



## Ежемесячный научный журнал Том 2 №86 / 2023

### ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

**Макаровский Денис Анатольевич**

AuthorID: 559173

Заведующий кафедрой организационного управления Института прикладного анализа поведения и психолого-социальных технологий, практикующий психолог, специалист в сфере управления образованием.

### ЗАМЕСТИТЕЛЬ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА:

**Чукмаев Александр Иванович**

<https://orcid.org/0000-0002-4271-0305>

Доктор юридических наук, профессор кафедры уголовного права. Астана, Казахстан

### РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

#### **Штерензон Вера Анатольевна**

AuthorID: 660374

Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, Институт новых материалов и технологий (Екатеринбург), кандидат технических наук

#### **Синьковский Антон Владимирович**

AuthorID: 806157

Московский государственный технологический университет "Станкин", кафедра информационной безопасности (Москва), кандидат технических наук

#### **Штерензон Владимир Александрович**

AuthorID: 762704

Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, Институт фундаментального образования, Кафедра теоретической механики (Екатеринбург), кандидат технических наук

#### **Зыков Сергей Арленович**

AuthorID: 9574

Институт физики металлов им. М.Н. Михеева УрО РАН, Отдел теоретической и математической физики, Лаборатория теории нелинейных явлений (Екатеринбург), кандидат физ-мат. наук

#### **Дронсейко Виталий Витальевич**

AuthorID: 1051220

Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), Кафедра "Организация и

безопасность движения" (Москва), кандидат технических наук

#### **Садовская Валентина Степановна**

AuthorID: 427133

Доктор педагогических наук, профессор, Заслуженный работник культуры РФ, академик Международной академии Высшей школы, почетный профессор Европейского Института PR (Париж), член Европейского издательского и экспертного совета IEERP.

#### **Ремизов Вячеслав Александрович**

AuthorID: 560445

Доктор культурологии, кандидат философских наук, профессор, заслуженный работник высшей школы РФ, академик Международной Академии информатизации, член Союза писателей РФ, лауреат государственной литературной премии им. Мамина-Сибиряка.

#### **Измайлова Марина Алексеевна**

AuthorID: 330964

Доктор экономических наук, профессор Департамента корпоративных финансов и корпоративного управления Финансового университета при Правительстве Российской Федерации.

#### **Гайдар Карина Марленовна**

AuthorID: 293512

Доктор психологических наук, доцент. Член Российского психологического общества.

**Слободчиков Илья Михайлович**

AuthorID: 573434

Профессор, доктор психологических наук, кандидат педагогических наук. Член-корреспондент Российской академии естественных наук.

**Подольская Татьяна Афанасьевна**

AuthorID: 410791

Профессор факультета психологии Гуманитарно-прогностического института. Доктор психологических наук. Профессор.

**Пряжникова Елена Юрьевна**

AuthorID: 416259

Преподаватель, профессор кафедры теории и практика управления факультета государственного и муниципального управления, профессор кафедры психологии и педагогики дистанционного обучения факультета дистанционного обучения ФБОУ ВО МГППУ

**Набойченко Евгения Сергеевна**

AuthorID: 391572

Доктор психологических наук, кандидат педагогических наук, профессор. Главный внештатный специалист по медицинской психологии Министерства здравоохранения Свердловской области.

**Козлова Наталья Владимировна**

AuthorID: 193376

Профессор на кафедре гражданского права юридического факультета МГУ

**Крушельницкая Ольга Борисовна**

AuthorID: 357563

кандидат психологических наук, доцент, заведующая кафедрой теоретических основ социальной психологии. Московский государственный областной университет.

**Артамонова Алла Анатольевна**

AuthorID: 681244

кандидат психологических наук, Российский государственный социальный университет, филиал Российского государственного социального университета в г. Тольятти.

**Таранова Ольга Владимировна**

AuthorID: 1065577

Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, Уральский гуманитарный институт, Департамент гуманитарного образования студентов инженерно-технических направлений, Кафедра управление персоналом и психологии (Екатеринбург)

**Ряшина Вера Викторовна**

AuthorID: 425693

Институт изучения детства, семьи и воспитания РАО, лаборатория профессионального развития педагогов (Москва)

**Гусова Альбина Дударбековна**

AuthorID: 596021

Заведующая кафедрой психологии. Доцент кафедры психологии, кандидат психологических наук Северо-Осетинский государственный университет им. К.Л. Хетагурова, психолого-педагогический факультет (Владикавказ).

