*. 2021. Vol. 18, Is. 18. P. 8. DOI: 10.1186/s12985-020-01483-y/.
 28. Chen X., Jia Y., Wei N., et al. Identification of a new amino acid mutation in the HN protein of NDV involved in pathogenicity. *Vet Res*. 2021. Vol.52, Is.147. DOI: 10.1186/s13567-021-01019-4.
 29. Liang B., Li Z., Jenni S., Rahmeh A.A., Morin B.M., Grant T., Grigorieff N., Harrison S.C., Whelan S.P.J. Structure of the L Protein of Vesicular Stomatitis Virus from Electron Cryomicroscopy // *Cell*. 2015. Vol. 162, Is. 2. P. 314–327. DOI: 10.1016/j.cell.2015.06.018.
 30. Duan Z., Shi H., Xing J., Zhang Q., Liu M. Mutation of Basic Residues R283, R286, and K288 in the Matrix Protein of Newcastle Disease Virus Attenuates Viral Replication and Pathogenicity // *International Journal of Molecular Sciences*. 2023. No. 24 (2). P. 980. DOI: 10.3390/ijms24020980.
 31. Ganar K., Das M., Sinha S., Kumar S. Newcastle disease virus: current status and our understanding // *Virus Res*. 2014. Vol. 12, Is. 184. P. 71–81. DOI: 10.1016/j.virusres.2014.02.016.
 32. Steward M., Vipond I.B., Millar N.S., Emmerson P.T. RNA editing in Newcastle disease virus // *J Gen Virol*. 1993. Vol. 74, Is. 12. P. 2539–2547. DOI: 10.1099/0022-1317-74-12-2539.
 33. Chu Z., Wang C., Tang Q., Shi X., Gao X., Ma J., et al. Newcastle Disease virus V protein inhibits cell apoptosis and promotes viral replication by targeting CacyBP/SIP // *Front Cell Infection Microbiol*. 2018. Vol. 8, Is. 304. DOI: 10.3389/fcimb.2018.00304/full.
 34. Wang X., Dang R., Yang Z. The interferon antagonistic activities of the V proteins of NDV correlated with their virulence // *Virus Genes*. 2019. Vol. 55, Is. 2. P. 233–237. DOI: 10.1007/s11262-019-01637-3.
 35. Chu Z., Yang S., Li Q., et al. The V protein in oncolytic Newcastle disease virus promotes HepG2 hepatoma cell proliferation at the single-cell level // *BMC Cancer*. 2023. Vol. 23, Is. 346. DOI: 10.1186/s12885-023-10815-4.
 36. Yang Y., Xue J., Teng Q., Li X., Bu Y., Zhang G. Mechanisms and consequences of Newcastle disease virus W protein subcellular localization in the nucleus or mitochondria // *J. Virol*. 2021. Vol. 95, Is. 7. DOI: 10.1128/JVI.02087-20.
 37. Zhang D., Ding Z., Xu X. Pathologic Mechanisms of the Newcastle Disease Virus. *Viruses*. 2023. Vol. 15, Is. 4. P. 864. DOI: 10.3390/v15040864.
 38. Ganar K., Das M., Sinha S., and Kumar S. Newcastle disease virus: current status and our understanding // *Virus Res*. 2014. No. 184. P. 71–81. DOI: 10.1016/j.virusres.2014.02.016.
 39. Kim S.H., Wanasen N., Paldurai A., Xiao S., Collins P.L., Samal S.K. Newcastle disease virus fusion protein is the major contributor to protective immunity of genotype-matched vaccine // *PLoS One*. 2013. № 8 (8). P. e74022. DOI: 10.1371/journal.pone.0074022.
 40. Nagai Y., Klenk H.D. Activation of precursors to both glycoproteins of Newcastle disease virus by proteolytic cleavage // *Virology*. 1977. Vol. 77, Is. 1. P. 125–134. DOI: 10.1016/0042-6822(77)90412-3.
 41. Panda A., Huang Z., Elankumaran S., Rockemann D.D., Samal S.K. Role of fusion protein cleavage site in the virulence of Newcastle disease virus // *Microb Pathog*. 2004. Vol. 36, Is. 1. P. 1–10. DOI: 10.1016/j.micpath.2003.07.003.

42. Chen X., Jia Y., Wei N., et al. Identification of a new amino acid mutation in the HN protein of NDV involved in pathogenicity // *Vet Res.* 2021. No. 52. P. 147. DOI: 10.1186/s13567-021-01019-4.
43. Heiden S., Grund C., Röder A., Granzow H., Kühnel D., Mettenleiter T.C., Römer-Oberdörfer A. Different regions of the Newcastle disease virus fusion protein modulate pathogenicity // *PLoS One.* 2014. № 9(12). P. e113344. DOI: 10.1371/journal.pone.0113344.
44. Dimitrov K.M., Ramey A.M., Qiu X., Bahl J., Afonso C.L. Temporal, geographic and host distribution of avian paramyxovirus 1 (Newcastle disease virus) // *Infect Genet EVol.* 2016. Vol. 39. P. 22–34. DOI: 10.1016/j.meegid.2016.01.008.
45. Czeglédi A., Ujvári D., Somogyi E., Wehmann E., Werner O., Lomniczi B. Third genome size category of avian paramyxovirus serotype 1 (Newcastle disease virus) and evolutionary implications // *Virus Research.* 2006. Vol. 120, Is. 1–2. P. 36–48. DOI: 10.1016/j.virusres.2005.11.009.
46. Almeida R.S.D., Hammoumi S., Gil P., et al. New avian paramyxoviruses type I strains identified in Africa provide new outcomes for phylogeny reconstruction and genotype classification. *PLoS One.* 2013. Vol. 8, Is. 10. DOI: 10.1371/journal.pone.0076413.
47. Courtney S.C., Susta L., Gomez D., et al. Highly divergent virulent isolates of Newcastle disease virus from the Dominican Republic are members of a new genotype that may have evolved unnoticed for over 2 decades // *Journal of Clinical Microbiology.* 2013. Vol. 51, Is. 2. P. 508–517. DOI: 10.1128/jcm.02393-12.
48. Snoeck C.J., Owoade A.A., Couacy-Hymann E., et al. High genetic diversity of Newcastle disease virus in poultry in west and central Africa: cocirculation of genotype XIV and newly defined genotypes XVII and XVIII // *Journal of Clinical Microbiology.* 2013. Vol. 51, Is. 7. P. 2250–2260. DOI: 10.1128/jcm.00684-13.
49. Cardenas-Garcia S., Diel D.G., Susta L., Lucio-Decanini E., Yu Q., Brown C.C., et al. Development of an improved vaccine evaluation protocol to compare the efficacy of Newcastle disease vaccines // *Biologicals.* 2015. Vol. 43, Is. 2. P. 136–145. DOI: 10.1016/j.biologicals.2014.11.003.
50. Gogoi P., Ganar K., Kumar S. Avian paramyxovirus: a brief review. *Transboundary and Emerging Diseases.* 2017. Vol. 64, Is. 1. P. 53–67. DOI: 10.1111/tbed.12355.

СТАТЬЯ

УДК 616.314-089.23

ОСОБЕННОСТИ РАСПОЛОЖЕНИЯ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ ЛИНИЙ ГНАТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ ЛИЦА НА БОКОВЫХ ТЕЛЕРЕНТГЕНОГРАММАХ

¹Дмитриенко Д.С., ²Фомин И.В., ¹Ягупова В.Т., ¹Дмитриенко Т.Д., ¹Ягупов П.П.

¹ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный медицинский университет»
Министерства здравоохранения Российской Федерации,
Волгоград, e-mail: s.v.dmitrienko@pmedpharm.ru;

²ФГАОУ ВО «Первый Московский государственный медицинский университет
имени И.М. Сеченова» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Москва

Цель работы – определить особенности расположения горизонтальных линий гнатической части лица на боковых телерентгенограммах у людей с физиологической окклюзией и различными типами роста челюстей. Проведено ретроспективное, стратифицированное исследование, в ходе которого проанализированы 59 боковых телерентгенограмм (ТРГ), которые были разделены на три группы, по признаку принадлежности к типу роста челюстей: нейтральный, горизонтальный, вертикальный. Основными горизонтальными линиями в настоящем исследовании были использованы мандибулярная, спинальная, окклюзионная, апикально-челюстные (верхняя и нижняя), а также верхняя и нижняя пришеечно-челюстные горизонталы. При физиологической окклюзии относительно стабильным ориентиром была спинальная плоскость. Верхняя пришеечно-челюстная горизонталь, как правило, была параллельна спинальной линии, что может быть использовано в качестве диагностики аномалии расположения окклюзионной плоскости. Мандибулярная линия была параллельна нижней пришеечно-челюстной у людей с нейтральным типом роста челюстей. Угол схождения мандибулярной линии с нижней пришеечно-челюстной горизонталью располагался впереди нижней челюсти при горизонтальном типе роста челюстей и позади челюсти – при вертикальном типе роста. Таким образом, расположение горизонтальных линий гнатической части лица определяется типологическими особенностями роста челюстей. Независимо от типа роста спинальная линия была параллельна пришеечно-челюстной горизонталы, которая с окклюзионной плоскостью образовывала угол в пределах 10°. Отмечается соразмерность основных частей гнатического отдела лица, что может быть полезно при определении высоты прикуса при аномалиях окклюзии в вертикальном направлении.

Ключевые слова: мандибулярная плоскость, окклюзионная плоскость, высота прикуса, типы роста челюстей

FEATURES OF THE LOCATION OF THE HORIZONTAL LINES OF THE GNATIC PART OF THE FACE ON LATERAL TELERADIOGRAMS

¹Dmitrienko D.S., ²Fomin I.V., ¹Yagupova V.T., ¹Dmitrienko T.D., ¹Yagupov P.P.

¹Volgograd State Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation,
Volgograd, e-mail: s.v.dmitrienko@pmedpharm.ru;

²First Moscow State Medical University named after I.M. Sechenov of the Ministry of Health
of the Russian Federation, Moscow

To determine the features of the location of the horizontal lines of the gnathic part of the face on lateral telerradiograms in people with physiological occlusion and various types of jaw growth. A retrospective, stratified study was conducted, during which an analysis of 59 lateral telerradiograms was carried out, which were divided into 3 groups, on the basis of belonging to the type of jaw growth: neutral, horizontal, vertical. The main horizontal lines in the present study were mandibular, spinal, occlusive, apical-maxillary (upper and lower), and upper and lower cervical-maxillary horizontals. In physiological occlusion, the relatively stable landmark was the spinal plane. The superior cervical-maxillary horizontal was usually parallel to the spinal line, which can be used as a diagnosis of an anomaly in the location of the occlusive plane. The mandibular line was parallel to the inferior cervical-maxillary line in people with a neutral type of jaw growth. The angle of convergence of the mandibular line with the lower cervical-maxillary horizontal was located in front of the lower jaw with a horizontal type of jaw growth and behind the jaw – with a vertical type of growth. Thus, the location of the horizontal lines of the gnathic part of the face is determined by the typological features of the growth of the jaws. Regardless of the type of growth, the spinal line was parallel to the cervical-maxillary horizontal, which with the occlusive plane formed an angle within 10 degrees. The proportionality of the main parts of the gnathic part of the face is noted, which may be useful in determining the height of the bite in case of occlusion anomalies in the vertical direction.

Keywords: mandibular plane, occlusive plane, bite height, jaw growth types

Рентгенологические методы исследования, включая телерентгенографию, входят в обязательный протокол диагностических мероприятий по определению расположения основных анатомических структур черепно-лицевого отдела головы, как в норме, так

и при аномалиях различного генеза [1, 2]. Авторы обращают внимание на то, что при использовании конусно-лучевых томограмм одновременно получают телерентгенограммы и 3D-модель черепного комплекса, что существенно расширяет комплекс диа-

гностических мероприятий в клинике ортодонтии и протезирования зубов.

По данным боковых телерентгенограмм в большинстве случаев проводится аналитический обзор линейных и угловых параметров головы и лица с учетом индивидуальных особенностей и вариантной анатомии [3]. В данном исследовании авторы представили сведения морфометрии, с учетом соматотипов исследуемых пациентов, и отметили особенности при нейтральном, горизонтальном и вертикальном типе роста челюстей. Представлено более пяти основных параметров, характеризующих типологические особенности зубочелюстной системы. Особое внимание уделено величине угла нижней челюсти. Отмечено, что угол нижней челюсти является весьма вариабельной структурой, а его величина от 119 до 123° , как правило, характеризует людей с нейтральным типом роста челюстей. Увеличение или уменьшение показателя определяет принадлежность зубной системы к вертикальному или горизонтальному типу роста гнатического отдела лица.

Наибольшая вариабельность признаков характерна для гнатического отдела лица, ограниченного спинальной и мандибулярной плоскостями, которая определяется возрастными и гендерными различиями индивидуумов. Представлены сведения анатомической изменчивости в период смены зубов, определяющей особенности роста челюстных костей [4]. В приведенном исследовании авторы акцентируют внимание на сроки смены молочных зубов постоянными зубами, определяя их групповую последовательность, которая, в свою очередь, отражается на параметрах гнатического отдела.

Большинство исследователей склоняются к мнению о том, что размеры зубов коррелируют с параметрами челюстно-лицевого комплекса и в совокупности с линейными размерами зубных арок определяют типологические лицевые особенности индивидуумов [5]. Выделены девять основных типов лица по гнатическим и диагональным показателям, которые коррелируют с одноименными аркадными и дентальными типами зубных арок.

В свою очередь, гнатические или аркадные показатели зубных дуг в совокупности с одонтометрическими характеристиками определяют размерные варианты зубочелюстных дуг [6, 7]. Так, отмечено, что у людей с мезогнатией встречаются три дентальных типа дуг, в частности макро-, микро- и нормодентальные [8]. В данном исследовании отмечено, что при мезогнатии с макродонтизмом определяется физиологическая протрузия резцов, а при мезог-

натии с микродентальной составляющей характерна физиологическая ретрузия резцов обеих челюстей. При нормодонтном типе мезоаркадных дуг передние зубы располагаются, как правило, в мезотрузионном положении.

В то же время брахиаркадные формы характеризуются преобладанием размеров по трансверсали, и большая часть дуг (микро- и нормодентальные) относится к ретрузионному типу [9]. Отмечено, что брахиаркадные дуги с крупными размерами зубов (макродонтизм) относятся к мезотрузионным вариантам. Для долихоаркадных типов дуг характерна вытянутая в передне-заднем направлении форма с протрузией резцов при макро- и нормодонтизме [10]. Во всех случаях трузионное положение зубов определяют на боковых телерентгенограммах по межрезцовым линиям.

Проведение подобных исследований у людей с физиологическими разновидностями прикуса позволяет дифференцированно формировать группы населения при проведении плановых мероприятий и в ходе диспансеризации пациентов с аномалиями окклюзии [11]. Отмечено, что при окклюзионной патологии существенно изменяется функциональное состояние челюстно-лицевой системы, меняется биоценоз полости рта и состояние тканей пародонтального комплекса [12, 13]. Нарушения в расположении зубов в дуге определяют тактику ортодонтического лечения и выбор элементов эджуайс-механики [14]. Детально представлены рекомендации о применении прописи брекетов с высоким и низким торком. Отмечена важность расположения и определения окклюзионной горизонтали на всех этапах лечения и формирования кривой Шпее.

Особое значение вертикальным параметрам лица уделяется при аномалиях в вертикальном направлении и при снижении высоты прикуса, обусловленной наличием дефектов зубных рядов [15]. В данном исследовании отмечено, что определение оптимальной высоты прикуса является основой для прогнозирования результатов лечения. Однако данные по определению высоты прикуса и особенностям расположения горизонтальных линий весьма противоречивы.

Таким образом, методы анализа вертикальных параметров лица, определение соразмерности вертикальных частей гнатического комплекса и расположения горизонтальных линий относительно друг друга требуют существенного анализа, что и отражено в цели работы.

Цель – определить особенности расположения горизонтальных линий гнатиче-

ской части лица на боковых телерентгенограммах у людей с физиологической окклюзией и различными типами роста челюстей.

Материалы и методы исследования

Проведено ретроспективное, стратифицированное исследование, в ходе которого проведен анализ 59 боковых телерентгенограмм (ТРГ), которые были разделены на три группы по признаку принадлежности к типу роста челюстей: нейтральный, горизонтальный, вертикальный.

Из основных типологических признаков роста челюстей анализировали величину угла нижней челюсти, образованного касательными линиями к ветви и телу челюсти. Биссектриса нижнечелюстного угла служила пограничным ориентиром между ветвью и телом челюсти и проходила в области внутреннего угла, образованного передним краем ветви и альвеолярной частью тела челюсти.

Основными горизонтальными линиями в настоящем исследовании были использованы мандибулярная, спинальная, окклюзионная, апикально-челюстные (верхняя и нижняя), а также верхняя и нижняя пришеечно-челюстные горизонталы (рис. 1).

Спинальная линия соединяла точки передней и задней носовой ости (SNA и SNP). Мандибулярная линия соединяла нижнюю точку симфиза с выпуклостью нижнего отдела угла челюсти (T_2 и Me). Окклюзионная линия соединяла контактную межрезцовую точку «vPOcP» с дистальной окклюзионной точкой в области последних моляров «hPOcP». Указанные ориентиры и линии являются общепринятыми в клинической ортодонтии.

Место пересечения окклюзионной линии с биссектрисой нижнечелюстного угла обозначали литерами «МО», что определяло конструктивную мандибулярно-окклю-

зионную точку. Отмеченная точка располагалась вблизи внутреннего угла нижней челюсти и служила ориентиром для построения альвеолярно-челюстных и пришеечно-челюстных горизонталей.

Верхняя апикально-челюстная линия соединяла субназальную точку апикального верхнечелюстного базиса «А» с точкой «МО» (А-МО). Нижняя апикально-челюстная точка соединяла супраментальную апикальную нижнечелюстную точку «В» с мандибулярно-окклюзионной точкой (В-МО). Пришеечно-челюстные горизонталы начинались от точки Prosthion «Pr», и Infradentale «Id» и доходили до точки «МО» с образованием верхней «Pr-МО» и нижней «Id-МО» линий. Указанные линии образовывали углы, которые измерялись транспортиром, вносились в вариационные ряды таблицы Excel с последующим статистическим анализом и расчетом средней величины и ошибки репрезентативности ($M \pm m$).

Результаты исследования и их обсуждение

В первую группу исследования входили 24 объекта ($40,68 \pm 6,39\%$ от числа обследованных), на которых величина нижнечелюстного угла была равна $120,54 \pm 1,27^\circ$, что соответствовало анализируемому показателю при нейтральном типе роста челюсти.