**Минаев Валерий Владимирович**

AuthorID: 493205

Российский государственный гуманитарный университет, кафедра мировой политики и международных отношений (общеевропейская) (Москва), доктор экономических наук

**Попков Сергей Юрьевич**

AuthorID: 750081

Всероссийский научно-исследовательский институт труда, Научно-исследовательский институт труда и социального страхования (Москва), доктор экономических наук

**Тимофеев Станислав Владимирович**

AuthorID: 450767

Российский государственный гуманитарный университет, юридический факультет, кафедра финансового права (Москва), доктор юридических наук

**Васильев Кирилл Андреевич**

AuthorID: 1095059

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Инженерно-строительный институт (Санкт-Петербург), кандидат экономических наук

**Солянкина Любовь Николаевна**

AuthorID: 652471

Российский государственный гуманитарный университет (Москва), кандидат экономических наук

**Карпенко Юрий Дмитриевич**

AuthorID: 338912

Центр стратегического планирования и управления медико-биологическими рисками здоровью ФМБА, Лаборатория экологической оценки отходов (Москва), доктор биологических наук.

**Малаховский Владимир Владимирович**

AuthorID: 666188

Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова, Факультеты, Факультет послевузовского профессионального образования врачей, кафедра нелекарственных методов терапии и клинической физиологии (Москва), доктор медицинских наук.

**Ильясов Олег Рашитович**

AuthorID: 331592

Уральский государственный университет путей сообщения, кафедра техносферной безопасности (Екатеринбург), доктор биологических наук

**Косс Виктор Викторович**

AuthorID: 563195

Российский государственный университет физической культуры, спорта, молодёжи и туризма, НИИ спортивной медицины (Москва), кандидат медицинских наук.

**Калинина Марина Анатольевна**

AuthorID: 666558

Научный центр психического здоровья, Отдел по изучению психической патологии раннего детского возраста (Москва), кандидат медицинских наук.

**Сырочкина Мария Александровна**

AuthorID: 772151

Пфайзер, вакцины медицинский отдел (Екатеринбург), кандидат медицинских наук

**Шукшина Людмила Викторовна**

AuthorID: 484309

Российский экономический университет им. Г.В. Плеханова, Головной вуз: РЭУ им. Г.В. Плеханова, Центр гуманитарной подготовки, Кафедра психологии (Москва), доктор философских наук

**Оленев Святослав Михайлович**

AuthorID: 400037

Московская государственная академия хореографии, кафедра гуманитарных, социально-экономических дисциплин и

менеджмента исполнительских искусств (Москва), доктор философских наук.

**Терентий Ливиу Михайлович**

AuthorID: 449829

Московская международная академия, ректорат (Москва), доктор филологических наук

**Шкаренков Павел Петрович**

AuthorID: 482473

Российский государственный гуманитарный университет (Москва), доктор исторических наук

**Шалагина Елена Владимировна**

AuthorID: 476878

Уральский государственный педагогический университет, кафедра теоретической и прикладной социологии (Екатеринбург), кандидат социологических наук

**Франц Светлана Викторовна**

AuthorID: 462855

Московская государственная академия хореографии, научно-методический отдел (Москва), кандидат философских наук

**Франц Валерия Андреевна**

AuthorID: 767545

Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, Институт государственного управления и предпринимательства (Екатеринбург), кандидат философских наук

**Глазунов Николай Геннадьевич**

AuthorID: 297931

Самарский государственный социально-педагогический университет, кафедра философии, истории и теории мировой культуры (Москва), кандидат философских наук

**Романова Илона Евгеньевна**

AuthorID: 422218

Гуманитарный университет, факультет социальной психологии (Екатеринбург), кандидат философских наук

**Ответственный редактор**  
Чукмаев Александр Иванович  
Доктор юридических наук, профессор кафедры уголовного права.  
(Астана, Казахстан)

Статьи, поступающие в редакцию, рецензируются. За достоверность сведений, изложенных в статьях, ответственность несут авторы. Мнение редакции может не совпадать с мнением авторов материалов. При перепечатке ссылка на журнал обязательна. Материалы публикуются в авторской редакции.

Адрес редакции:

198320, Санкт-Петербург, Город Красное Село, ул. Геологическая,  
д. 44, к. 1, литера А

**Адрес электронной почты:** [info@national-science.ru](mailto:info@national-science.ru)

**Адрес веб-сайта:** <http://national-science.ru/>

Учредитель и издатель ООО «Логика+»

Тираж 1000 экз.

Отпечатано в типографии 620144, г. Екатеринбург,  
улица Народной Воли, 2, оф. 44

**Художник:** Венерская Виктория Александровна

**Верстка:** Коржев Арсений Петрович

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи,  
информационных технологий и массовых коммуникаций.

# СОДЕРЖАНИЕ

## АРХИТЕКТУРА

*Коломыченко А.А., Войцеховская Е.Г.*  
АКТУАЛЬНОСТЬ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СПОРТИВНОЙ  
ШКОЛЫ-ИНТЕРНАТА В СТРУКТУРЕ  
АЛЬПИНИСТСКОГО КОМПЛЕКСА В КАБАРДИНО-  
БАЛКАРСКОЙ РЕСПУБЛИКЕ ..... 6

## МЕДИЦИНСКИЕ НАУКИ

*Можгинский Ю.Б.*  
ДЕТСКИЙ ПСИХОАНАЛИЗ: МЕЖДУ ЛЕКАРСТВАМИ  
И ПСИХОТЕРАПИЕЙ ..... 10

*Ненашева Е.А., Морозов Е.С.*  
АНАЛИЗ ПРОЧНОСТИ ОБРАЗЦОВ  
МНОГОСЛОЙНОГО ДИОКСИДА ЦИРКОНИЯ ДЛЯ  
ЗУБОПРОТЕЗИРОВАНИЯ С ПОМОЩЬЮ  
АКУСТИЧЕСКОЙ МИКРОСКОПИИ..... 14

*Койбагарова А.А., Курбанова Д.Ч.,  
Салякаева А.Д., Ибраимова А.Дж.,  
Замирбекова К.З.*  
ИСПЛЬЗОВАНИЕ ПРОДУКЦИИ “ДЮКРЭ” В ЛЕЧЕНИИ  
ПСОРИАЗА И СЕБОРЕЙНОГО ДЕРМАТИТА ..... 18

## НАУКИ О ЗЕМЛЕ

*Ильченко В.Л.*  
ПРИРОДА ТЕКТОНИЧЕСКОГО РАССЛОЕНИЯ  
ВНЕШНЕЙ ОБОЛОЧКИ ЗЕМЛИ ..... 22

*Петров К.М.*  
ДВА ПОДХОДА К ИЗУЧЕНИЮ ОКЕАНОСФЕРЫ ..... 26

*Хорошевская В.О.*  
СОДЕРЖАНИЕ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА,  
МЕТАНА И МЕТАЛЛОВ (ВАНАДИЯ, НИКЕЛЯ,  
МОЛИБДЕНА) В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ ПО  
ПРОФИЛЯМ УСТЬЕВЫХ УЧАСТКОВ РЕК ДОН И  
МИУС ..... 30

## ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

*Зубова Н.В.*  
ЭФФЕКТИВНОСТЬ И ЭКОНОМИЧНОСТЬ  
ПРИМЕНЕНИЯ ГОРЕЛОК ИНФРАКРАСНОГО  
ИЗЛУЧЕНИЯ ДЛЯ ОБОГРЕВА ПОМЫШЛЕННЫХ  
ЗДАНИЙ В УСЛОВИЯХ СИБИРИ ..... 36

*Соболева И.В., Ляшенко С.Е.*  
ПОЛУЧЕНИЕ ЧИСТОГО А - ПОЛУГИДРАТА  
СУЛЬФАТА КАЛЬЦИЯ ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В  
СТРОИТЕЛЬСТВЕ В ПОЛУГИДРАТНОЙ СТАДИИ  
ПОЛУЧЕНИЯ ЭКСТРАКЦИОННОЙ ФОСФОРНОЙ  
КИСЛОТЫ ДИГИДРАТНО-ПОЛУГИДРАТНЫМ  
МЕТОДОМ ИЗ БЕДНЫХ ФОСФОРИТОВ..... 38

## ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

*Валишин А.А.,  
Джемесюк И.А., Карташов Э.М.*  
КИНЕТИКА ТРЕЩИН В ПОЛИМЕРАХ И  
КОМПОЗИТАХ НА ИХ ОСНОВЕ ПРИ МЕХАНИЧЕСКИХ  
И ТЕПЛОВЫХ НАГРУЗКАХ ..... 44