Мандибулярная линия, как правило, была параллельна нижней пришеечно-челюстной «Id-МО» линии, а верхняя пришеечно-челюстная «Pr-МО» линия проходила параллельно спинальной линии (рис. 2).

Угол, образованный апикально-челюстными линиями (А-МО-В), в среднем по группе составлял $40,53 \pm 0,87^\circ$. При этом на долю пришеечно-челюстного угла «Pr-МО-Id» приходилась величина, составляющая $21,03 \pm 0,64^\circ$.

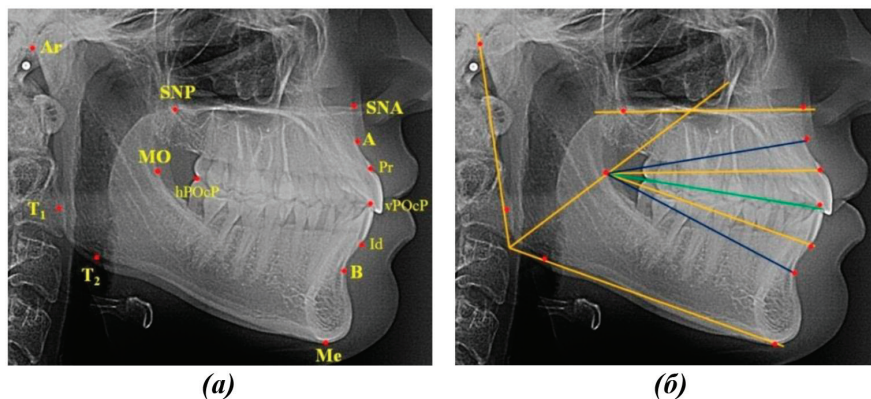


Рис. 1. Основные точки (а) и горизонталы (б) на гнатической части боковой телерентгенограммы

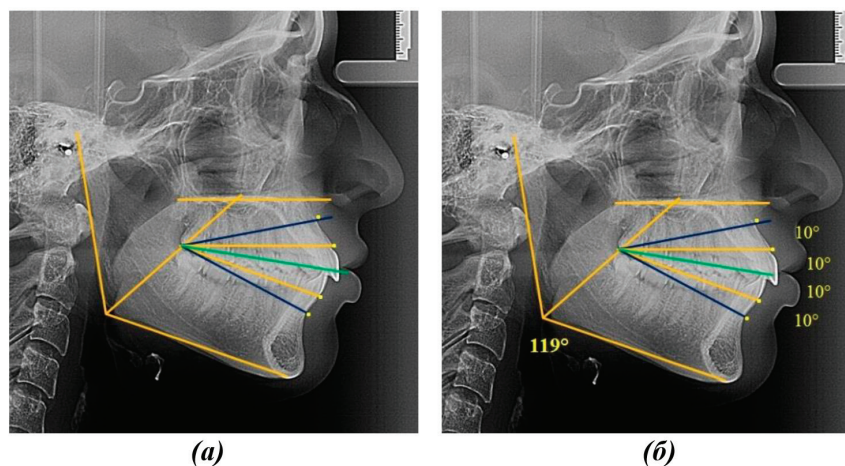


Рис. 2. Основные горизонталы (а) и величина углов (б) при нейтральном типе роста челюстей

Таким образом, средняя величина каждого из четырех углов гнатической части лица была близка к 10° , что можно использовать в клинике при определении соразмерности частей гнатического отдела угла и расположения окклюзионной плоскости, которая была близка по расположению к биссектрисе апикально-челюстного угла.

Во вторую группу исследования входили 19 объектов ($32,20 \pm 6,08\%$ от числа обследований), на которых величина нижне-челюстного угла была равна $114,79 \pm 1,25^\circ$, что соответствовало анализируемому показателю при горизонтальном типе роста челюсти.

Мандибулярная линия не была параллельна нижней пришеечно-челюстной «Id-MO» линии, в отличие от людей с нейтральным типом роста челюстей. Угол схождения мандибулярной линии с нижней пришеечно-челюстной горизонталью, как правило, располагался впереди нижней челюсти.

В то же время верхняя пришеечно-челюстная «Pr-MO» линия проходила параллельно спинальной линии, как это было отмечено при анализе боковых телерентгенограмм с нейтральным типом роста челюстей (рис. 3).

Угол, образованный апикально-челюстными линиями (A-MO-B), в среднем по группе составлял $41,16 \pm 0,98^\circ$. Однако достоверных различий с показателями аналогичного углового параметра, измеряемого при нейтральном типе роста, не отмечалось. На долю пришеечно-челюстного угла «Pr-MO-Id» приходилась величина, составляющая $21,26 \pm 0,81^\circ$.

Таким образом, средняя величина каждого из четырех углов гнатической части лица, так же как и в первой группе, была близка к 10° , что можно использовать в клинике при определении соразмерности частей гнатического отдела угла и расположения окклюзионной плоскости, которая была близка по расположению к биссектрисе апикально-челюстного угла.

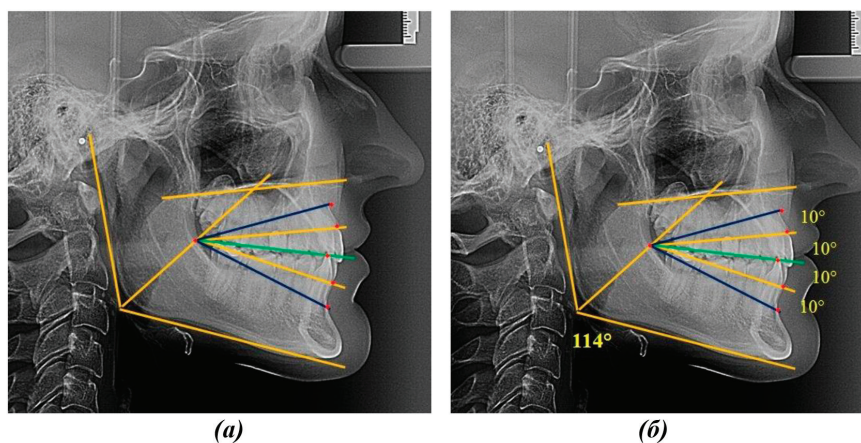


Рис. 3. Основные горизонталы (а) и величина углов (б) при горизонтальном типе роста челюстей

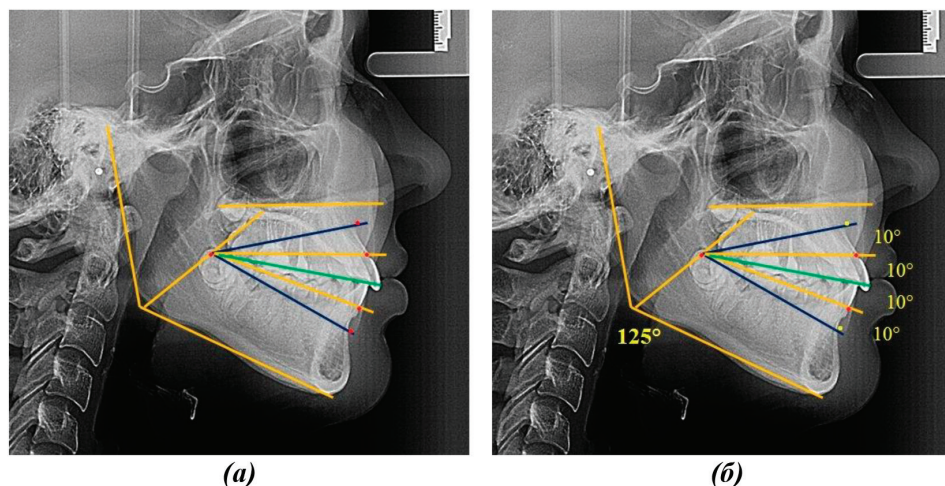


Рис. 4. Основные горизонталы (а) и величина углов (б) при вертикальном типе роста челюстей

В третьей группе наблюдений было 16 объектов, что составило $27,12 \pm 5,79\%$ от числа обследований, что было достоверно меньше, чем в группе с нейтральным типом роста челюстей. Величина нижнечелюстного угла была равна $125,73 \pm 1,85^\circ$, что соответствовало анализируемому показателю при вертикальном типе роста челюсти.

Мандибулярная линия не была параллельна нижней пришеечно-челюстной «Id-MO» линии, в отличие от людей с нейтральным типом роста челюстей. Угол схождения мандибулярной линии с нижней пришеечно-челюстной горизонталью, как правило, располагался позади нижней челюсти, что отличало ее расположение при анализе телерентгенограмм с горизонтальным типом роста.

Это обстоятельство может быть использовано в качестве критерия определения типологических особенностей роста гнатического отдела лица.

В то же время верхняя пришеечно-челюстная «Pr-MO» линия проходила параллельно спинальной линии, как это было отмечено при анализе боковых телерентгенограмм с нейтральным типом роста челюстей (рис. 4).

Угол, образованный апикально-челюстными линиями (A-MO-B), в среднем по группе составлял $40,99 \pm 1,12^\circ$ и не отличался достоверностью различий с другими анализируемыми группами. При этом на долю пришеечно-челюстного угла «Pr-MO-Id» приходилась величина, составляющая $20,85 \pm 0,92^\circ$.

Таким образом, средняя величина каждого из четырех углов гнатической части лица, как и в других группах исследования, была близка к 10° , что можно использовать

в клинике при определении соразмерности частей гнатического отдела угла и расположения окклюзионной плоскости, которая была близка по расположению к биссектрисе апикально-челюстного угла.

В результате исследования установлено, что при физиологической окклюзии постоянных зубов основным относительно стабильным ориентиром была спинальная плоскость. Верхняя пришеечно-челюстная горизонталь, как правило, была параллельна спинальной линии, что может быть использовано в качестве диагностики аномалии расположения окклюзионной плоскости. Мандибулярная линия не была параллельна нижней пришеечно-челюстной «Id-MO» линии, в отличие от людей с нейтральным типом роста челюстей. Угол схождения мандибулярной линии с нижней пришеечно-челюстной горизонталью, как правило, располагался впереди нижней челюсти при горизонтальном типе роста челюстей и позади челюсти – при вертикальном типе роста.

Заключение

Таким образом, расположение горизонтальных линий гнатической части лица определяется типологическими особенностями роста челюстей. Независимо от типа роста гнатического отдела лица, спинальная линия, как правило, проходит параллельно пришеечно-челюстной горизонталю, которая с окклюзионной плоскостью образует угол в пределах 10° . Отмечается соразмерность основных частей гнатического отдела лица, что может быть полезно при определении высоты прикуса при аномалиях окклюзии в вертикальном направлении. Предложен новый метод анализа гнатической ча-

сти лица, основанный на построении пяти горизонтальных, радиально исходящих линий из конструктивной мандибулярно-окклюзионной точки, образованной при пересечении окклюзионной линии с биссектрисой нижнечелюстного угла.

Список литературы

1. Лепилин А.В., Фомин И.В. Диагностические возможности конусно-лучевой компьютерной томографии при проведении краниоморфологических и краниометрических исследований в оценке индивидуальной анатомической изменчивости (Часть I) // Институт стоматологии. 2018. № 4 (81). С. 52–55.
2. Лепилин А.В., Фомин И.В. Диагностические возможности конусно-лучевой компьютерной томографии при проведении краниоморфологических и краниометрических исследований в оценке индивидуальной анатомической изменчивости (Часть III) // Институт стоматологии. 2019. № 2 (83). С. 48–53.
3. Domenyuk D.A., Melekhov S.V., Domenyuk S.D., Weisheim L.D., Analytical approach withim cephalometric studies assessment in people with various somatotypes //Archiv EuroMedica. 2019. Т. 9, № 3. Р. 103–111.
4. Доменюк Д.А., Коробкеев А.А., Ведешина Э.Г. Индивидуализация размеров зубных дуг у детей в сменном прикусе. Ставрополь: Изд-во СтГМУ, 2016. 163 с.
5. Доменюк Д.А., Ведешина Э.Г., Порфириадис М.П., Будайчиев Г.М.А. Аналитический подход в оценке соотношений одонтометрических показателей и линейных параметров зубных дуг у людей с различными типами лица // Кубанский научный медицинский вестник. 2018. Т. 25, № 1. С. 73–81.
6. Доменюк Д.А., Ведешина Э.Г., Орфанова Ж.С. Сопоставительный анализ морфометрических параметров зубочелюстных дуг при различных вариантах их формы // Кубанский научный медицинский вестник. 2015. № 2 (151). С. 59–65.
7. Давыдов Б.Н., Доменюк Д.А. Использование коэффициента межчелюстного дентального соотношения в оценке соответствия базовых одонтометрических показателей у людей с различными типами зубных дуг // Медицинский алфавит. 2017. Т. 3, № 24. С. 62–67.
8. Доменюк Д.А., Давыдов Б.Н., Ведешина Э.Г., Налбандян Л.В. Вариабельность одонтометрических параметров у пациентов с физиологической окклюзией постоянных зубов и мезогнатическим типом зубных дуг // Институт стоматологии. 2015. № 3 (68). С. 74–77.
9. Доменюк Д.А., Давыдов Б.Н., Ведешина Э.Г., Налбандян Л.В. Основные морфометрические параметры зубных дуг у людей с брахиогнатической формой зубной дуги и макро-, микро-, нормодонтными типами зубных систем // Институт стоматологии. 2015. № 3 (68). С. 44–47.
10. Доменюк Д.А., Давыдов Б.Н., Ведешина Э.Г. Сагитальные и трансверсальные размеры долингогнатических зубных дуг у людей с макро-, микро- и нормодонтизмом // Институт стоматологии. 2016. № 2 (71). С. 60–63.
11. Чижикова Т.С., Климова Н.Н., Дмитриенко Д.С. Характеристика диспансерных групп студентов при ортодонтическом лечении // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2011. № 6. С. 108а.
12. Крамарь В.С., Климова Т.Н., Крамарь В.О. Микроэкология полости рта и ее роль в развитии стоматологических заболеваний. Волгоград, 2010. 250 с.
13. Давыдов Б.Н., Сумкина О.Б., Будайчиев Г.М. Изменение морфологического состояния тканей пародонтального комплекса в динамике ортодонтического перемещения зубов (Экспериментальное исследование) // Пародонтология. 2018. Т. 23, № 1 (86). С. 69–78.
14. Доменюк Д.А., Давыдов Б.Н., Ведешина Э.Г., Дмитриенко С.В., Гаглоева Н.Ф., Налбандян Л.В. Определение особенностей выбора металлических дуг и прописи брекетов при лечении техникой эджуайс (Часть I) //Институт стоматологии. 2015. № 4 (69). С. 92–93.
15. Доменюк Д.А., Фищев С.Б., Коробкеев А.А., Ведешина Э.Г. Оптимизация современных методов диагностики и лечения пациентов с различными формами снижения высоты нижнего отдела лица. Ставрополь, 2015. 260 с.

СТАТЬИ

УДК 669.334.422

ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ PБ, СU, ZN И AS МЕЖДУ ПРОДУКТАМИ ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ ТОНКОЙ ПЫЛИ МЕДЕПЛАВИЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА СЕРНОЙ КИСЛОТОЙ

¹Досмухамедов Н.К., ²Жолдасбай Е.Е., ¹Курмансейтов М.Б., ²Аргын А.А.

¹Сатпаев университет, Алматы;

²Жезказганский университет имени О.А. Байконурова, Жезказган, e-mail: nurdis@bk.ru

В статье представлен процесс комплексного извлечения Pb, Cu, Zn и As из тонкой пыли медеплавильных заводов Казахстана способом прямого выщелачивания серной кислотой. Результаты термодинамических расчетов показали, что способ прямого выщелачивания пыли серной кислотой может обеспечить селективное выделение свинца в свинцовый кек, меди и цинка – в раствор с дальнейшим их извлечением до товарного продукта. На основании результатов экспериментальных исследований показано, что при выщелачивании пыли серной кислотой влияние температуры и продолжительности процесса на извлечение металлов в целевые продукты имеют равнозначный характер. Установлено, что резкий рост извлечения Zn в раствор наблюдается в интервале изменения температуры от 20 до 60 °С: с 84,56 до 93,5%. Показано, что при выщелачивании тонкой пыли серной кислотой наиболее значимым фактором, влияющим на извлечение металлов, является отношение Т:Ж. Установлено, что высокие значения по извлечению металлов в раствор достигаются даже при низких соотношениях Т:Ж = 0,5. Установленное отношение Т:Ж = 1,5 представляется наиболее эффективным и обеспечивает, в совокупности с оптимальной температурой равной 60 °С и временем процесса 60 мин, максимальное извлечение Cu, Zn, As из пыли в раствор. Увеличение отношения Т:Ж с 0,5 до 1,5 ведет к существенному повышению извлечения металлов в раствор: меди – с 75,6 до 88,67%, цинка – с 86,23 до 95,21%, мышьяка – с 34,6 до 49,32%. Дальнейшее увеличение Т:Ж представляется нецелесообразным ввиду повышенного расхода серной кислоты. Для переработки тонкой пыли медеплавильных заводов Казахстана путем прямого выщелачивания серной кислотой необходимо предварительное удаление мышьяка, что обеспечит значительное улучшение технологических и экологических показателей процесса.

Ключевые слова: тонкие пыли медеплавильного завода, выщелачивание, металлы, мышьяк, термодинамика, свободная энергия Гиббса, температура, время, расход кислоты, извлечение

Исследования проводились в рамках грантового финансирования Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан на 2023–2025 гг. по приоритетному направлению «Геология, добыча и переработка минерального и углеводородного сырья, новые материалы, технологии, безопасные изделия и конструкции» проекта AP19676951: «Разработка ресурсосберегающей, комбинированной технологии комплексной переработки многокомпонентной пыли цветной металлургии с получением товарных продуктов».

FEATURES OF DISTRIBUTION OF PB, CU, ZN AND AS BETWEEN PRODUCTS OF LEACHING OF FINE DUST OF COPPER SMELTING PRODUCTION WITH SULFURIC ACID

¹Dosmukhamedov N.K., ²Zholdasbay E.E., ¹Kurmanseytov M.B., ²Argyn A.A.