# АРХИТЕКТУРА

УДК 727.4

## АКТУАЛЬНОСТЬ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СПОРТИВНОЙ ШКОЛЫ-ИНТЕРНАТА В СТРУКТУРЕ АЛЬПИНИСТСКОГО КОМПЛЕКСА В КАБАРДИНО-БАЛКАРСКОЙ РЕСПУБЛИКЕ

*Коломыченко А.А.*

*магистрант кафедры архитектурного проектирования  
Санкт-Петербургского архитектурно-строительного университета;*

*Войцеховская Е.Г.*

*заместитель декана по учебной работе,  
доцент кафедры архитектурного проектирования  
Санкт-Петербургского архитектурно-строительного университета,  
г. Санкт-Петербург*

## THE RELEVANCE OF DESIGNING A SPORTS BOARDING SCHOOL IN THE STRUCTURE OF A MOUNTAINEERING COMPLEX IN THE KABARDINO-BALKAR REPUBLIC

*A.A. Kolomychenko,*

*Master's student of the Saint Petersburg State University  
of Architecture and Civil Engineering;*

*E.G. Voycehovskaya*

*Deputy Dean for Academic Affairs,  
Associate Professor of the Saint Petersburg State University  
of Architecture and Civil Engineering;  
Saint Petersburg,*

*DOI: 10.31618/nas.2413-5291.2023.2.86.687*

### АННОТАЦИЯ

Данная статья посвящена актуальности проектирования образовательных учреждений интернатного типа со спортивным уклоном. Подчеркивается значимость спортивных занятий в школах. Раскрывается актуальность спорта не только для укрепления психологического и физического здоровья, но и для развития коммуникативных и лидерских качеств, мотивированного стремления детей к общечеловеческим ценностям, отказа от асоциального поведения. Сформированная в спортивной школе-интернате комфортная образовательная среда способствует становлению личности.

### ABSTRACT

This article is devoted to the relevance of designing residential type educational institutions with a sports bias. The importance of sports activities in schools is emphasized. The relevance of sports is revealed not only for strengthening psychological and physical health, but also for the development of communicative and leadership qualities, motivated aspiration of children to universal values, rejection of antisocial behavior. The comfortable educational environment formed in the sports boarding school contributes to the formation of personality. Роль образования в современном мире стремительно растёт. Общеобразовательное учреждение выполняет социальную функцию центра учебно-воспитательной работы в жилой среде, что обуславливает его открытый характер для активного приобщения населения, общественности и семьи к воспитанию детей и совместной развивающей деятельности по интересам.

**Keywords:** educational institution, boarding school, sports, education, architecture.

**Ключевые слова:** общеобразовательное учреждение, школа-интернат, спорт, образование, архитектура.

Обучение и воспитание направлено на развитие личности ученика, выявление его склонностей и потенциальных возможностей в той или иной сфере человеческой деятельности. [1]

В наше время развитых информационных технологий школьники чаще всего ведут сидячий образ, проводя все свободное время за компьютером или в телефоне, поэтому существует необходимость в занятии спортом.

Стоит отметить, что спорт, как и образование, имеет важную роль в формировании и становлении ребенка. Физические упражнения способствуют не

только укреплению здоровья организма, его нервной системы, нормализации веса тела, но и воспитанию характера – целеустремленности, выносливости и дисциплины.

Объект исследования: спортивная школа-интернат в структуре альпинистского комплекса в Кабардино-Балкарской Республике.

Целью исследования является определение значимости и актуальности проектирования спортивной школы-интерната в структуре альпинистского комплекса, с учетом современных

тенденций и принципов формирования объектов обучения и спорта.

Задачи исследования:

выявить предпосылки формирования данного типа школ-интернатов

зучить значимость спорта в образовательном процессе

роанализировать необходимость проектирования спортивной школы-интерната на территории Кабардино-Балкарской Республики.

зучить нормы, стандарты и принципы формирования и взаимодействия архитектурно-планировочной, инженерной и конструктивной структуры зданий данной типологии

формулировать выводы по выбранной теме для дальнейшего формирования проектного предложения.

современном обществе представление о школах-интернатах формируется на основании устаревших определений и ассоциируется чаще всего с домами ребёнка или приютами. Однако подобные учреждения должны объединять ряд функций (образование, воспитание, проживание, социальная ориентация, физическое развитие, адаптация), которые направлены на всестороннее развитие детей-сирот, детей оставшихся без попечения родителей, детей с ограниченными возможностями здоровья, а также детей с выдающимися способностями. Рассматриваемое в данной статье образовательное учреждение основывается на последнем (дети с выдающимися способностями).

Направленность школы-интерната заключается в создании образовательного пространства, в котором есть специально отведенные помещения для проживания учеников круглосуточно. Благодаря образовательным учреждениям данного типа формируется комфортная среда для воспитания личности ребенка, развития его коммуникативных и творческих качеств.

существуют различные типы школ, в частности с углубленным изучением отдельных предметов, одной из которых является спортивная школа-интернат.

Спортивная школа-интернат – вид учебного заведения, представляющий собой синтез простой средней и спортивной школ, где воспитанники проходят общеобразовательные предметы, тренируются и при этом живут на полном пансионе. [3]

Спортивная школа является учреждением дополнительного образования детей и относится к такому типу учреждения, основное предназначение которого - развитие положительной мотивации личности учащихся к процессу познания и творчества, реализация дополнительных образовательных программ и услуг в интересах учащихся, общества, государства. Поэтому отсюда логически вытекают задачи учреждения дополнительного образования: обеспечение необходимыми условиями для укрепления здоровья, развитие творческой личности,

социальная адаптация; формирование культуры; организация полноценного содержательного досуга. [4]

Для спортсменов составляются особые учебные программы. У каждого ученика может быть свое расписание, подобранное в соответствии с его физической подготовкой и загруженностью другими предметами. Перед соревнованиями тренировки проходят почти весь день, поэтому уроки переносятся на вторую половину дня. Большую часть года дети проводят в интернате, а домой уезжают на каникулы.

На сегодняшний день в образовательной структуре увеличилось количество специализированных учебных учреждений. Федеральным законом от 2 июня 2016 г. № 153-ФЗ "О внесении изменений в Федеральный закон "О физической культуре и спорте в Российской Федерации" введено понятие "детско-юношеский спорт", ограниченное исключительно деятельностью по спортивной подготовке, в которую по итогам 2020 года вовлечено только 1978 тыс. детей, что составляет менее 9 процентов их общей численности. [5]

Принимая во внимание положения Федерального закона от 30 апреля 2021 г. № 127-ФЗ в систему детско-юношеского спорта с 1 января 2023 года войдут более 75 процентов детей, систематически занимающихся физической культурой и спортом. [6]

В рамках проекта «Скалодромы в школы», реализация которого назначена до 2024 года, стоит задача включить скалолазание в программы дополнительного образования общеобразовательных учреждений. [7]

Актуальность внедрения новой дисциплины заключается в огромной воспитательной ценности детского и юношеского альпинизма, с мотивированным стремлением детей к общечеловеческим ценностям через спорт, отказом от асоциального поведения, укреплением их психологического и физического здоровья, развитием коммуникативных и лидерских качеств.

Если рассматривать альпинизм, как вид спорта, то стоит отметить, что в России сама суть данного рода занятий состоит в преодолении естественных препятствий при восхождении на вершины гор, а также является официально признанным видом спорта и активного отдыха. Как в советский, так и постсоветский период отношение к альпинизму было как к одному из видов спорта, имеющего большое прикладное значение.

Высокий престиж альпинизма, неослабевающий к нему интерес в силу своей многогранности, порождают новые формы работы и направления, к одному из которых относится детский альпинизм. В ряде зарубежных стран представители сферы образования уже давно оценили достоинства скалолазания, как вида альпинизма. Первый школьный чемпионат мира по скалолазанию, прошедший в мае 2019 года во

Франции – лишнее подтверждение того, что движение является массовым. [8]

Вернемся к спорту в общем его значении, а точнее к необходимости проектирования образовательных учреждений на территории Кабардино-Балкарской Республики.

Благодаря реализации нацпроекта «Образование» в 2023г. начнется строительство новых школ на территории Республики. Данный факт дает понять, что в регионе есть проблема с оснащением детей объектами общего образования. Также Республика славится своими национальными и народными видами спорта, с каждым годом в субъекте РФ все активнее культивируется борьба, помимо этого развиваются конные виды спорта.

Помимо прочего данная местность располагает для занятий горно-спортивными видами спорта в любое время года.