¹Satpaev University, Almaty;

²Zhezkazgan University named after O.A. Baykonurov, Zhezkazgan, e-mail: nurdos@bk.ru

The article presents the process of complex extraction of Pb, Cu, Zn and As from fine dust of copper smelters in Kazakhstan by direct leaching with sulfuric acid. The results of thermodynamic calculations have shown that the method of direct leaching of dust with sulfuric acid can provide selective isolation of lead – in lead cake, copper and zinc – in solution with their further extraction to a marketable product. Based on the results of experimental studies, it is shown that during the leaching of dust with sulfuric acid, the effect of temperature and duration of the process on the extraction of metals into the target products are of an equivalent nature. It was found that a sharp increase in the extraction of Zn into the solution is observed in the temperature range from 20 to 60 °C: from 84.56 to 93.5%. It is shown that when leaching fine dust with sulfuric acid, the most significant factor affecting the extraction of metals is the ratio S:L. It has been established that high values for the extraction of metals into solution are achieved even at low ratios S:L = 0.5. The established ratio S:L = 1.5 seems to be the most effective and provides, together with an optimal temperature of 60 °C and a process time of 60 minutes, the maximum extraction of Cu, Zn, As from dust into solution. An increase in the S:L ratio from 0.5 to 1.5 leads to a significant increase in the extraction of metals into the solution: copper – from 75.6% to 88.67%, zinc – from 86.23% to 95.21% and arsenic – from 34.6% to 49.32%. A further increase in S:L seems impractical, due to the increased consumption of sulfuric acid. For processing fine dust of copper smelters in Kazakhstan by direct leaching with sulfuric acid, preliminary removal of arsenic is necessary, which will provide a significant improvement in technological and environmental performance of the process.

Keywords: fine copper smelter dust, leaching, metals, arsenic, thermodynamics, Gibbs free energy, temperature, time, acid consumption, extraction

The research was carried out within the framework of grant funding from the Science Committee of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan for 2023–2025, in the priority area “Geology, extraction and processing of mineral and hydrocarbon raw materials, new materials, technologies, safe products and structures” of the project AP19676951: “Development of resource-saving, combined technology for the integrated processing of multi-component non-ferrous metallurgy dust to produce marketable products”.

Одной из актуальных задач устойчивого развития цветной металлургии Казахстана является организация новых производств (технологий), направленных на комплексную переработку некондиционных полупродуктов и оборотных материалов медного и свинцового производства с максимальным извлечением цветных и сопутствующих ценных металлов. В число важнейших приоритетов инновационного развития горно-металлургической отрасли Казахстана включено промышленное освоение технологий переработки тонкой конвертерной пыли медного и свинцового производства.

Важной предпосылкой для организации отдельного производства по переработке пыли ТОО «Корпорация Казахмыс» является ее многокомпонентный характер и технологическая ценность. Свинцовая пыль содержит цветные (Pb, Zn, Cu) и ряд других стратегически важных ценных металлов двойного назначения, редкие металлы, в частности рений, осмий, селен, теллур, таллий и др. [1, 2].

Для организации производства по переработке тонкой пыли ТОО «Корпорация Казахмыс» с получением из них товарных и целевых продуктов необходимы экономически эффективные и экологически чистые технологии, которые позволили бы повысить технический уровень производства товарной и промежуточной продукции, получаемых с учетом известных тенденций и направлений развития технологий.

Важность задачи организации технологии по переработке пыли усугубляется и тем, что в последнее время ввиду усложнения и снижения качества тонкой пыли (повышение содержания меди, мышьяка, сурьмы и др.) большие ее объемы начали накапливаться на территории заводов, не находя должного сбыта. Отсутствие рациональной технологии для ее переработки является одной из ключевых проблем, требующих решения.

Анализ литературных источников показывает, что попытки рационального решения данной проблемы находятся в центре внимания ряда крупных научно-исследовательских институтов и организаций. Тем не менее вопрос о переработке свинцовой тонкой пыли до сегодняшнего дня остается открытым.

В работе [2] представлен подробный анализ известных работ, посвященных переработке тонкой пыли и успешно используемых на практике. Сравнительный анализ пиро- [3–5], гидро- и комбинированных способов [6–8] переработки тонкой пыли медеплавильных заводов показал, что наиболее рациональной технологией для их перера-

ботки являются комбинированные способы, обеспечивающие высокое комплексное извлечение ценных металлов в целевые продукты. Особенность комбинированных технологий переработки пыли заключается в получении попутных полупродуктов, которые концентрируют ценные металлы с малым содержанием. Это представляет собой важным и перспективным решением, так как создаются благоприятные условия для попутного извлечения редких и редкоземельных металлов, безвозвратно теряемых в процессе производства меди.

Наиболее распространенной технологией для переработки пыли является выщелачивание серной кислотой. Несмотря на хорошую разработанность технологии, ее использование для переработки конкретного типа и состава пыли требует проведения дополнительных исследований с целью выявления оптимальных параметров, обеспечивающих достижение высоких технологических показателей. Актуальность этой задачи усиливается большим содержанием в пыли медеплавильного производства вредных сопутствующих примесей, таких как мышьяк, сурьма и др.

Наблюдаемый в последние годы резкий рост содержания токсичного и канцерогенного мышьяка в медных концентратах [9–11] существенно повлиял на его распределение между газовой, шлаковой и штейновой фазой в процессах плавки [11–13]. В результате произошло образование больших объемов некондиционных полупродуктов, оборотных материалов, пыли и техногенных отходов с повышенным содержанием мышьяка. Это, с одной стороны, усиливает негативное их влияние на окружающую среду и здоровье населения, с другой – сдерживает дальнейшую их переработку. Серьезное загрязнение окружающей среды и существенный вред здоровью людей оказывают выбросы мышьяка, особенно As_2O_3 . Контроль мышьяка стал одной из важных проблем для всех медеплавильных и свинцовых заводов.

Для экономики Казахстана задачей первоочередной важности является перевод деятельности горно-металлургического комплекса республики к циркулярной экономике в рамках концепции «ноль отходов» с использованием ресурсосберегающих и энергоэффективных технологий. Разработка и дизайн новых технологий, направленных на комплексную переработку многокомпонентного сырья – полупродуктов и техногенных отходов медного и свинцового производства, представляется весьма актуальной.

Цель настоящей работы – оценка возможности использования технологии пря-

мого выщелачивания тонкой пыли Балхашского медеплавильного завода ТОО «Корпорация Казахмыс» серной кислотой с получением целевых продуктов – свинцового кека и раствора, содержащего свинец, цинк и др. металлы.

В процессе работы изучено влияние различных факторов (расход серной кислоты, температура, время выщелачивания и др.) на извлечение свинца, меди, цинка и др. металлов в целевые продукты.

Материалы и методы исследования

Для проведения технологических опытов использованы тонкие пыли электрофильтров, полученные при конвертировании медных штейнов процесса Ванюкова. Исследование фазового состава исходной пыли и продуктов выщелачивания проводилось с использованием рентгеновского дифрактометра Bruker D8 ADVANCE, излучение α -Cu, напряжение на трубке 40 кВ, ток 40 мА. Обработка полученных данных дифрактограмм и расчет межплоскостных расстояний проводились с помощью программного обеспечения EVA. Расшифровка проб и поиск фаз проводились по программе Search/match с использованием Базы порошковых дифрактометрических дан-

ных PDF-2. Микроморфология материалов охарактеризована результатами SEM-EDS анализа, полученного с помощью энергодисперсионного рентгеновского спектрометра JED-2300 (JEOL).

Каждая проба подвергалась элементному составу дважды. Конечный элементный состав определяли исходя из среднего значения, полученного по результатам двух независимых измерений.

Для лучшего понимания механизма процесса выщелачивания пыли проведен детальный термодинамический анализ реакций взаимодействия компонентов пыли с серной кислотой. Термодинамические расчеты проведены с помощью программного обеспечения HSC Chemistry 8.1.5, Outotec.

Результаты исследования и их обсуждение

Элементный анализ исходной пыли показан в таблице.

Характерной особенностью пыли является высокое содержание в ней цветных металлов и мышьяка – 25 % Pb, 3 % Cu, 5 % Zn, 13 % As соответственно.

Результаты фазового состава пыли, определенные с помощью РФА, представлены на рис. 1.

Химический состав тонкой пыли медеплавильного завода

Элементы	Cu	Pb	Zn	Fe	As	Si	S	O	Прочие
Содержание, %	3,04	25,06	5,91	1,35	13,0	0,3	8,19	40,5	2,65

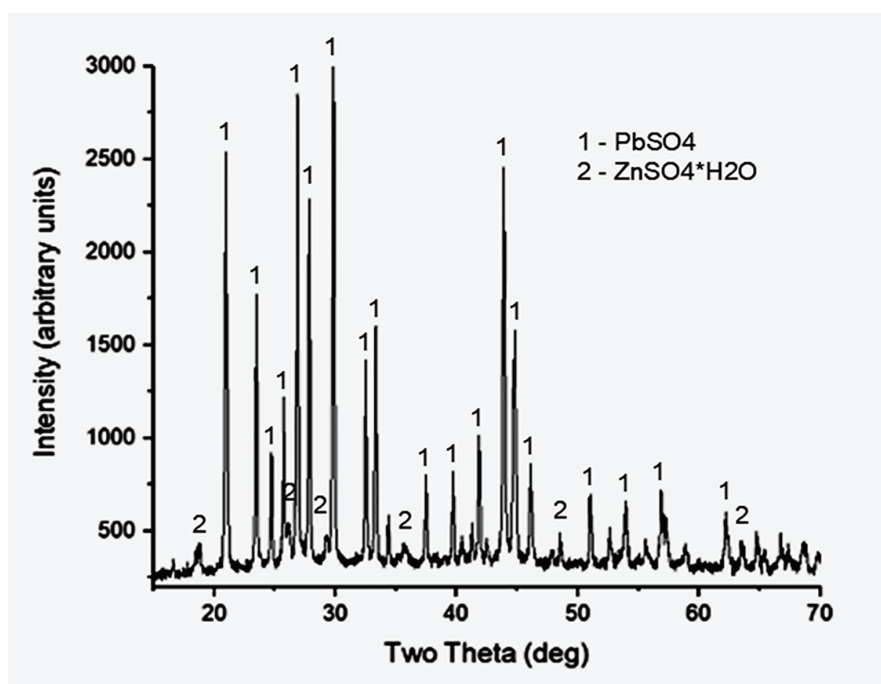


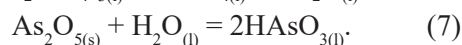
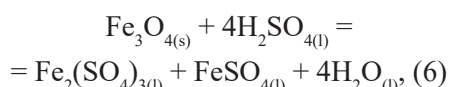
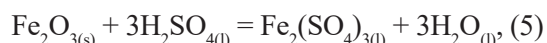
Рис. 1. Рентгенограмма тонкой пыли медеплавильного производства

Как видно на рис. 1, основными компонентами в пыли являются сульфаты свинца ($PbSO_4$) и цинка ($ZnSO_4$). Из-за низкого содержания другие компоненты пыли на рентгенограмме не отображаются. Пыль имеет сложный состав, поэтому при исследованиях необходимо учитывать наличие в ней сопутствующих элементов. Результаты исследований микроструктуры и элементного содержания пыли, полученные с помощью SEM-EDS анализа на аппарате JED-2300, показали наличие в них различных соединений, присутствующих в типичных формах: в виде ферритов меди, цинка и оксидов мышьяка (As^{3+} , As^{5+}).

Термодинамика сернокислотного выщелачивания тонкой пыли

Термодинамический анализ процесса выщелачивания проведен на основании обобщенных результатов элементного и фазового состава пыли без учета физического растворения сульфатов свинца, цинка и поведения сульфидов, ввиду незначительного их содержания в исходной пыли.

Поведение меди, свинца, цинка, железа и мышьяка при выщелачивании можно описать протеканием реакций взаимодействия оксидов цветных металлов, железа и мышьяка с серной кислотой:



Термодинамические расчеты свободной энергии Гиббса реакций (1)–(7) проводили с помощью программного обеспечения HSC Chemistry 8.1.5, Outotec.

Изменение свободной энергии Гиббса (ΔG°_T , кДж/моль) реакций (1)–(7) от температуры показано на рис. 2.

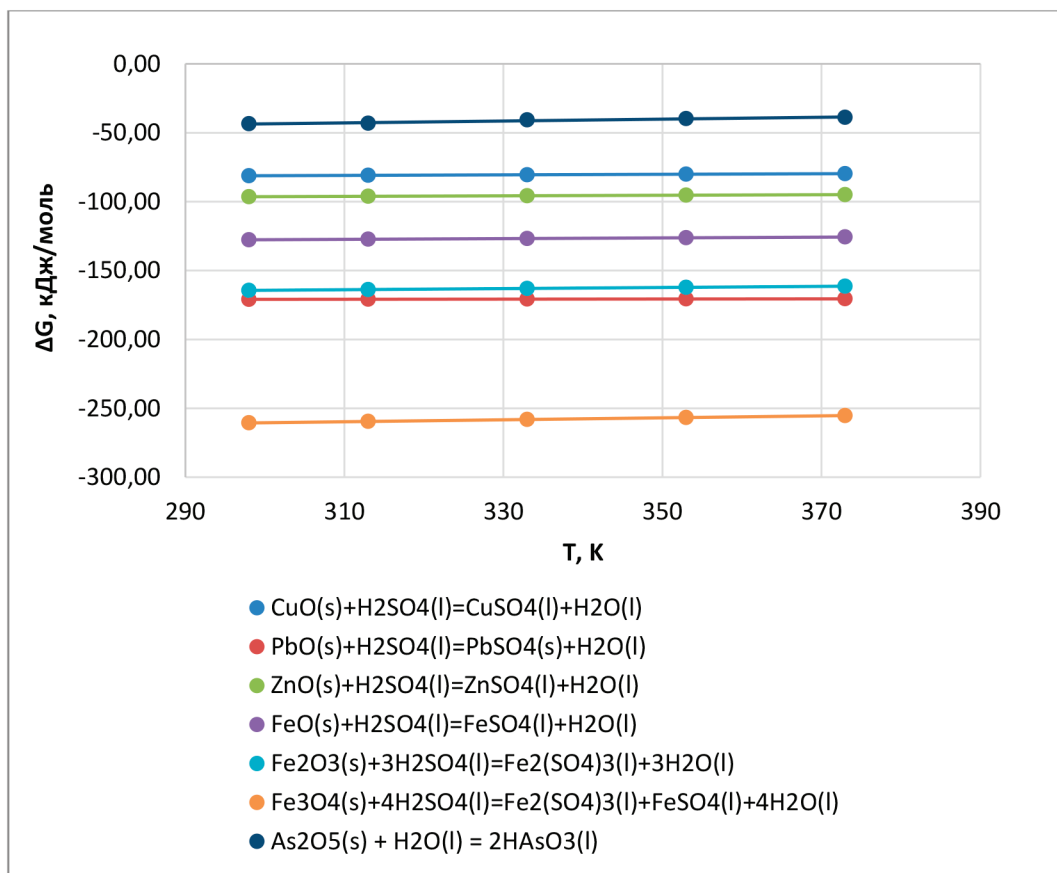


Рис. 2. Изменение свободной энергии Гиббса (ΔG°_T) реакций (1)–(7) в зависимости от температуры

Как видно на рис. 2, убыль ΔG°_T выщелачивания компонентов цветных металлов (реакции (1)–(3)), железа (реакции (4)–(6)) и мышьяка (реакция (7)) в зависимости от температуры имеют общий характер: ΔG°_T с повышением температуры снижается в абсолютном значении линейно. По значениям ΔG°_T реакций (1)–(7) компоненты можно расположить в ряд по уменьшающемуся их растворению в сернокислой среде: $\text{Fe}_2\text{O}_4 > \text{PbO} > \text{Fe}_2\text{O}_3 > \text{FeO} > \text{ZnO} > \text{CuO} > \text{As}_2\text{O}_5$.

Ферриты меди и цинка, присутствующие в пыли, в растворе серной кислоты не растворяются, и при выщелачивании переходят в свинцовый кек. На это указывают расчетные положительные значения свободной энергии Гиббса реакций взаимодействия ферритов меди и цинка с серной кислотой во всем исследованном интервале температур. Переход ферритов в свинцовый кек повышает потери меди и цинка при выщелачивании, что снижает их общее извлечение в конечный продукт.

Во всем исследованном температурном интервале 298–373 К (25–100 °С) свободная энергия Гиббса для реакции взаимодействия As_2O_3 с серной кислотой величина положительная. Это свидетельствует о том, что при выщелачивании переход мышьяка в форме (As^{3+}) в раствор невозможен. Следовательно, большая часть мышьяка концентрируется в твердой фазе – в свинцовом кеке. Переход и конечное содержание мышьяка в растворе будет определяться растворением пентавалентного оксида мышьяка (As_2O_5) по реакции (7) и концентрированием его в растворе.

Выщелачивание тонкой пыли серной кислотой

В экспериментальных опытах изучено влияние температуры, продолжительности выщелачивания и Т:Ж на извлечение меди, свинца и мышьяка. Каждый опыт проводился дважды. За конечный результат принимались усредненные значения. Для каждого опыта составлялся материальный баланс процесса, по итогам которого рассчитывали извлечение металлов в продукты выщелачивания: в раствор и в свинцовый кек. Результаты проведенных опытов показаны на рис. 3.

Отрицательные значения $\Delta H < 0$ кДж/моль для реакций (1)–(7) характеризуют выщелачивание как экзотермический процесс и показывают, что эффективность протекания той или иной реакции связана с температурой. Для оценки влияния температуры на извлечение Zn, Cu, As в раствор, была проведена серия опытов по выщелачиванию пыли при температурах 20, 40, 60, 80 °С. Исходная навеска пыли во всех опытах была

постоянной и составляла 200 г. Продолжительность опытов составляла 60 мин. Кислотность раствора поддерживали на уровне, $\text{pH} = 0,8$.

Эффект влияния температуры на извлечение Zn, Cu, As показан на рис. 3, а. Как видно, резкий рост извлечения Zn в раствор, с 84,56 до 93,5%, наблюдается в интервале изменения температуры от 20 до 60 °С. В интервале температур от 60 до 80 °С извлечение цинка в раствор хотя и замедляется, но незначительно повышается – от 93,5 до 95,21%. Установленное высокое извлечение цинка в раствор, по сравнению с извлечением меди, вполне объяснимо повышенным содержанием цинка в исходной пыли (таблица). При выщелачивании, наряду с физическим растворением сульфата цинка, переход цинка в раствор будет происходить за счет протекания реакции (3). Скорость протекания реакции (3) с увеличением температуры сильно сдвигается в сторону образования сульфата цинка. Это вносит значительный вклад в общее извлечение цинка в раствор.

Протекание аналогичных процессов характерно и для меди. Кривая зависимости извлечения меди от температуры показывает аналогичную закономерность, как и для цинка: извлечение меди в раствор с повышением температуры показывает незначительный рост. В интервале температур от 60 до 80 °С извлечение меди растет с 85,4 до 87,54%. Низкое извлечение меди в раствор по сравнению с извлечением цинка объясняется тем, что содержание меди в исходной пыли в 2 раза ниже содержания цинка. Кроме того, протекание реакции (3), описывающей переход цинка в раствор, по сравнению с реакцией (1) носит более предпочтительный характер. Высокие значения свободной энергии Гиббса реакции (3) свидетельствуют о высокой возможности полноты ее протекания. Это повышает извлечение цинка в раствор, что и наблюдается на рис. 3, а. Установленные невысокие значения по извлечению цинка и меди в раствор связаны с прямым переходом нерастворимых в кислоте их сульфидов и ферритов в свинцовый кек.

При выщелачивании пыли значимо распределение мышьяка между жидкой (раствор) и твердой (свинцовый кек) фазами. Максимальный перевод мышьяка в раствор обеспечивает решение основной задачи: минимизировать его переход в свинцовый кек с целью получения безмышьяковистой оборотной пыли при плавке. Полный перевод мышьяка в раствор создаст возможность для его вывода из технологической схемы и утилизации в виде безопасного соединения – арсената кальция.

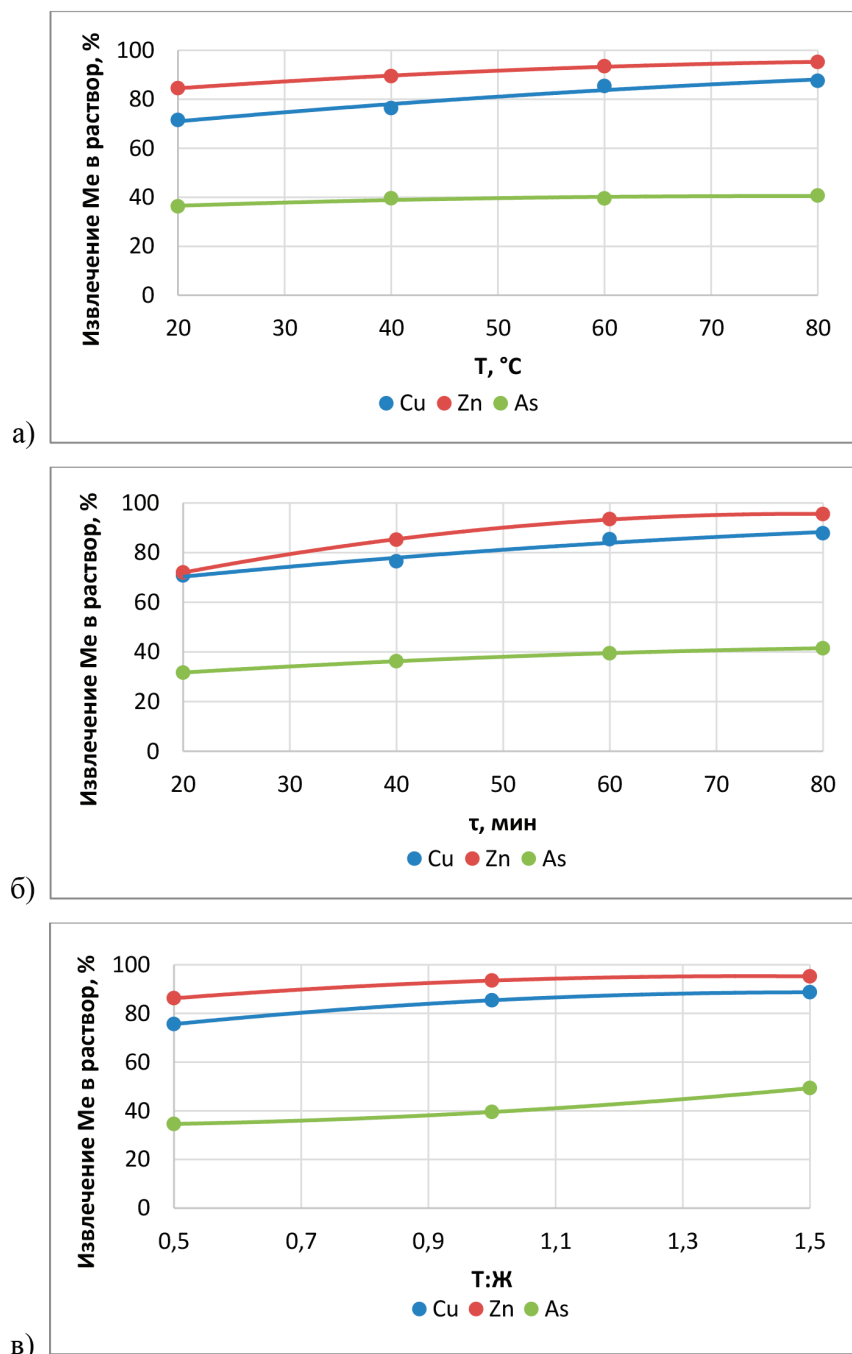


Рис. 3. Влияние температуры (а), времени выщелачивания (б) и отношения Т:Ж (в) на извлечение Cu, Zn и As в раствор

Извлечение мышьяка в раствор с увеличением температуры растет незначительно (рис. 3, а). Однако, несмотря на высокое его содержание в исходной пыли (таблица), его извлечение в раствор, по сравнению со значениями извлечения цинка и меди, очень низкое: максимальное извлечение, равное 40,72%, достигается при температуре 80°C. Причем в интервале темпера-

тур от 40 до 80°C извлечение не меняется и остается на уровне ~40%. Это свидетельствует о том, что значительная часть мышьяка, в виде As_2O_3 , нерастворимого в растворе серной кислоты, переходит из пыли в свинцовый кек. Переход мышьяка в раствор происходит в основном за счет протекания реакции (7). Это вполне согласуется с результатами элементного и фазового

состава исходной пыли и установленной закономерностью, показанной на рис. 3, а. На основании полученных результатов оптимальной температурой процесса выщелачивания пыли выбрана температура 60 °С. При этой температуре извлечение цинка, меди и мышьяка в раствор достигает максимальных значений и составляет 93,5; 85,4 и 39,5% соответственно.

На рис. 3, б, показан эффект влияния времени выщелачивания на извлечение Zn, Cu, As в раствор. Опыты проводили при температуре 60 °С при различном времени выщелачивания – от 20 до 80 мин. Кислотность раствора поддерживали на уровне pH = 0,8.

Видно, что в диапазоне 20–60 мин увеличение времени выщелачивания ведет к росту извлечения Cu, Zn, As в раствор. При увеличении времени выщелачивания с 20 до 60 минут извлечение меди в раствор повышается с 70,8 до 85,4%; цинка – с 72,04 до 93,5%, мышьяка – с 31,7 до 39,5%. Выбор оптимального времени выщелачивания должен выбираться исходя из того, чтобы обеспечивалась полнота протекания реакций (1)–(7), описывающих взаимодействие оксидов меди, цинка и мышьяка с серной кислотой с образованием их сульфатов. Как видно на графике, оптимальное время процесса, обеспечивающее максимальное извлечение металлов в раствор, достигается при времени выщелачивания 80 мин. Однако увеличение извлечения металлов, достигнутое при 80 мин, незначительно превышает значения по извлечению металлов в раствор, полученные при выщелачивании пыли в течение 60 мин (абсолютное повышение извлечения меди – 2,4%, цинка – 2,03% и мышьяка – 2,01%). Экономически целесообразно принять за оптимальное время выщелачивания 60 мин, чего вполне достаточно для максимального перевода Cu, Zn, As в раствор.

Сравнительный анализ зависимости влияния температуры и времени выщелачивания на извлечение Cu, Zn, As в раствор (рис. 3, а, б) показывает идентичный ход кривых. Это свидетельствует о том, что температура и время при выщелачивании имеют равноценное влияние на извлечение металлов из пыли в раствор. Следовательно, одним из основных параметров, оказывающих сильное воздействие на извлечение Cu, Zn, As в раствор, будет отношение Т:Ж.

Для определения влияния Т:Ж на извлечение Cu, Zn, As в раствор была проведена серия опытов при следующих условиях: $t = 60\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\tau = 60$ мин. Количество исходной навески, как и в предыдущих опытах, было постоянным и составляло 200 г. Опыты проводили при различных значениях Т:Ж – 0,5; 1,0; 1,5.

Эффект влияния Т:Ж на извлечение Cu, Zn, As в раствор показан на рис. 3, в. Видно, что высокие значения по извлечению металлов в раствор достигаются даже при низком Т:Ж = 0,5. Увеличение отношения Т:Ж с 0,5 до 1,5 ведет к существенному повышению извлечения металлов: меди – с 75,6 до 88,67%, цинка – с 86,23 до 95,21%, мышьяка – с 34,6 до 49,32%. Дальнейшее увеличение Т:Ж представляется нецелесообразным ввиду повышенного расхода серной кислоты. Установленное отношение Т:Ж = 1,5 представляется оптимальным обеспечивающим максимальное извлечение Cu, Zn, As из пыли в раствор. Снижение отношения Т:Ж с 1,5 до 1,0, хотя оказывает незначительное влияние на снижение извлечения меди и цинка в раствор, для мышьяка это влияние оказывается существенным. Извлечение мышьяка при снижении Т:Ж с 1,5 до 0,5 ведет к резкому спаду извлечения – с 49,32% до 39,5%. Это представляется естественным. Для полного перевода мышьяка в раствор необходимо создание условий для протекания реакции (7). Повышение скорости реакции (7) будет смещаться в сторону образования мышьяковистой кислоты при повышении концентрации серной кислоты. При этом на скорость и полноту протекания реакции (7) будет оказывать существенное влияние протекание реакций (1) и (3). Поэтому стремление одновременно достижения высоких извлечений Cu, Zn, As в раствор путем повышения отношения Т:Ж не совсем эффективно.

Влияние отношения Т:Ж на поведение металлов при выщелачивании пыли серной кислотой показано на рис. 4.

Нетрудно видеть, что увеличение отношения Т:Ж с 0,5 до 1,5 ведет к повышению содержания свинца в кеке с 38,7 до 50,6%. Максимальное извлечение свинца в кек достигается при Т:Ж = 1,5 и составляет 96,1%. Благоприятным эффектом является то, что при увеличении отношения Т:Ж с 1,0 до 1,5 содержание мышьяка в кеке падает с 16,4 до 13,5%.

Полученные результаты экспериментальных исследований показывают принципиальную возможность селективного извлечения Cu, Zn и Pb в целевые продукты путем прямого выщелачивания тонкой пыли медеплавильного завода серной кислотой при следующих установленных оптимальных параметрах процесса: Т:Ж = 1,5; $t = 60\text{ }^{\circ}\text{C}$; $\tau = 60$ мин. При этом основным фактором, влияющим на селективное извлечение Cu, Zn, As и Pb в целевые продукты при выщелачивании тонкой пыли медеплавильного завода серной кислотой, является отношение Т:Ж.

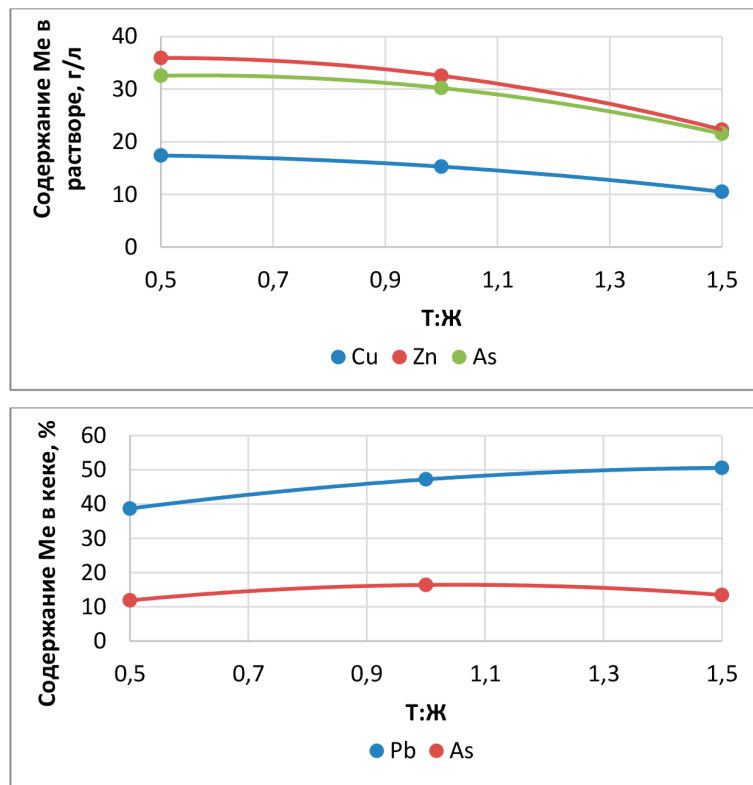


Рис. 4. Изменение содержания металлов в растворе и свинцовом кеке в зависимости от Т:Ж при $t = 60^\circ\text{C}$, $\tau = 60$ мин

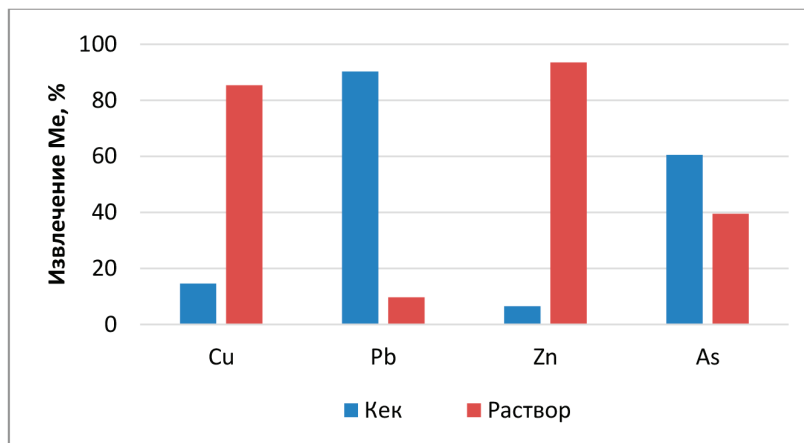


Рис. 5. Извлечение металлов в продукты выщелачивания: $T:Ж = 1,5$; $t = 60^\circ\text{C}$; $\tau = 60$ мин

На рис. 5 приведены результаты по извлечению металлов в целевые продукты, полученные при оптимальных параметрах выщелачивания.

Максимальное извлечение металлов в целевые продукты составило: меди и цинка в раствор – 89 и 96% соответственно, свинца в кек – до 97%. Извлечение мышьяка в раствор – 49,32%. Более половины

мышьяка (~51%) от общего его содержания в исходной пыли сконцентрировано в свинцовом кеке.

Полученные результаты позволяют сформулировать ряд важных выводов для практики:

1) при прямом выщелачивании тонкой пыли медеплавильных заводов Казахстана серной кислотой невозможно достичь мак-

симального перевода мышьяка в раствор с целью дальнейшего его вывода из общей технологической схемы и утилизации;

2) концентрирование более половины мышьяка от общего его содержания в пыли в свинцовом кеке приведет при восстановительной плавке кека к получению вторичной оборотной пыли с высоким содержанием мышьяка;

3) использование оборотной пыли усилит накопление мышьяка в общей технологической схеме, что существенно снизит технолого-экологические показатели технологии в целом.

Заключение

На основании результатов исследований по изучению влияния различных факторов на поведение Cu, Pb, Zn и As при выщелачивании тонкой пыли медеплавильного завода серной кислотой показана принципиальная возможность селективного выделения свинца в свинцовый кек, а меди и цинка – в раствор с дальнейшим их извлечением до товарного продукта.

Установлено, что резкий рост извлечения Zn в раствор наблюдается в интервале изменения температуры от 20 до 60 °С: с 84,56 до 93,5%. В интервале температур от 60 до 80 °С извлечение цинка и меди в раствор изменяется незначительно – от 93,5 до 95,21% и от 85,4 до 87,54% соответственно.

Показано, что повышенное распределение мышьяка при выщелачивании в свинцовый кек (до 60%) характеризуется прямым переходом в кек значительной доли нерастворимого в серной кислоте оксида мышьяка в форме As_2O_3 . Переход мышьяка из пыли в раствор происходит за счет протекания реакции взаимодействия пентавалентного оксида мышьяка (As_2O_5), присутствующего в исходной пыли, с серной кислотой с образованием мышьяковистой кислоты.

В результате проведенных опытов установлены оптимальные параметры выщелачивания пыли серной кислотой: $T:Ж = 1,5$; $t = 60$ °С; $\tau = 60$ мин. При оптимальных условиях ведения процесса достигнуты максимальные извлечения металлов в целевые продукты: меди и цинка в раствор – 89 и 96% соответственно, свинца в кек – до 97%. Извлечение мышьяка в раствор со-

ставило 49,32%. Более половины мышьяка (51%) от общего его содержания в исходной пыли концентрировано в свинцовом кеке.