Несмотря на то, что на территории Кабардино-Балкарской Республики уже имеются различные школы-интернаты, данный тип объекта объединит в себе две важные функции образовательную и спортивную. Слияние таких функций будет эффективным также благодаря рельефной и живописной окружающей среде. Это является немало важным фактором при обеспечении качественного проектирования объемно-пространственной структуры комплекса.

В России ведется строительство новых образовательных учреждений подобного типа, но не рассматривает вопрос формирования их среды, отвечающей современным требованиям, поэтому они проектируются с использованием типовых проектов, что не соответствует их специфике, которая предполагает не только круглосуточное пребывание учащихся на территории учреждения, но и определяет характер создаваемого образовательного пространства. [2]

Архитектура зданий школ-интернатов — это не только эстетическая миссия в системе воспитания подрастающего поколения. Каждое помещение данного типа образовательной системы должно объединять в себе помещения разного целевого назначения, которые будут просты, надежны и комфортны.

В современных условиях важным фактором оптимальной организации учебно-воспитательного процесса в школе-интернате является обеспечение проектирования его объемно-пространственной структуры. В архитектурном пространстве школ-интернатов все чаще осуществляется разнообразная деятельность: от восприятия окружающей среды до полноценной интеллектуальной работы. [9] Сегодня адаптация архитектурного пространства к быстро развивающимся новым формам, методам и технологиям современной педагогики создаст более благоприятные условия для длительного, устойчивого и гармоничного развития пространства школ-интернатов, расширит теорию архитектуры, интерпретируя ее в архитектурных

концепциях инклюзивного образования и безбарьерной среды

Общие процессы развития процессов проектирования архитектурных особенностей школьных заведений обусловлены необходимостью учитывать новые требования, к развитию человеческой личности, опирающейся на ментальные и эстетические предпочтения.

Универсальное направление подчеркивает функционально планировочную особенность пространства школы, которое обладает «гибкими» возможностями учитывать изменения методов и технологий образования. Отражает социальную направленность на эффективное и устойчивое развитие образования, обеспеченное «универсальностью» архитектурного пространства.

При формировании будущего проектного предложения спортивной школы-интерната следует определить основные компоненты, которые обязательно должны присутствовать в учебном заведении такого типа:

- образование
- физическая подготовка
- саморазвитие, самореализация
- восстановление физических и духовных сил
- интерес, вдохновение

При слиянии компонентов, приведенных выше, в единый комплекс будет сформирована комфортная среда для обучающихся, где каждый ребенок будет чувствовать себя максимально комфортно.

Проектируя данный объект в структуре альпинистского комплекса следует отметить, что формирование нового общеобразовательное учреждение с уклоном на спорт (данный вид образования будет популярен в Республике, так как местное население (дети, подростки) занимаются спортом во внеурочное время).

#### **Выводы**

Образование, как и спорт, является неотъемлемой частью жизни каждого человека. Активное занятие спортом улучшает физическое состояние, благодаря чему укрепляется здоровье, а самое главное способствует развитию социальных навыков, что очень важно в период взросления ребенка. Именно поэтому проектирование спортивной школы-интерната на территории альпинистского комплекса в Кабардино-Балкарской Республике не только актуально, но и важно.

#### **Библиографический список**

Пособие к МГСН 4.06-96. Общеобразовательные учреждения. Министерство строительства и жилищно-коммунального хозяйства РФ. 2005. С 6.

Романенко М. В., Швец А. В., Меренков А. В. Концепция школы-интерната в городе Екатеринбурге//Новые идеи нового века. 2018. №2. С 276

Основные типы спортивных школ [Электронный ресурс]. URL:



<https://edunews.ru/school/uchrezhdeniya/sportivnye-shkoly.html?ysclid=ld25rm1zlh412499721> (дата обращения: 10.01.2023)

К. Н. Пружинин. Система непрерывного профессионального образования в области физической культуры и спорта. // Ученые записки ЗабГГПУ/ 2010. №6. С 14-19

Федеральный закон «О внесении изменений в Федеральный закон «О физической культуре и спорте в Российской Федерации». 02.06.2016 г. № 153-ФЗ.