Список литературы

1. Сергеева Ю.Ф., Мамяченков С.В., Сергеев А.В. и др. Гидрометаллургическая технология переработки тонких пылей медеплавильного производства с использованием комплексобразующего реагента // Цветные металлы. 2013. № 8. С. 79–82.
2. Dosmukhamedov N., Zholdasbay E., Argyn A., Kurmanseytov M., Icheva Yu., Klyshbekova Zh. To the choice of technology for processing lead dust of copper production: Analysis of methods of dust recycling // European Journal of Natural History. 2023. № 4. P. 18–24.
3. Toporkova Yu.I., Bludova D., Mamyachenkov S.V., Anisimova O.S. Review of electric arc melting dust processing methods // Polytech Journal. 2021. Vol. 25, Is. 5. P. 643–680. DOI: 10.21285/1814-3520-2021-5-643-680.
4. Mamyachenkov S.V., Khanzhin N.A., Anisimova O.S., Karimov K.A. Extraction of non-ferrous metals and arsenic from fine dusts of copper smelter production by combined technology // Izvestiya. Non-Ferrous Metallurgy. 2021. Vol. 27, Is. 5. P. 25–37. DOI: 10.17073/0021-3438-2021-5-25-37.
5. Lee H., Mishra B. Recovery of Copper and Precious Metals and Separation of Lead from Flue Dust of Electronic Waste Processing // Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review. 2020. Vol. 41, Is. 3. P. 153–161. DOI: 10.1080/08827508.2019.1575827.
6. Wang L., Yu C., Fu X., Yang W., Ma B., Wang C., Zhou C., Zhang Q. Quantitative characterization of secondary copper flue dust and guidance for separating valuable and toxic elements via low-temperature roasting and selective leaching // Minerals Engineering. 2022. Vol. 189. No. 107871.
7. Shen L., Tesfaye F., Li X., Lindberg D., Taskinen P. Review of rhenium extraction and recycling technologies from primary and secondary resources // Minerals Engineering. 2021. Vol. 161. No. 106719.
8. Okanigbe Daniel Ogochukwu. A Review on The Sustainable Production of Copper Nanoparticles from Waste Copper Dust using Nanometer-Scale Zerovalent Iron Particles as Reducing Agent // PriMera Scientific Engineering. 2023. Vol. 2, Is. 3. P. 37–52.
9. Kobayashi Y., Hirano S. Distribution and excretion of arsenic metabolites after oral administration of seafood-related organoarsenicals in rats // Metals. 2016. Vol. 6. P. 231–235. DOI: 10.3390/met6100231.
10. Dosmukhamedov N., Kaplan V. Efficient removal of arsenic and antimony during blast furnace smelting of lead-containing materials // JOM. 2017. Vol. 69. P. 381–387.
11. Zhong D.P., Li L., Tan C. Separation of arsenic from the antimony-bearing dust through selective oxidation using CuO // Metall. Mater. Trans. B. 2017. Vol. 48. P. 1308–1314.
12. Yang W.C., Tian S.Q., Wu J.X., Chai L.Y., Liao Q. Distribution and behavior of arsenic during the reducing-matting smelting process // JOM. 2017. DOI: 10.1007/s11837-017-2332-8.
13. Swinbourne D.R., Kho T.S. Computational thermodynamics modeling of minor element distributions during copper flash converting // Metall. Mater. Trans. B. 2012. Vol. 43. P. 823–829.

УДК 551.46.07

РЕЗУЛЬТАТЫ НАБЛЮДЕНИЙ ЛЕДОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ОБЪЕКТЫ, ЗАТОПЛЕННЫЕ В КАРСКОМ МОРЕ

^{1,2}Римский-Корсаков Н.А., ¹Пронин А.А., ³Казеннов А.Ю.,
³Кикнадзе О.Е., ¹Анисимов И.М., ¹Лесин А.В., ¹Муравья В.О.

¹ФГБУН Институт океанологии имени П.П. Ширшова Российской академии наук, Москва;
²ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана»,
Москва, e-mail: nrk@ocean.ru;

³Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт»,
Москва, e-mail: Kazennov_AY@nrcki.ru

В статье приведены результаты натурных исследований и наблюдений окружающей водной среды Карского моря в связи с захороненными в заливах восточного побережья Новой Земли и в Новоземельской впадине радиоактивными отходами (РАО) эксплуатации атомного подводного и ледокольного флота, а также затопленными ядерно и радиационно опасными объектами (ЯРОО). Объекты затоплены в Карском море в районах с различными географическими и гидрометеорологическими характеристиками на разных глубинах. В этой связи интерес представляет процесс воздействия плавающего и сплошного льда на объекты, затопленные в разных районах моря, учитывая, что воздействие льда (торосы, айсберги) на морское дно арктических морей зарегистрировано по наличию следов ледовой экзарации до глубин 120 м. Крупными (десятки метров) объектами РАО и ЯРОО являются реакторные отсеки аварийных АПЛ и судов с твердыми радиоактивными отходами (ТРО), а также отработавшим и неотработавшим ядерным топливом (ОЯТ). Повреждение РАО и ЯРОО ледовым покровом может привести к разрушению защитных барьеров, отделяющих ядерное топливо и РАО от окружающей среды, с последующим ее загрязнением в различных масштабах. В статье приводятся результаты наблюдений объектов РАО и ЯРОО в некоторых характерных районах Карского моря.

Ключевые слова: Карское море, Новая Земля, заливы, Новоземельская впадина, лед, айсберги, торосы, экзарация, захоронения РАО, ядерно и радиационно опасные объекты

Исследования проведены в рамках Государственного задания ИО РАН по теме № FMWE-2021-0010. Аналитическая часть выполнена за счет средств проекта РФФ № 23-17-00156.

OBSERVATION OF ICE IMPACT RESULTS ON FLOODED OBJECTS AT KARA SEA

^{1,2}Rimskiy-Korsakov N.A., ¹Pronin A.A., ³Kazennov A.Yu.,
³Kiknadze O.E., ¹Anisimov I.M., ¹Lesin A.V., ¹Muravya V.O.

¹Shirshov Institute of Oceanology of the Russian Academy of Science, Moscow;

²Bauman State Technical University, Moscow, e-mail: nrk@ocean.ru;

³Kurchatov Institute National Research Center, Moscow, e-mail: Kazennov_AY@nrcki.ru

The article presents field studies and observations results of the surrounding underwater environment of the Kara Sea in connection with radioactive operation waste (RW) of nuclear submarine and icebreaker fleets buried in the bays of the eastern coast of Novaya Zemlya and in the Novaya Zemlya Depression, as well as submerged nuclear and radiation hazardous objects (NRHO). The objects were flooded in the Kara Sea in areas with different geographical and weather conditions at different depths. That is why, the impact process of floating and cohesive ice on flooded objects at different sea areas is of interest. It is also known that the ice registered impact (hummocks, icebergs) on the Arctic ocean seabed (presence of traces of ice exaration) distributes up to 120m depths. Large (tens of meters) objects of RW and NRHO are emergency nuclear submarines reactor compartments and vessels with solid radioactive waste (SRW), as well as spent and non-spent nuclear fuel (SNF). Damage to RW and NRHO by the ice cover can lead to the destruction of protective barriers separating nuclear fuel and RW from the environment, followed by its pollution on various scales. The article presents data from observations of RW and NRHO objects in some special areas of the Kara Sea.

Keywords: Kara Sea, Novaya Zemlya, gulfs, Novaya Zemlya depression, ice, icebergs, hummocks, exaration, RW disposal, nuclear and radiation hazardous objects

The research was carried out within the framework of the State assignment of the Institute of Oceanology of the Russian Academy of Sciences on topic No. FMWE-2021-0010. The analytical part was carried out with funds from the Russian Science Foundation project No. 23-17-00156.

С началом широкого развития атомной энергетики в конце 1950-х гг. в мире остро встал проблема утилизации радиоактивных отходов (РАО). Одним из распространенных вариантов утилизации стал сброс

РАО в открытое море. В 1960-х – 1970-х гг. практика затопления радиоактивных отходов в Мировом океане была общепринятой для стран, развивающих использование ядерной энергии.

Советский Союз, а позднее Российская Федерация в 1957–1993 гг. осуществляли сброс РАО в арктических (Баренцево и Карское) и дальневосточных (Японское, Охотское и северо-западная часть Тихого океана) морях. Необходимость захоронения РАО в море была связана в основном с деятельностью Военно-морского флота и морских пароходств, имеющих атомный флот [1, 2].

В Карском море затопливались твердые радиоактивные отходы (ТРО), ядерные реакторы (ЯР), в том числе с невыгруженным отработавшим ядерным топливом (ОЯТ) – 4 реакторных отсека (РО) атомных подводных лодок (АПЛ) и экранная сборка атомного ледокола (АЛ) «Ленин», а также АПЛ К-27 [2]. Затопления осуществлялись в заливах северного и южного островов Новой Земли, а также в Новоземельской впадине.

Карское море почти весь год покрыто льдами местного происхождения. Ледообразование начинается в сентябре. Встречаются значительные пространства многолетних льдов толщиной до 4 м. Вдоль берегов образуется припай, в центре моря – плавающие льды. Летом льды распадаются на отдельные массивы.

Длительное нахождение затопленных объектов в морской коррозионно-агрессивной среде может привести к частичному разрушению металлических контейнеров и нарушению их герметичности. Дополнительную угрозу может составлять разгерметизация затопленных объектов вследствие истирающей деятельности льда, в том числе в мелководных фьордах. Как известно, современное вспахивание морского дна льдом в Карском море отмечено до глубин 25–35 м [3, 4].

Воздействие ледовых образований (ЛО) на берега, дно и техногенные объекты, затопленные в морях Российской Арктики, являются существенным фактором, влияющим на экологию региона в целом и непосредственно мест захоронения ТРО. Еще в самом начале широкого изучения проблемы затопленных ТРО Н.А. Айбулатовым [1] была отмечена большая роль морских льдов в процессе переноса и отложения техногенных радионуклидов в осадочной толще.

Воздействие ледовых образований на дно и берега разделяют на две группы: прямое и косвенное [1, 3]. Прямое воздействие включает в себя такое опасное явление, как экзарация (выпахивание), захват и перенос наносов льдом, формирование мерзлых пород в местах контакта лед – дно, местный размыв дна, обусловленный наличием припая. Косвенное влияние выражается прежде всего в защитной роли льда

от разрушающего воздействия волнения и приливов. Прямое воздействие ЛО на дно приводит к образованию характерных форм подводного микро рельефа – борозд ледовой экзарации, гряд и ям выдавливания (застамушивания), воронок размыва (сверления) и воронок вытаивания [3–5].

На рис. 1 приведено типичное гидролокационное изображение участка дна со следами ледовой экзарации, полученное в заливе Течений.

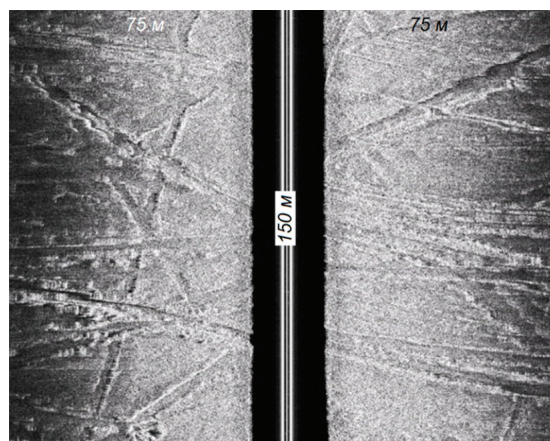


Рис. 1. Гидролокационное изображение поверхности дна с бороздами ледовой экзарации, полученное вблизи залива Течений (Новая Земля, Карское море) в 54-м рейсе НИС «Академик Мстислав Келдыш» (АМК) с помощью ГБО «Микросонд» (240 кГц) разработки ИО РАН

В прибрежье Новой Земли в шести районах из восьми фактически захоронения ТРО осуществлены на глубинах меньше 25–35 м. В связи с этим проблема контроля состояния затопленных объектов с радиоактивными отходами и оценка уровней радиоактивного загрязнения водной акватории в местах нахождения ППО в Карском море в настоящее время является весьма актуальной.

Результаты исследования и их обсуждение

В соответствии с источником [2] в Карском море известны следующие основные захоронения ТРО, включающие крупные объекты и свалки контейнеров с ТРО.

В заливе Абросимова затоплены аварийные реакторные отсеки (РО) АПЛ К-3 и К-5 с выгруженным ядерным топливом, а также РО АПЛ К-11 с невыгруженным ядерным топливом из реактора левого борта. Эти РО АПЛ затоплены в кутовой части залива на глубине 13 м (позиция «а» на рис. 2).

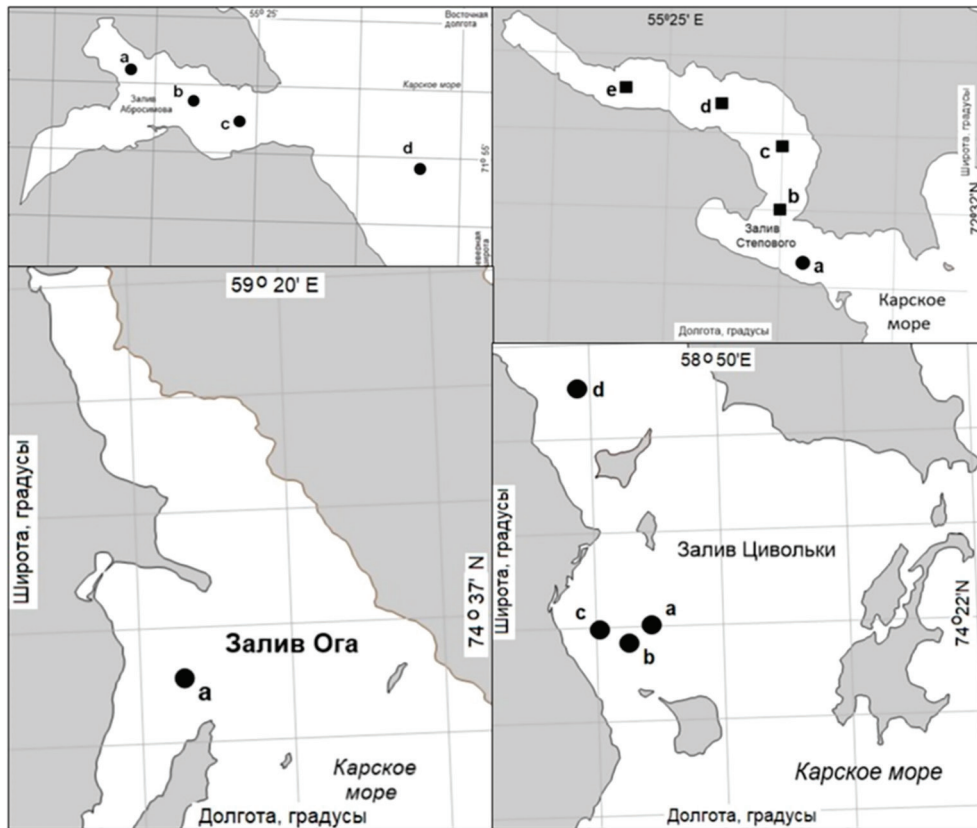


Рис. 2. Схемы затопления ТРО в заливах Новой Земли
 На схеме залива Абросимова обозначено: а – место затопления РО АПЛ К-3, К-5 и К-11, б – место затопления судов и контейнеров с ТРО; с – локальная свалка контейнеров с ТРО, d – РО АПЛ К-19.
 На схеме залива Степового обозначено: а – АПЛ К-27, б, с, d, e – места захоронений ТРО в контейнерах.
 На схеме залива Ога обозначено: а – захоронение ТРО в контейнерах.
 На схеме залива Цивольки обозначено: а – экранная сборка АЛ «Ленин», б, с – суда с ТРО; d – реакторная сборка ППУ ОК-150 АЛ «Ленин»

В силу небольших размеров акватории места затопления РО и окружающего гористого рельефа, ледовое покрытие не испытывает воздействие ветра, течений и давления окружающих ледяных полей и торосов. Изображения РО на кадрах видеосъемки, полученных в разное время с помощью различных ТНПА, свидетельствуют о небольших повреждениях легкого корпуса РО в верхней части и наличии сильного обрастания водорослями – ламинарией [6].

В море южнее входа в залив Абросимова на глубине 48 м затоплен РО АПЛ К-19. Местоположение отсека показано на рис. 2 (позиция «d»). Отсек затоплен в 1965 г. Невыгруженное ОЯТ находится в двух реакторах. РО обнаружен в 2004 г. в ходе общей гидролокационной съемки залива Абросимова в экспедиции на научно-исследовательском судне (НИС) «Профессор Штокман», организованной по заказу МЧС России в 2004 г. Однако окончательно

объект был идентифицирован как РО АПЛ К-19 в 2019 г. в экспедиции Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН (ИО РАН) на НИС «Академик Мстислав Келдыш» («АМК») [6]. Отсек находится в открытом море в зоне постоянного движения плавающего льда, торосов и айсбергов и лежит на каменистом дне. Палуба отсека находится на глубине около 35 м (!).

РО имеет значительные повреждения верхней части легкого корпуса, фактически сохранились только силовые элементы продольного и поперечного набора (штангоуты и стрингеры), а значительные элементы обшивки полностью отсутствуют. Наиболее вероятной причиной данных повреждений является ледовое воздействие айсбергов и торошение льдов Карского моря. На рис. 3 приведен кадр видеозаписи, полученный с помощью ТНПА «Аргус» Центра подводных исследований Русского географического общества (ЦПИ РГО).



Рис. 3. Кадр видеозаписи, полученной с помощью видеокamеры ТНПА «Аргус» ЦПИ РГО. На изображении представлена верхняя часть (палуба) ПО АПЛ К-27, затопленного в Карском море южнее входа в залив Абросимова (Новая Земля)

В заливе Степового на глубине 30 м затоплена атомная подводная лодка (АПЛ) К-27 (зав. № 601) [2]. Место затопления показано на рис. 2 (позиция «а»). Глубина места 30 м. АПЛ имеет водоизмещение 4400 т, длину 110 м, затоплена после аварии в 1968 г. с двумя ядерными реакторами с невыгруженным ОЯТ. После аварии в 1968 г. оба реактора были заморожены. Ядерные реакторы заглушены всеми штатными плотителями. Реакторный отсек и полости реакторов заполнены фурфуролом и битумом. Регулярные обследования состояния АПЛ, в том числе последнее в 2021 г., показали, что в непосредственной близости от объекта уровень радиоактивности не превышает фоновых значений, что свидетельствует о герметичности АПЛ и целостности защитных барьеров.

В северо-восточной части залива на глубинах от 18 до 40 м также затоплены группы контейнеров с ТРО.

Видеоизображения перечисленных объектов, сделанные в основном с помощью ТНПА «ГНОМ», показывают на отсутствие следов взаимодействия объектов с сезонным ледовым покровом: на контейнерах с ТРО видны массивные «шапки» осадочного покрова, а на поверхности легкого корпуса АПЛ отсутствуют характерные повреждения.

В заливе Цивольки по архивным данным, а также по данным экспедиций МЧС России и ИО РАН в 2004–2013 гг. в средней части залива в 1960-х – 1970-х гг. были захоронены различные объекты. Глубины моря в этом месте залива составляют в основном более 50 м. Схема захоронения приведена на рис. 2.

Помимо объектов (контейнеров), содержащих в основном низко активные ТРО, в заливе Цивольки на глубине 49 м затоплена

экранный сборка (ЭС) реактора паро-производящей установки (ППУ) ОК-150 атомного ледокола (АЛ) «Ленин» (рис. 2, позиция «а») с остатком отработавшего ядерного топлива (ОЯТ). По сведениям источника [2] ЭС размещена в специальном контейнере из нержавеющей стали, сваренном в центральную часть цилиндрического понтона (цистерны) размером 5х3 м из углеродистой стали. Свободные объемы контейнера заполнены твердеющей смесью на основе фурфурола, а на контейнер наварена крышка. Свободный объем центральной части понтона заполнен бетоном. ЭС содержит ~40% всей активности объектов с ОЯТ, затопленных в Карском море.

В непосредственной близости от места затопления экранной сборки АЛ «Ленин» на глубинах 60–140 м находится комплексное захоронение ТРО. Здесь захоронены 5242 металлических контейнера размером 1х1х1 м, отдельные крупногабаритные предметы, 2 плавсредства с грузом ТРО (пароход «Н. Бауман» – позиция «с» и спецлихтер «Колежма» – позиция «б»), а также 166 крупногабаритных предметов, в том числе корпус реактора ППУ ОК-150 АЛ «Ленин» (позиция «d»).

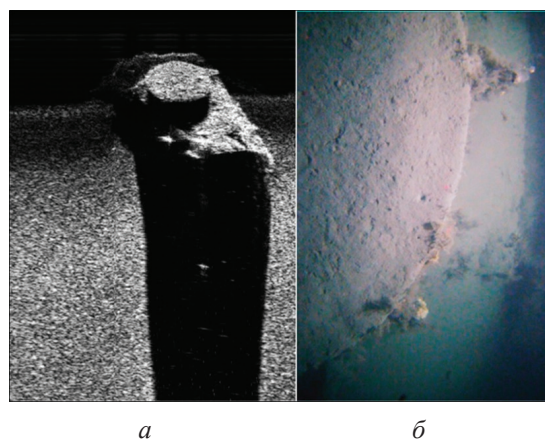


Рис. 4. Понтон с контейнером с ЭС АЛ «Ленин» в заливе Цивольки:
а – гидролокационное изображение, полученное с помощью ГБО ВМ разработки ИО РАН (диаметр крышки 2,5 м); б – кадр видеозаписи, полученной с помощью видеосистемы БНПА «Видеомодуль», с изображением фрагмента крышки контейнера. Очевидно отсутствие следов ледового воздействия на понтон и окружающий грунт

Несмотря на открытость и значительные размеры залива, которые могут способствовать образованию торосов, а также наличие ледника «Серп и Молот» в кутовой части залива, следов ледового воздей-

ствия на затопленные объекты в процессе подводных видеосъемок не обнаружено, что связано, по-видимому, со сравнительно большой глубиной захоронения. На рис. 4 представлены видео- и гидролокационное изображения понтона с ЭС АЛ «Ленин» полученные в 81-м рейсе НИС «АМК» с помощью БНПА «Видеомодуль» [7]. На понтоне и крышке контейнера следы ледового воздействия отсутствуют. На поверхности дна вблизи ЭС также не обнаружено следов ледовой экзарации.

В *заливе Ога* (рис. 2) в разное время на дне на глубине 57–60 м захоронены различные ТРО – отходы эксплуатации и ремонта атомного флота, преимущественно в металлических контейнерах размером 1х1х1 м, а также ТРО без упаковки. Здесь затоплены отходы судоремонта СФ и СРЗ «Нерпа», парогенераторы, помпы, а также баржа с ТРО [2]. Видеонаблюдения объектов в заливе Ога с использованием БНПА «Видеомодуль», а также ТНПА «Мираж» были выполнены в 63-м рейсе НИС «АМК». Результаты наблюдений показывают на отсутствие следов взаимодействия объектов с сезонным ледовым покровом.

В *заливе Седова* (рис. 5) по архивным данным [2] в разное время были захоронены

металлические контейнеры с ТРО, размером 1х1х1 м, а также ТРО без упаковки (фильтры активности, насосы, парогенераторы и т.п.) размером до 5 м. Глубины при входе в залив неровные. Среди глубин 100–150 м имеются банки с глубинами 13,8–17,2 м, во внешней части залива рельеф дна ровный, здесь расположена широкая ложбина с глубинами до 223 м. Внутренняя, узкая часть залива отделена от внешней порогом с глубинами 90–95 м. На рис. 5 представлена схема расположения мест затопления объектов ТРО в заливе Седова. В 63-м рейсе НИС «АМК» по результатам гидролокационной съемки с помощью ГБО было подтверждено захоронение в центральной части залива (позиция «а»). Следов ледовой экзарации на поверхности дна вблизи группы контейнеров не зарегистрировано.

В *заливе Благополучия* находится комплексное захоронение ТРО. Глубина моря в центральной внутренней части залива достигает 170 м. В заливе затоплены твердые радиоактивные отходы атомного ледокола «Ленин» – 992 контейнера и 2 крупногабаритных предмета. Активность – 305 Ки (эквивалент по стронцию-90) [2]. Глубина места в районе захоронения на западном берегу залива составляет 20–60 м (рис. 5).

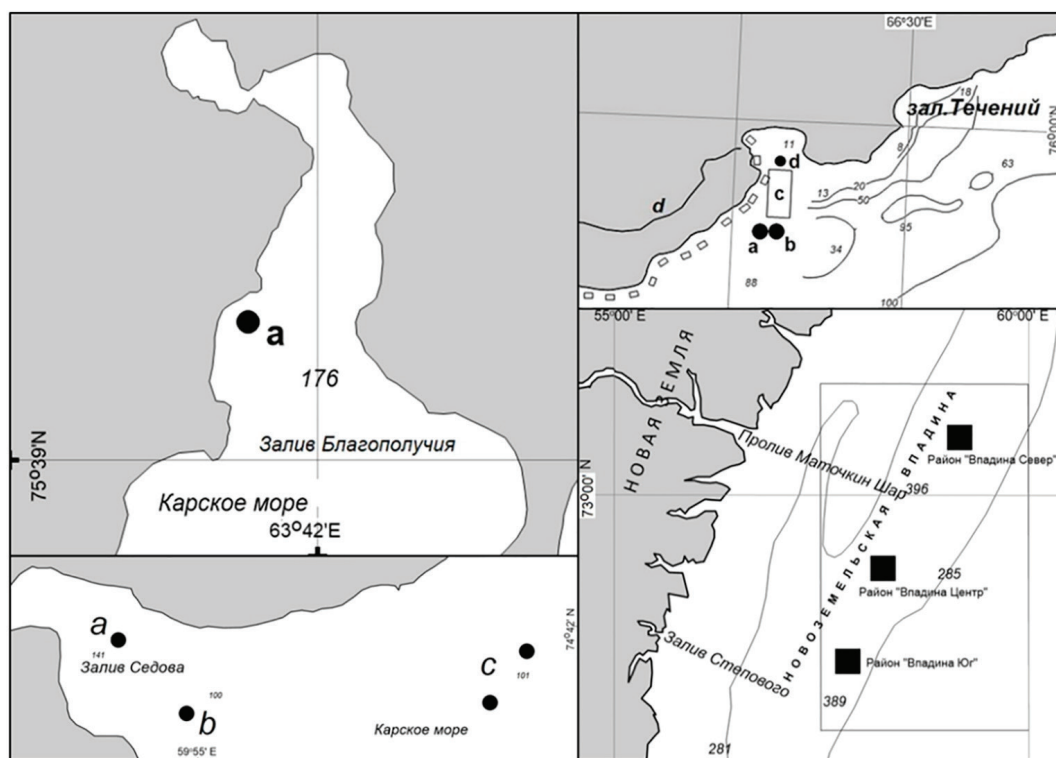


Рис. 5. Схемы затопления ТРО в заливах Благополучия, Седова, Течений и в Новоземельской впадине Карского моря. На схемах обозначено: а, b и d – места захоронений, с – районы захоронений, сплошные линии – изобаты

Архивные сведения о захоронении подтверждены неоднократными наблюдениями с использованием гидролокационных средств (буксируемых ГБО, а также ГБО, установленных на БНПА «Видеомодуль» и АНПА «Пилигрим») и видеосистем ТНПА «ГНОМ» и «Фалькон» [8, 9]. Результаты наблюдений поверхности дна и объектов в районе захоронения ТРО с использованием гидролокационной и видеотехники показывают на отсутствие следов ледового воздействия.

В *заливе Течений* по архивным данным [2] на глубине 35–50 м находится комплексное захоронение ТРО (прямоугольник на схеме залива на рис. 5). В период с 1982 по 1988 г. в заливе затоплено 194 металлических контейнера (1x1x1 м), 31 крупногабаритный предмет без упаковки и 1 плавсредство (лихтер № 4). Суммарная активность – 1900 Ки (эквивалент по стронцию-90). Также в заливе Течений затоплены два реактора АПЛ с выгруженным ОЯТ (отметки «а» и «б» на схеме на рис. 5). Активность захоронения реакторов составляла 0,2 кКи.

Последнее исследование места захоронения ТРО в заливе Течений было предпринято в 2007 г. экспедицией ИО РАН и МЧС России на НИС «Академик Мстислав Келдыш» (54-й рейс). Были проведены наблюдения дна с помощью ТНПА «ГНОМ» в четырех из пяти точек, определенных по данным гидролокационной съемки. В районе точки «а» обнаружен цилиндрический предмет, часть которого на одну треть диаметра выступает из грунта. Обрастание можно определить как среднее, можно видеть металлическую поверхность объекта. Рядом с помощью ГБО была обнаружена россыпь объектов с размерами около одного метра. Однако по данным видеосъемки ТНПА установлено, что дно в данном месте имеет нарушения, вызванные ледовой экзарацией. Техногенных предметов не обнаружено. В районе точки «д» с помощью ГБО был обнаружен объект, который предварительно был классифицирован как лихтер. Мутность воды в данном районе, обусловленная наличием сильного волнового наката на скальной гряде, перегораживающей вход в бухту, не позволила провести эффективный поиск. Гидрометеорологические условия во время работ были неблагоприятными. Отсутствие навигационных карт, сильный туман, волнение и наличие плавающих обломков ледника мешали работе. Обнаруженный объект не был идентифицирован. В исследованном районе зарегистрированы следы ледовой экзарации

(рис. 1) на глубинах 15–20 м. Исследования в заливе Течений планируется продолжить в 92-м рейсе НИС «АМК» в 2023 г.

В *Новоземельской впадине* находятся три основные группы захоронений ТРО (рис. 5). Глубины моря здесь составляют 300–350 м. По архивным данным в 1970-х гг. здесь было затоплено: металлические контейнеры с ТРО (1x1x1 м) – 4834 шт., 306 отдельных крупногабаритных предметов (корпуса реакторов, парогенераторы и т.п.), 9 плавсредств с ТРО (2 лихтера, в том числе «Саяны», 2 танкера ТНТ, 3 баржи МБСН, пароход «Хосе Диас», спецсудно «Могилов» и др.). Вместе с баржей МБСН затоплен ЯР АПЛ с невыгруженным ОЯТ. В настоящее время из известных по архивным данным затоплений подтверждены места парохода «Хосе Диас», ТНТ «Саяны» и баржи МБСН-365250 с ЯР АПЛ.

Вследствие больших глубин (до 400 м) объекты, затопленные в Новоземельской впадине, не подвержены воздействию плавающего льда, торосов и айсбергов.

Заключение

Наиболее опасными с точки зрения механического воздействия ледового покрова, в том числе торосов и айсбергов, на затопленные техногенные объекты являются участки открытого моря (шельфа) с глубинами до 40 м. Здесь образуются торосы и встречаются айсберги, которые могут перемещаться (дрейфовать) под действием сильного ветра и течений.

В тесных заливах льды менее подвижны ввиду отсутствия сильных регулярных течений и пространств для формирования серьезного ветрового нагона. Поэтому здесь нет интенсивного движения и торошения льда, и даже на небольших глубинах (10–15 м) ледовое воздействие на затопленные объекты отсутствует.

В этой связи наиболее подверженным разрушительному воздействию плавающего льда объектом можно считать РО АПЛ К-19, затопленный на шельфе в открытом море вблизи залива Абросимова.

Список литературы

1. Айбулатов Н.А. Экологическое эхо холодной войны в морях Российской Арктики. М.: ГЕОС, 2000. 307 с.
2. Сивинцев Ю.В., Вакуловский С.М., Васильев А.П., Высоцкий В.Л., Губин А.Т., Данилян В.А., Кобзев В.И., Крышев В.И., Лавковский С.А., Мазокин В.А., Никитин А.И., Петров О.И., Пологих Б.Г., Скорик Ю.И. Техногенные радионуклиды в морях, омывающих Россию («Белая книга – 2000»). М.: ИздАТ, 2005. 624 с.
3. Мазнев С.В., Огородов С.А. Воздействие ледяных образований на берега и дно мелководных морей и круп-

ных озер умеренных широт // Лед и снег. 2020. Т. 60, № 4. С. 578–591.

4. Наумов Н.А., Онищенко Д.А. Требования к исходным данным, необходимым для моделирования воздействия ледовой экзарации на заглубленные трубопроводы // Арктика: экология и экономика. 2013. № 2 (10). С. 4–17.

5. Богоявленский В.И., Кишанков А.В., Казанин А.В. Неоднородности верхней части разреза осадочной толщи Восточно-Сибирского моря: залежи газа и следы ледовой экзарации // Доклады Российской академии наук. Науки о Земле. 2022. Е. 505. № 1. С. 5–10.

6. Римский-Корсаков Н.А., Флинт М.В., Казеннов А.Ю., Анисимов И.М., Поярков С.Г., Пронин А.А., Тронза С.Н. Результаты исследования объектов, представляющих экологи-

ческую угрозу, в заливе Абросимова (Новая Земля, Карское море) // Океанология. 2020. Т. 60, № 5. С. 720–728.

7. Римский-Корсаков Н.А., Казеннов А.Ю., Кикнадзе О.Е., Пронин А.А., Анисимов И.М., Лесин А.В., Муравья В.О. Исследование объектов, представляющих экологическую угрозу, в заливе Цивольки (Новая земля, Карское море) // Океанологические исследования. 2023. Т. 51, № 3. С. 70–92.

8. Елкин А.В., Комаров В.С., Розман Б.Я. Телеуправляемые подводные аппараты-роботы «ГНОМ» // Освоение морских глубин. М.: Оружие и технологии, 2018. С. 332–336.

9. Войтов Д.В. Телеуправляемый необитаемый подводный аппарат «Марлин-350» // Освоение морских глубин. М.: Оружие и технологии, 2018. С. 327–331.

СТАТЬИ

УДК 615.276:615.011.4:577.151.042:547.583.5

**МОЛЕКУЛЯРНЫЙ ДОКИНГ В ИССЛЕДОВАНИИ
ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ АМИДОВ И ГИДРАЗИДОВ
N-АРОИЛЗАМЕЩЕННЫХ АНТРАНИЛОВЫХ КИСЛОТ
С МУТАНТНОЙ ФОРМОЙ 5-ЛИПОКСИГЕНАЗЫ В ПОИСКЕ
СОЕДИНЕНИЙ С ПРОТИВОВОСПАЛИТЕЛЬНОЙ АКТИВНОСТЬЮ****Андрюков К.В.***ФГБОУ ВО «Пермская государственная фармацевтическая академия»**Министерства здравоохранения Российской Федерации, Пермь, e-mail: k_andrukov@mail.ru*

Методом молекулярного моделирования с использованием молекулярного докинга построены трехмерные модели исследования взаимодействия амидов и гидразидов N-ароилзамещенных антралиловых кислот с мутантной формой 5-липоксигеназы. Выполнен расчет новых конформаций для двадцати гомологов производных антралиловой кислоты ингибированием активного участка фермента. Расчет и построение новых конформаций проводили с помощью программного комплекса MGL Tools. Молекулярное конструирование производных амидов и гидразидов N-ароилзамещенных антралиловых кислот выполняли в активную ячейку фермента 5-липоксигеназы (PDB ID: 3v99), содержащей арахидоновую кислоту. Анализ результатов расчета новых конформаций проводили по RMSD относительно арахидоновой кислоты. Энергия связывания с 3V99 по величине $Be_{s,log}$ получена в интервале от -3,24 до -5,92 ккал/моль и характеризует низкое сродство исследуемых веществ к данной мутантной форме фермента. Оценку взаимодействия с использованием конформаций проводили так же по межмолекулярной энергии ($Ime_{s,log}$) и ингибированию константе ($Ki_{s,log}$). Максимальное значение энергии связывания с 5-липоксигеназой, равное -5,92 ккал/моль, найдено по конформации № 9 с RMSD = 7,17 для соединения IV, межмолекулярная водородная связь при этом образуется по аминокислоте аргинин (ARG596). Осуществлена проверка результатов моделирования на экспериментальных данных торможения каррагенинового отека с помощью множественного линейного регрессионного анализа.

Ключевые слова: антралиловая, молекулярный докинг, 5-липоксигеназа, противовоспалительная активность**MOLECULAR DOCKING IN THE STUDY OF THE INTERACTION OF AMIDES
AND HYDRAZIDES OF N-AROYL-SUBSTITUTED ANTHRANILIC ACIDS
WITH THE MUTANT FORM OF 5-LIPOXYGENASE IN THE SEARCH
FOR COMPOUNDS WITH ANTI-INFLAMMATORY ACTIVITY****Andryukov K.V.***Perm State Pharmaceutical Academy, Perm, e-mail: k_andrukov@mail.ru*

Three-dimensional models for studying the interaction of amides and hydrazides of N-aroyl substituted anthranilic acids with the mutant form of 5-lipoxygenase were constructed using molecular modeling with molecular docking. The calculation of new conformations for twenty homologues of anthranilic acid derivatives by inhibition of the active site of the enzyme was performed. Calculation and construction of new conformations were carried out using the MGL Tools software package. Molecular construction of derivatives of amides and hydrazides of N-aroyl substituted anthranilic acids was performed in the active cell of the enzyme 5-lipoxygenase (PDB ID: 3v99) containing arachidonic acid. The analysis of the results of the calculation of new conformations was carried out by RMSD with respect to arachidonic acid. The binding energy with 3V99 in the Be_{5-LOG} value was obtained in the range from -3,24 to -5,92 kcal/mol and characterizes the low affinity of the studied substances to this mutant form of the enzyme. The evaluation of the interaction using conformations was also carried out by intermolecular energy (Ime_{5-LOG}) and inhibition constant (Ki_{5-LOG}). The maximum binding energy with 5-lipoxygenase equal to -5,92 kcal/mol was found by conformation no. 9 with RMSD= 7,17 for compound IV, an intermolecular hydrogen bond is formed by the amino acid arginine (ARG596). The simulation results were verified on experimental data of carrageenan edema inhibition using multiple linear regression analysis.