Распоряжение Правительства РФ. Концепция развития детско-юношеского спорта в РФ до 2030г. 28.12.2021 г. №3894-р. С 3

Федерация скалолазания России [Электронный ресурс]. URL: <https://c-f-r.ru/press/news/7457/> (дата обращения 10.01.2023)

Путь к вершинам. [Электронный ресурс]. URL: <https://xn--26-kmc.xn--80aafey1amqq.xn--d1acj3b/program/658-put-k-vershinam?ysclid=ld26otxm50146286274> (дата обращения 10.01.2023)

Шестопапов С. В. Иванникова А. И. Анализ объемно-пространственной структуры школ-интернатов на территории России// «Международный научный журнал «Инновационная наука». 2022г. №5-1. С 145

# МЕДИЦИНСКИЕ НАУКИ

УДК 616.891

## ДЕТСКИЙ ПСИХОАНАЛИЗ: МЕЖДУ ЛЕКАРСТВАМИ И ПСИХОТЕРАПИЕЙ

*Можгинский Ю.Б.*

*АО Сеть клиник «Медси», РФ, Москва*

## CHILD PSYCHOANALYSIS: BETWEEN DRUGS AND PSYCHOTHERAPY

### SUMMARY

Diagnostic and therapeutic methods of modern psychoanalysis make it possible to optimize the work of a psychiatrist. Overcoming the pharmacocentric approach helps to avoid the undesirable effects of drug therapy, such as resistance and polypharmacy. A psychoanalytic view of the origin and dynamics of psychopathological symptoms in children and adolescents is a pathognomonic basis in diagnosis and treatment, making it possible to optimize both pharmacological and psychotherapeutic methods of influence.

### РЕЗЮМЕ

Диагностические и терапевтические методы современного психоанализа позволяют оптимизировать работу психиатра. Преодоление фармакоцентрического подхода помогает избежать нежелательных эффектов медикаментозной терапии, таких как резистентность и полипрагмазия. Психоаналитический взгляд на происхождение и динамику психопатологических симптомов у детей и подростков является патогномоничной основой в диагностике и лечении, позволяющей оптимизировать как фармакологические, так и психотерапевтические методы воздействия.

**Keywords.** Psychoanalysis, psychodynamics, separation, ontogeny, sublimation, libido.

**Ключевые слова.** Психоанализ, психодинамика, разделение, онтогенез, сублимация, либидо.

**Актуальность.** Диагностические и лечебные методики современного психоанализа позволяют оптимизировать работу врача – психиатра. Преодоление фармакоцентричного подхода помогает избежать нежелательных эффектов лекарственной терапии – таких, например, как резистентность и полипрогмазия. Психоаналитический взгляд на происхождение и динамику психопатологических симптомов у детей и подростков составляет патогномоничную основу в диагностике и лечебном вмешательстве, давая возможность оптимизировать как фармакологический, так и психотерапевтический методы воздействия.

**Методы исследования.** Мы провели предварительный анализ выявляемости этих признаков у пациентов амбулаторного звена (189 детей). Речь идет об обнаружении указанных явлений у пациентов в процентном отношении от всех детей, обследованных психиатром в

поликлинике за период 2021 – 2022 гг. (Таблицы 1, 2). Обследованы 110 мальчиков и 79 девочек, средний возраст – 10,5 лет. Все пациенты были на приеме с родителями.

**Результаты.** Существуют признанные многими исследователями, как бы сказать, «несгораемые» понятия психоанализа. Они относятся как к «классическому» психоанализу, так и к его «ответвлениям». Кроме того, в главных чертах они соответствуют и многим воззрениям «материалистической» психиатрии детского возраста [2, 3, 11, 12]. В использованных определениях, касающихся сферы психоанализа, присутствуют как причины расстройств, так и их симптомы. Следует отметить сложность подобных описаний, отсутствии четких границ между переходами одного понятия в другое, в особенности, когда речь идет о детском периоде с постоянно меняющимся темпом психического развития.

Таблица 1.

**Ведущие факторы нарушения психодинамики у обследованных детей**

Определение	Содержание феномена	Кол-во пациентов	% от общего числа пациентов (189)
Ранняя сепарация	Уход родителей из семьи, их алкоголизм, непропорциональное усиление влияния других родственников («синдром бабушки» и др.)	12	6.3
Искажение онтогенеза	Строгие/тревожные родители, ревность, воспитание с угрозами, садизмом	36	18.8
Инцест	-	5	2.7

Таблица 2.