Keywords: anthranilic, molecular docking, 5-lipoxygenase, anti-inflammatory activity

Воспаление является нормальной реакцией на любой вредный раздражитель, угрожающий организму, и может варьироваться от локализованной до генерализованной реакции. Нестероидные противовоспалительные препараты (НПВП) достигают своего противовоспалительного действия за счет ингибирующего действия на фермент циклооксигеназу (ЦОГ), белок необходим

для биосинтеза простагландинов из арахидоновой кислоты. ЦОГ существует в двух изоформах, а именно ЦОГ-1 и ЦОГ-2. В общих чертах, ЦОГ-1 отвечает за защиту слизистой оболочки желудка и поддержание гомеостаза, тогда как ЦОГ-2 индуцируется провоспалительными стимулами в очагах воспаления. Арахидоновая кислота является одним из основных компонентов фос-

фолипидов клеточных мембран и действует как нормальный субстрат для различных ферментов, таких как 5-липоксигеназа (5-ЛОГ) [1] и ЦОГ [2].

5-ЛОГ метаболизирует арахидоновую кислоту с образованием лейкотриенов, которые являются медиаторами при астме и воспалении, и инициирует биосинтез провоспалительных лейкотриеновых липидных медиаторов и вместе с 15-ЛОГ также необходима для синтеза противовоспалительных липоксинов. 5-липоксигеназа (5-ЛОГ) является одним из трех основных изоферментов, участвующих в метаболическом процессе арахидоновой кислоты, и существует в виде компенсаторного механизма с ЦОГ [3]. Лейкотриены (ЛТ), в конечном счете продуцируемые ЛОГ-путем, рассматриваются как важные медиаторы воспалительных и аллергических заболеваний и, как полагают, тесно связаны с раком и сердечно-сосудистыми заболеваниями [4]. Каталитическая активность 5-ЛОГ регулируется с помощью множества механизмов, включая Ca(2+)-направленное связывание с мембраной и фосфорилирование по специфическим сериновым остаткам. Следовательно, можно снизить потенциальный риск сердечно-сосудистых заболеваний, связанных с НПВП, путем ингибирования 5-ЛОГ и снижения синтеза ЛТ.

Биологическая активность производных антралиловой кислоты характеризуются широким спектром: анальгетической, противомикробной, в том числе и противовоспалительной [5, 6] и антиоксидантной [7].

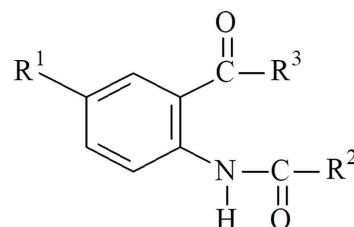
Целью данной работы является расчет новых конформаций для двадцати гомологов ряда амидов и гидразидов N-ароил антралиловых кислот моделированием связывания с 5-ЛОГ, а также проверка результатов моделирования на экспериментальных данных торможения каррагенинового отека с помощью регрессионного анализа.

Материалы и методы исследования

Молекулярное моделирование исследуемых соединений ряда антралиловой кислоты осуществляли с помощью: ChemDraw и Gaussian 03. Расчет анализируемых конформаций с 5-липоксигеназой с PDB ID Code: 3v99 [8] проводили программным комплексом MGL Tools и AutoDock 4.2.. Подготовку исследуемых производных для молекулярного докинга AutoDock 4.2 осуществляли переводением веществ в трехмерный формат (.pdb) программой Marvin Sketch. Проверку результатов моделирования осуществляли на экспериментальных данных торможения каррагенинового отека программой Statistica 6.

Результаты исследования и их обсуждение

Молекулярное моделирование двадцати гомологов (I–XX) амидов и гидразидов N-ароил антралиловых кислот проводили программой ChemDraw.



R¹= H, R²= 4-BrC₆H₄, R³= NHCH₂CH=CH₂ (I); R¹= H, R²= 2-фурил, R³= NHCH₂CH=CH₂ (II); R¹= Br, R²= 2-COON C₆H₄, R³= NH₂ (III); R¹= I, R²= 2-фурил, R³= NHCH₂C₆H₅ (IV); R¹= H, R²= 4-NO₂C₆H₄, R³= NHCH₂CH=CH₂ (V); R¹= Br, R²= 2-фурил, R³= NHNHCOCH₂Cl (VI); R¹= Br, R²= 2-фурил, R³= NHCH₂CH₂CH(CH₃)₂ (VII); R¹= Br, R²= 2-фурил, R³= NHCH₃ (VIII); R¹= I, R²= -фурил, R³= NHCH₃ (IX); R¹= H, R²= 3, 4, 5-(OCH₃)₃C₆H₂, R³= NHCH₂CH=CH₂ (X); R¹= Br, R²= 2-фурил, R³= NHNHCOCH₂CH₂CH₃ (XI); R¹= Br, R²= 2-фурил, R³= NHNHCO(2-фурил) (XII); R¹= Br, R²= 2-фурил, R³= NHNHCO-CH₂C₆H₅ (XIII); R¹= Br, R²= 2-фурил, R³= NHNHCO 2-COON C₆H₄ (XIV); R¹= I, R²= 2-фурил, R³= N(CH₃)₂ (XV); R¹= Br, R²= 2-OCH₃C₆H₄, R³= NH₂ (XVI); R¹= Br, R²= 3-NO₂C₆H₄, R³= NH₂ (XVII); R¹= Br, R²= 2-фурил, R³= NHNH₂ (XVIII); R¹= H, R²= 4-OCH₃C₆H₄, R³= NHCH₂CH=CH₂ (XIX); R¹= I, R²= C₆H₅, R³= NHCH₂CH₂OH (XX).

Спектральные характеристики и результаты экспериментального определения противовоспалительной активности ПВА (ПВА_{эксп.}) на модели торможения каррагенинового отека объекта исследования (I–XX) опубликованы в работе [9].

Для проведения расчета новых конформаций исследуемых амидов и гидразидов N-ароил антралиловых кислот выполняли молекулярный докинг с мутантной формой 5-ЛОГ с 10 мутациями [8].

Наш выбор биологической мишени основан на публикации, посвященной исследованию различных форм 5-ЛОГ, полученных из так называемой человеческой стабильной формы фермента 5-ЛОГ, в которой авторы отмечают, что модель 3V99 по своему составу предназначена для исследования связывания с субстратом в качестве структурной основы.

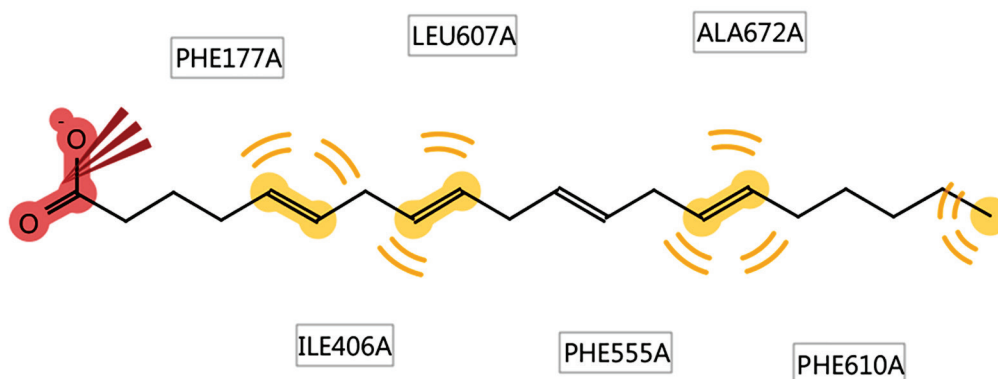


Рис. 1. Диаграмма взаимодействия арахидоновой кислоты с 5-ЛОГ

Таблица 1

Результаты молекулярного докинга по 5-ЛОГ:
номер конформации, скоринговые функции
и остатки аминокислот с водородной связью (Н-связь) и ПВА_{эксп.}

№	Конформация №	Н-связь (5-ЛОГ)	Ki _{5-ЛОГ}	Be _{5-ЛОГ}	Ime _{5-ЛОГ}	ПВА _{эксп.} , %
I	3	нет	463,25	-4,55	-6,04	33,60
II	3	нет	155,06	-5,20	-6,69	66,30
III	3	ARG596	63,81	-5,72	-7,21	59,95
IV	9	ARG596	45,81	-5,92	-7,41	60,05
V	6	GLY431, CYS300	1,77	-3,75	-5,54	-8,10
VI	9	ARG596	112,45	-5,39	-6,88	46,40
VII	4	ASN180	362,25	-4,69	-6,48	31,65
VIII	3	ARG596	618,84	-4,38	-5,27	19,55
IX	7	нет	720,52	-4,29	-5,18	36,15
X	7	ARG596	4,05	-3,26	-5,65	22,70
XI	10	ARG596	500,34	-4,50	-6,29	35,65
XII	2	GLY430, HIS432	346,25	-4,72	-6,21	42,05
XIII	5	нет	4,25	-3,24	-5,03	28,20
XIV	9	ARG596, GLN363	201,13	-5,04	-7,13	33,65
XV	10	ASN180	161,22	-5,17	-6,07	51,50
XVI	9	ARG596	147,86	-5,23	-6,42	46,30
XVII	7	GLY430, ASP293	473,06	-4,54	-5,73	46,15
XVIII	10	нет	347,11	-4,72	-5,91	41,05
XIX	10	нет	1,09	-4,04	-5,83	36,50
XX	8	нет	1,10	-4,03	-5,82	21,30

Кроме того, активный центр модели 3V99 находится в открытой конфигурации, доступной для второй небольшой молекулы – исследуемого лиганда.

Для оптимизации дизайна исследования методом молекулярного докинга и проведения расчета новых конформаций необходимо было выявить и локализовать сайт связывания лигандов с биологической ми-

шенью, в пределах которого проводилось дальнейшее моделирование.

Локализацию сайта связывания проводили на основе комплекса внутри исследуемой мутантной формы 5-ЛОГ: арахидоновой кислоты с активным участком (рис. 1).

На рис. 1 изображен комплекс арахидоновой кислоты с активным участком 5-ЛОГ.

Диаграмма, представленная на рис. 1, показывает наличие ионизационных и гидрофобных взаимодействий. Ионизационная связь образуется по карбоксильной группе арахидоновой кислоты с остатком фенилаланина (PHE177). Структурные фрагменты арахидоновой кислоты, содержащие двойные связи и алкильный радикал, гидрофобно ориентируются рядом с остатками фенилаланина (PHE177, PHE555, PHE610), изолейцина (ILE406), лейцина (LEU607), аланина (ALA672). Локальный участок связывания внутри 5-ЛОГ мы определили в координатах: $x=16,91, y=-72,12, z=-47,24$.

Далее проводили построение 20 Grid-карт ($x=16,91, y=-72,12, z=-47,24$), с координатами точек ($60 \times 60 \times 60$) внутри исследуемой ячейки 5-ЛОГ. Выполнен расчет 10 конформаций по каждому исследуемому амиду и гидразиду N-ароил антрапиловой кислоты. Анализ результатов расчета новых конформаций проводили по RMSD относительно арахидоновой кислоты. Полученные конформации по каждому исследуемому соединению представлены в табл. 1.

Анализ результатов расчета новых конформаций приведен в табл. 1 в виде энергии докинга ($Ve_{5-ЛОГ}$) и скоринговых функций,

характеризующих межмолекулярные взаимодействия (межмолекулярная энергия ($Ime_{5-ЛОГ}$)) и количество вещества, необходимое для связывания активного участка (константа ингибирования ($Ki_{5-ЛОГ}$)).

Наибольшее значение энергии связывания с 5-ЛОГ, равное $-5,92$ ккал/моль, найдено по конформации № 9 для соединения IV (рис. 2), межмолекулярная связь показывает взаимодействие карбонильной группы в NH-ацильном фрагменте по аминокислоте аргинин (ARG 596).

Осуществлена проверка результатов моделирования на экспериментальных данных торможения каррагенинового отека с помощью множественного линейного регрессионного анализа. Проведено составление регрессионных многофакторных моделей зависимости и связи экспериментальных данных торможения каррагенинового отека с конформационным анализом.

Проверку осуществляли исследованием зависимости $PBA_{эксп.}$ от $Ve_{5-ЛОГ}, Ime_{5-ЛОГ}, Ki_{5-ЛОГ}$. Полученные результаты представлены уравнениями с наибольшими значениями коэффициента множественной регрессии (R), критерия Фишера (F) и минимальным значением средней квадратичной ошибки (S) (табл. 2).

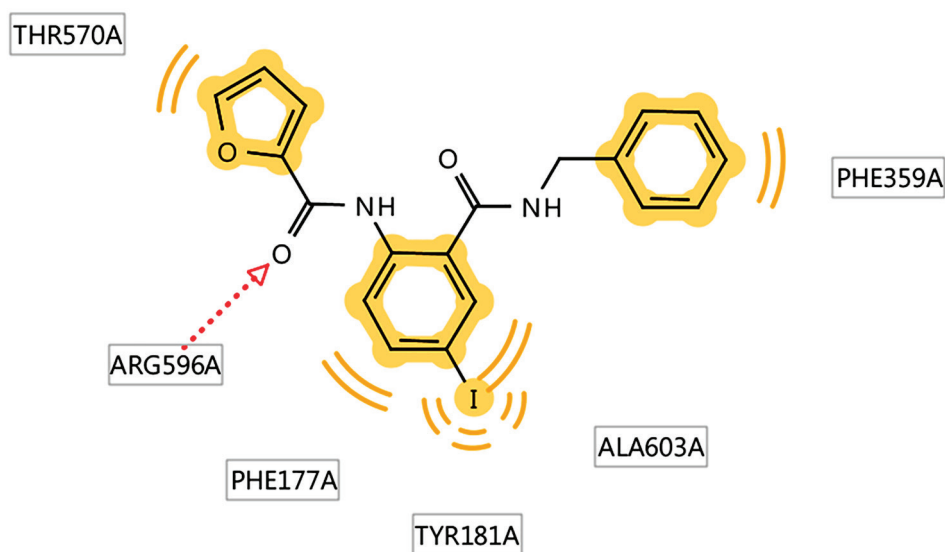


Рис. 2. Диаграмма взаимодействия соединения IV с 5-ЛОГ в активном участке фермента

Таблица 2

Уравнения регрессии зависимости $PBA_{эксп.}$ от $Ve_{5-ЛОГ}, Ime_{5-ЛОГ}, Ki_{5-ЛОГ}$

№	Уравнение регрессии	R	F	S	N
1	$PBA_{расч. 1} = -39,0983 - 18,8373 \times Ve_{5-ЛОГ} + 1,6908 \times Ime_{5-ЛОГ}$	0,762	11,77	11,47	20
2	$PBA_{расч. 2} = -42,9889 - 17,5416 \times Ve_{5-ЛОГ} - 0,0021 \times Ki_{5-ЛОГ}$	0,761	11,74	11,48	20

Выводы

1. Методом молекулярного моделирования построены трехмерные модели исследования взаимодействия амидов и гидразидов N-ароил антралиловых кислот с мутантной формой 5-ЛОГ.

2. Выполнен расчет новых двадцати конформаций взаимодействия исследуемых производных с мишенью 3v99 мутантной формы 5-липоксигеназы.

3. Осуществлена проверка результатов поиска соединений с ПВА на экспериментальных данных торможения каррагенинового отека, в результате получены две двухфакторные модели зависимости с высоким значением R в интервале от 0,761 до 0,762.

Список литературы

1. Hošek J., Leláková V., Bobal P., Pizova H., Gazdová M., Malanik M. Prenylated stilbenoids affect inflammation by inhibiting the NF-κB/AP-1 signaling pathway and cyclooxygenases and lipoxygenase // *Journal of natural products*. 2019. Vol. 82, Is. 7. P. 1839–1848.
2. Abdelgawad M.A., Labib M.B., Ali W.A.M., Kamel G., Azouz A.A., El-Nahass E.S. Design, synthesis, analgesic, anti-inflammatory activity of novel pyrazolones possessing aminosulfonyl pharmacophore as inhibitors of COX-2/5-LOX enzymes: Histopathological and docking studies // *Bioorganic chemistry*. 2018. Vol. 78. P. 103–114.
3. Walker C., Biasucci L.M. Cardiovascular safety of non-steroidal anti-inflammatory drugs revisited // *Postgraduate Medicine*. 2018. Vol. 130, Is. 1. P. 55–71.
4. Koundouros N., Poulogiannis G. Reprogramming of fatty acid metabolism in cancer // *British journal of cancer*. 2020. Vol. 122, Is. 1. P. 4–22.
5. Han S.H., Suh H.S., Jo H., Oh Y., Mishra N.K., Han S., Kim I.S. Synthesis and anti-inflammatory evaluation of N-sulfonyl anthranilic acids via Ir (III)-catalyzed C–H amidation of benzoic acids // *Bioorganic & Medicinal Chemistry Letters*. 2017. Vol. 27, Is. 10. P. 2129–2134.
6. Du L., Du S., Li J., Wang H. Design, synthesis, and biological evaluation of dual-target COX-2/5-LOX inhibitors for the treatment of inflammation // *Medicinal Chemistry Research*. 2023. Vol. 32, Is. 2. P. 218–238.
7. Kausar N., Muratza S., Raza M.A., Rafique H., Arshad M.N., Altaf A.A., Shafqat S.R. Sulfonamide hybrid schiff bases of anthranilic acid: synthesis, characterization and their biological potential // *Journal of Molecular Structure*. 2019. Vol. 118. P. 8–20.
8. Gilbert N.C., Rui Z., Neau D.B., Waight M.T., Bartlett S.G., Boeglin W.E., Newcomer M.E. Conversion of human 5-lipoxygenase to a 15-lipoxygenase by a point mutation to mimic phosphorylation at Serine-663 // *The FASEB Journal*. 2012. Vol. 26, Is. 8. P. 3222–3229.
9. Шакирова А.Б., Подчезерцева А.В., Коркодинова Л.М., Васильева М.Ю., Колла В.Э., Марданова Л.Г., Вахрина Н.И., Данилов Ю.Л. Синтез, противовоспалительная и анальгетическая активности некоторых ариламидов N-замещенных антралиловых кислот // *Химико-фармацевтический журнал*. 2001. Т. 35, № 4. С. 193–195.

УДК 581.6:615.32:613.4

ФИТОТЕРАПЕВТИЧЕСКОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЛЕКАРСТВЕННОГО РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ В КОСМЕТОЛОГИИ

Семенова Е.В., Абаполова И.И., Белинская Р.И.

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный медицинский университет имени Н.Н. Бурденко»
Министерства здравоохранения Российской Федерации, Воронеж, e-mail: abapolova.01@mail.ru

В данной статье были рассмотрены аспекты использования и терапевтическое действие лекарственного растительного сырья, используемого в фармации и косметологии, в зависимости от типа и состояния кожи. Кожа – это сложный и многофункциональный орган человека, который защищает нас от вредного воздействия окружающей среды. Данная тема актуальна, так как во все времена люди пытаются сохранить свое здоровье и красоту на долгие годы и хотят выглядеть привлекательно. Перспективным решением этой проблемы является фитотерапия. Фитотерапия рассматривается как метод лечения заболеваний с помощью лекарственных средств растительного происхождения, содержащих комплексы биологически активных веществ, максимально полно извлеченных из целого растения или отдельных его частей. Благодаря данной терапии человек имеет возможность ухаживать за кожей лица, используя сырье растительного происхождения с высоким содержанием терапевтических биологически активных веществ. В состав большинства косметических средств входят растительные компоненты, которые обладают различными свойствами. Каждое лекарственное растение индивидуально, в нем происходит синтез разнообразных и полезных для человека веществ. При выборе темы нас заинтересовало лекарственное растительное сырье, которое используется в приготовлении масок и настоев, применяемых в фитотерапии, а именно их химический состав, который показал перспективы использования растений в косметологии будущего.

Ключевые слова: фитотерапия, кожа, уход, лекарственное растительное сырье (ЛРС), химический состав

PHYTOTHERAPEUTIC USE OF MEDICINAL PLANT RAW MATERIALS IN COSMETOLOGY

Semenova E.V., Abapolova I.I., Belinskaya R.I.

Voronezh State Medical University named after N.N. Burdenko of the Ministry of Health of Russian Federation, Voronezh, e-mail: abapolova.01@mail.ru

In this article, the aspects of the use and therapeutic effect of medicinal plant raw materials, depending on the type and condition of the skin used in pharmacy and cosmetology, were considered. The skin is a complex and multifunctional human organ that protects us from the harmful effects of the environment. This topic is relevant, because at all times people are trying to preserve their health and beauty for many years and want to look attractive. Phytotherapy is a promising way to solve this problem. Phytotherapy is considered as a method of treating diseases with the help of herbal medicines containing complexes of biologically active substances extracted as fully as possible from the whole plant or its individual parts. Thanks to this therapy, a person has the opportunity to take care of their facial skin using raw materials of plant origin with a high content of therapeutic biologically active substances. The composition of most cosmetics includes herbal components that have different properties. Each medicinal plant is individual, it synthesizes a variety of substances that are useful for humans. When choosing a topic, we were interested in medicinal plant raw materials that are used in the preparation of masks and infusions used in phytotherapy, namely their chemical composition, which showed the prospects of using plants in cosmetology of the future.

Keywords: phytotherapy, skin, care, medicinal plant raw materials (LRS), chemical composition

С годами неизменно актуальность сохранения молодости и замедления процессов старения. Первоначально мы видим изменения кожи лица, появляются морщины. Это не только объективный процесс старения, его ускоряет чрезмерно развитая мимика. Данные изменения мы можем видеть уже в молодом возрасте. Поэтому поиск терапевтического средства для замедления старения, способного сохранить юношескую гладкость кожи лица, остается перспективным и сегодня. Зная, что наша кожа является сложным и многофункциональным органом человека, который защищает нас от вредного воздействия окружающей среды, немаловажно помнить, что кожей

покрыто все тело человека [1]. Конкретный косметический уход для кожи лица зависит от типа кожи (нормальная, жирная, сухая). Нормальная кожа лица, встречающаяся обычно у молодых людей, выглядит гладкой, свежей, бархатистой и эластичной.

Лицо с жирной кожей лоснится, имеет открытые поры. В результате протоки сальных желез легко закупориваются, что приводит к воспалению и образованию угрей. Акне часто возникает в юношеском возрасте в период полового созревания. Однако появление на коже воспалительных элементов совсем не зависит от возраста или пола. Угревая болезнь, начавшись в пубертатном периоде, может проявиться и в зрелом воз-

расте. Разница лишь в том, что зрелая кожа, склонная к воспалению, имеет совершенно другие потребности, чем молодая [2]. Причин, по которым развивается угревая болезнь, достаточно много. В основном этому способствуют нарушение выработки кожного сала, чрезмерная бактериальная колонизация микрофлоры кожи и предрасположенность к фолликулярному гиперкератозу.

Рассматривая рекомендации по уходу за кожей лица и тела, а также основной косметический состав средств ухода и гигиенические требования, можно выделить необходимость очистки, улучшения кровообращения кожи и подкожной жировой клетчатки, правильного сбалансированного питания. Корректирующий уход с терапевтическим действием, точно направленным на причины возникновения проблемы, поможет улучшить состояние кожи.

Цель исследования – изучить лекарственное растительное сырье (ЛРС) различного терапевтического действия, используемое в фармации и косметологии.

Материалы и методы исследования

Объектами настоящего исследования является ЛРС, в частности *Calendulae officinalis flores*, *Salviae officinalis folia*, *Ledi palustris cormus*, *Chamomillae recutita flores*, *Menthae piperitae folia*, *Violae herba*, *Bidentis tripartitae herba*, *Urticae dioicae folia*, *Arctii radices*, *Equiseti arvensis herba*, *Pollygoni avicularis herba*, *Menyanthidis trifoliatae folia*. Для проведения исследований использовались поисково-информационные и библиотечные базы данных.

Результаты исследования и их обсуждение

При неправильном уходе наблюдается появление преждевременных морщин и пигментных пятен, угревой сыпи. Ведущее правило – это очистка кожи лица с помощью растительных настоев или лосьонов. Терапевтический уход любого типа и состояния кожи представляет собой чередование масок, пилингов, сывороток с травяными экстрактами из ЛРС. Осуществляют процедуры через день или ежедневно. Курс лечения составляет 2–3 недели; поддерживающие процедуры 1 раз в месяц.

Для терапии жирной кожи, преимущественно при склонности к воспалению и угревой сыпи, положительный характер имеют настои из ЛРС и сборов (для примочек, сывороток, ледяных кубиков, масок, тоников). Нами предлагается для данной терапии использование сбора № 1 (табл. 5).

Ноготков лекарственных цветки – *Calendulae officinalis flores* [3]. Как установлено экспериментально, препараты ноготков оказывают бактерицидное, противовоспалительное, успокаивающее действие [4, 5].

Шалфея лекарственного листья – *Salviae officinalis folia* [3]. Шалфей оказывает мощное противогрибковое, противовоспалительное и успокаивающее действие, обладает антиоксидантными свойствами, используется при борьбе с акне, сужает поры [6].

Фитотерапевтическое действие цветков ромашки аптечной (*Chamomillae recutita flores*) и листьев мяты перечной (*Menthae piperitae folia*) представлено на рисунках 1 и 2 [7, 8].



Рис. 1. Фитотерапевтическое действие ромашки аптечной



Рис. 2. Фитотерапевтическое действие ромашки аптечной и мяты перечной

Таблица 1

Химический состав ЛРС, используемых в терапии жирной кожи

ЛРС	<i>Calendulae officinalis flores</i>	<i>Salviae officinalis folia</i>	<i>Chamomillae recutita flores</i>	<i>Menthae piperitae folia</i>
Химический состав	каротиноиды до 3% ликопин флавоксантин флавоноиды эфирные масла аскорбиновая кислота органические кислоты	эфирные масла 1–2,5% дубильные вещества дитерпеноиды фенольные кислоты тритерпеноидные кислоты	эфирное масло 0,2–0,8% флавоноиды кумарины камеди сесквитерпеновые лактоны горечи витамин С слизи каротин полиацетилены макро- и микроэлементы	эфирное масло 6% кетон флавоноиды таниды органические кислоты ментол каротиноиды

Багульника болотного побеги – *Ledi palustris cormus* [3, 9]. Багульник способен укреплять и тонизировать кожу. Наличие в составе витамина Е, селена и флавоноидов способствует восстановлению и омоложению эпителия за счет укрепления стенок капилляров, нормализации тока лимфы и улучшения питания клеток кожи. Антибактериальный эффект травы оказывает помощь с дерматологическими патологиями.

Используемое в терапии ЛРС по технологии измельчают, смешивают и готовят настои, которые используют для примочек.

Фитотерапевтическое действие лекарственных растений будет зависеть от биологически активных веществ и химиче-

ского состава, входящих в сырьевую базу (табл. 1).

При лечении угревой сыпи на жирной коже одновременно с примочками советуют употреблять настои сборов внутрь в течение 2–3 месяцев (табл. 2, 3) [2].

Сбор № 2 усиливает противовоспалительное действие (табл. 5).

Фиалки трава – *Violae herba* [10]. Фиалка является отличным средством для смягчения, увлажнения и питания кожи. Благодаря образованию гиалуроновой кислоты, улучшает водные процессы в коже, повышая тем самым ее увлажненность и эластичность. Также фиалка обладает противоаллергическим, противовоспалительным и заживляющим действием [11].

Таблица 2

Химический состав ЛРС, используемого в терапии акне

ЛРС	<i>Violae herba</i>	<i>Bidentis tripartitae herba</i>
Химический состав	флавоноиды 0,5 % С-гликозиды антоцианы каротиноиды метилловый эфир кислоты салициловой слизь сапонины	каротиноиды до 50 мг % кислота аскорбиновая флавоноиды кумарины полисахариды дубильные вещества

Таблица 3

Химический состав ЛРС, используемого в терапии акне

ЛРС	<i>Urticae dioicae folia</i>	<i>Arctii radices</i>	<i>Chamomillae recutita flores</i>
Химический состав	витамин К ₁ 200 мг % хлорофиллы А и В каротиноиды кислота аскорбиновая дубильные вещества флавоноиды	инулин 45 % слизи полиины сесквитерпеноиды лигнаны эфирное масло фенольные кислоты соли калия, кальция и магния	эфирное масло 0,2–0,8 % флавоноиды кумарины камеди лактоны сесквитерпеновые витамин С каротин горечи слизи полиацетилены макро- и микроэлементы

Череды трехраздельной трава – *Bidentis tripartitae herba* [10]. Она обладает выраженными антибактериальными, противовоспалительными и противоаллергическими свойствами [12].

Сбор № 3 оказывает бактерицидное действие, подсушивает кожу и сужает поры (табл. 5).

Крапивы двудомной листья – *Urticae dioicae folia* [3]. Растение оказывает омолаживающее, тонизирующее, противовоспалительное, ранозаживляющее действие. Элементы, содержащиеся в этом растении, обладают бактерицидными свойствами, что немаловажно для ухода за проблемной кожей лица. Вещество антисептического характера, которое содержится в крапиве, витамин К, снимает не только воспаление, но и хорошо устраняет веснушки и эффективно борется с отечностью кожи [13].

Лопуха корни – *Arctii radices* [3]. Корень лопуха оказывает выраженное противовоспалительное и антиоксидантное действие. Полисахарид инулин разглаживает морщины, снимает воспаление, делает огрубевшие места более мягкими, устраняет прыщи, помогает клеткам вырабатывать коллаген, обладает регенерирующими свойствами, питает и увлажняет, улучшает кислородный обмен. Эфирное масло подсушивает, сужает

поры, устраняет сальный блеск. Дубильные и горькие вещества разглаживают морщины на лице и борются с воспалением [14].

Ледяные кубики в фитотерапии готовят из тех же сборов, которые применяют для травяных примочек. Хранят кубики в морозильной камере практически неограниченное время. Показано применение для лица после ванны, душа, косметической чистки, а также для закрытия пор при контрастном умывании. Входящие в состав данного сбора ЛРС применять наружно.

Сбор № 4 усиливает кровообращение кожи, отличается выраженным противовоспалительным, рассасывающим и противомикробным действием (табл. 4, 5).

Хвоща полевого трава – *Equiseti arvensis herba* [3]. В его состав входят многие полезные вещества, которые чудесным образом преобразуют кожу: кремниевая кислота борется с угревой сыпью, улучшает образование коллагена; флавоноиды защищают от вредного влияния окружающей среды. Хвощ оказывает антисептическое, ранозаживляющее, бактерицидное действие [15].

Горца птичьего (спорыша) трава – *Polygoni avicularis herba* [3]. Трава обладает кровоостанавливающим, противовоспалительным, вяжущим, антимикробным действием. [16].

Таблица 4

Химический состав ЛРС, используемого для усиления кровообращения

ЛРС	<i>Equiseti arvensis herba</i>	<i>Polygoni avicularis herba</i>	<i>Menyanthidis trifoliatae folia</i>
Химический состав	флавоноиды фенольные кислоты тритерпеновые сапонины дубильные вещества производные кислоты кремниевой	флавоноиды 0,2–1 % дубильные веществ кислота аскорбиновая фенольные кислоты произ- водные кислоты кремниевой	иридоиды (горькие гликозиды) монотерпеноидные горечи флавоноиды йод алкалоиды

Таблица 5

Сборы

Сбор № 1	Сбор № 2	Сбор № 3	Сбор № 4
Календула лекарственная (цветки) ФС.2.5.0030.15 Шалфей лекарственный (листья) ФС.2.5.0051.15 Багульник болотный (побеги) ФС.2.5.0059.18 Ромашка аптечная (цветки) ФС.2.5.0037.15 Мята перечная (листья) ФС.2.5.0029.15	Лапчатка гусиная Фиалка трехцветная (трава) ФС.2.5.0044.15 Черда трехраздельная (трава) ФС.2.5.0048.15 Календула лекарственная (цветки) ФС.2.5.0030.15 Будра плюшевидная Вероника лекарственная	Ромашка аптечная (цветки) ФС.2.5.0037.15 Крапива двудомная (листья) ФС.2.5.0019.15 Лопух большой (корень) ФС.2.5.0025.15	Хвощ полевой (трава) ФС.2.5.0045.15 Спорыш (трава) ФС.2.5.0069.18 Вахта трехлистная (листья) ФС.2.5.0065.18 Эвкалипт прутовидный (листья) ФС.2.5.0107.18

Вахты трехлистной листья – *Menyanthidis trifoliatae folia* [3]. Листья обладают выраженным антисептическим, противовоспалительным, обезболивающим, ранозаживляющим действием [17].

Заключение

Проведя анализ биохимического состава ЛРС, входящих в него биологически активных веществ в ходе структурированного исследования фитотерапевтического действия на состояние кожи были рекомендованы сборы ЛРС для косметического лечения. С помощью общепублиграфических баз данных рецензируемой научной литературы, наш анализ помог прийти к выводу, что благодаря комплексному терапевтическому действию лекарственных растений возможно получить в ходе курсовых процедур как лечебный, так и профилактический эффект. Состояние кожи независимо от ее типа можно купировать и на ранних стадиях развития заболевания и быть в качестве основного действующего вещества в терапии, а также в состоянии ремиссии позволяет поддерживать здоровье кожи. Таким образом, данное исследование состава и фитотерапевтического действия ЛРС показало перспективы использования биологически активных веществ растений в косметологии.

Список литературы

1. Сулейманова М.И., Данько Е.С. Кожа. Строение и ее функции // В мире научных открытий: материалы III Международной студенческой научной конференции (Ульяновск, 22–23 мая 2019 г.). Т. V. Ч. 2. Ульяновск: Ульяновский государственный аграрный университет им. П.А. Столыпина, 2019. С. 157–159.
2. Даутова И.И., Фролова И.И. Исследование аптечного ассортимента лекарственных препаратов, применяемых для лечения угревой болезни // Инновационная экономика: перспективы развития и совершенствования. 2016. № 7. С. 77–83.
3. Яковлева Г.П. Фармакогнозия. Лекарственное сырье растительного и животного происхождения: учебное пособие / Под. ред. Г.П. Яковлевой. 3-е изд., испр. и доп. СПб.: СпецЛит, 2013. 847 с.
4. Козонова З.Г. Анализ лекарственных растений, используемых в косметологии // Молодые ученые в решении актуальных проблем науки: материалы XI Международной научно-практической конференции (Владикавказ, 20–26 декабря 2021 г.). Владикавказ: Веста, 2021. С. 88–90.
5. Афанасьева П.В., Куркина А.В. Перспективы комплексного использования сырья календулы лекарственной (*Calendula officinalis* L.) // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2014. Т. 16, № 5–2. С. 980–982.
6. Джолимбетов О.Н., Аманбаева Н.М., Салиева Н.А. Лечебные свойства шалфея лекарственного (*Salvia officinalis* L.C.) // Форум молодых ученых. 2021. № 6 (58). С. 296–298.
7. Балдынова Ф.П., Бызгаева А.В. Исследование и разработка косметической маски на основе ферментированных цветков ромашки аптечной // Химия и химическая технология переработки растительного сырья: материалы докладов Международной научно-технической конференции, посвященной 100-летию со дня рождения В.М. Резникова (Минск,

10–12 октября 2018 г.). Минск: Белорусский государственный технологический университет, 2018. С. 222–225.

8. Пояркова Н.М., Чулкова В.В., Сапаркльчева С.Е. Мята перечная (*Mentha piperita* L.) – важнейшее эфиромасличное растение // Вестник биотехнологии. 2020. № 1 (22). С. 12.

9. Государственная Фармакопея XIV издание, Т. 4. [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.rucml.ru/feml/pharma/v14/vol4/1111/#zoom=z> (дата обращения: 25.01.2023).

10. Жохова Е.В. Фармакогнозия: учебник для студентов фармацевтических колледжей и техникумов. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2018. 554 с.

11. Gontova T.M., Mashtaler V.V. Identification of flavanoids in thick extracts of violet's herb and hybrid violet's herb by HPLC method // Фармация Казахстана. 2016. № 1 (176). P. 45–49.

12. Родин М.Н., Боков Д.О., Самылина И.А. Состав биологически активных соединений травы череды // Фармация. 2022. Т. 71, № 2. С. 22–26.

13. Smoylovska G.P. Identification of phytosterins in *Urtica dioica* L. (overground part) // Zaporozhye Medical Journal. 2017. Vol. 19, Is. 1 (100). P. 90–93.

14. Дьякова Н.А. Изучение минерального комплекса корней лопуха обыкновенного // Вестник Смоленской государственной медицинской академии. 2022. Т. 21, № 1. С. 175–180.

15. Кароматов И.Д., Садирова Д.Р. Перспективное лечебное растение хвощ полевой // Биология и интегративная медицина. 2017. № 9. С. 44–57.

16. Хадарцева А.В. Анализ лекарственных растений, содержащих флавоноиды (горец перечный, горец почечуйный, горец птичий) // Молодые ученые в решении актуальных проблем науки: материалы XI Международной научно-практической конференции (Владикавказ, 20–26 декабря 2021 г.). Владикавказ: Веста, 2021. С. 133–136.

17. Турусова Е.В., Александрова Л.Н., Лыщиков А.Н., Насакин О.Е. Химический состав листьев вахты трехлистной // Химико-фармацевтический журнал. 2021. Т. 55, № 3. С. 34–37.