**Основные «психоаналитические» симптомы**

Диада либидо - агрессия	Инстинктивное использование ребенком гетероагрессии в качестве «антидепрессанта»	8	4.4
Фиксация	Ранний стресс, в т.ч. в/у гипоксия, испуг дома и в школе, операции с наркозом и болевым синдромом. Проявления: заикание, страх еды, соматоформные боли, термоневроз	18	9.4
Регресс	Тики, энурез, плаксивость, мигрень, онанизм, анорексия	26	13.9
Сублимация вины	Депрессия, анорексия	30	15.8
Эдипов комплекс	Ревность к отцу, агрессия к матери («синдром Гамлета»)	3	1.6
Самоповреждения на фоне искаженного онтогенеза	Самопорезы, суицидальные тенденции	10	5.3
Общее число пациентов с «психоаналитическими» симптомами		145	72

Психические нарушения, связанные с процессами ранней психодинамики, выявлялись у 72% обследованных детей. Как видно из таблицы 1, отмечалось явное преобладание симптомов, этиологически связанных с искажением онтогенеза (воспитание с элементами садизма, угрозами или, напротив, излишней тревожностью, ревностью). Влияние ранней сепарации прослеживалось в меньшем числе случаев (6,3%). Инцест играл малозаметную роль (2,7%).

Значительное место среди клинических феноменов психоаналитического свойства (Таблица 2) занимают симптомы, которые можно отнести к сублимации чувства вины (депрессия, анорексия). Далее следуют признаки регресса, традиционно включающие «системную» невротическую патологию в форме тиков, энуреза, онанизма, трихотилломании. За ними идут, по частоте выявления, признаки невротической фиксации, связанные с переживаниями раннего стресса: это лого – и термоневрозы, соматоформные боли, различные фобии. Суицидальные тенденции, обусловленные «психоаналитической» тематикой имели место в 5,3% случаев, переживания Эдипова комплекса - у 3% детей. Следует отметить такой феномен, как агрессивность (4,4%). По нашим данным, агрессивное поведение детей является «стихийным» способом преодоления чувства вины в рамках ранней психодинамики.

Детский психоанализ как часть методологии диагностического процесса применим в различных кластерах патологии. Еще раз хотелось бы подчеркнуть: все названные выше симптомы рассмотрены нами здесь в качестве части общих проблем психоанализа. Разумеется, данные

симптомы возникали также и вне явной связи с ранней психодинамикой, без какой бы то ни было отсылки к постулатам классического психоанализа: в этих случаях они в данной работе не рассматривались. Дальнейшее описание феноменологии расстройств и возможные методы психоаналитической интервенции доказывают, с одной стороны, универсальность этих проблем в разные времена, а с другой – показывают определенную специфику современного этапа развития «науки о подсознательном».

При соматических неврозах преобладает абдоминальные симптомы, которые следует рассматривать как доказательство теснейшей связи сомы и психики у детей. Тесная ассоциация психического и соматического - известный постулат психоанализа. В дошкольном и начальном школьном возрасте стрессы, напряженная обстановка в семье зачастую вызывают боли в животе, тошноту и головокружение. Безуспешное обследование, например, по поводу «острого живота» и лечение у гастроэнтеролога приводит, так или иначе, к необходимости в консультации психиатра.

При системно-невротических нарушениях (энурез, энкопрез, тики, мастурбация/онанизм) психодинамические расстройства связаны с нарушением становления инстинктивной сферы, что обозначается как «блокада» либидинозной энергии. (Термин «либидо», несмотря на его архаичность, сохраняет свою значимость и практическую ценность.) В данных симптомах мы наблюдаем определенного рода сигнал родителям, не уделяющим ребенку должного внимания. Перевод манипулятивной мотивации в соматический симптом осуществляется, во-

многом, неосознанно, хотя ребенок и может попросить «конфетку», скажем, за отказ не сдерживать кал. А суровый родитель своими инвективами только усиливает психосоматическую передачу и, значит, частоту и стойкость энкопреза. В подобных случаях куда целесообразнее высветить причину появившегося недуга (часто в такой роли выступает ревность – вслед за рождением маленького брата или сестры). То же касается и задержки речи: не всегда это является знаком отставания в психическом развитии, а воспроизводит задержку экзистенциальной, в широком смысле, либидинозной энергии. И в этих случаях курсы транквилизаторов, без семейной терапии, оказывают ограниченный эффект.

Ярким примером системного невроза является мастурбация, возникающая, как правило, после случайного «знакомства», в том или ином варианте, со сценами эротического содержания. Возможен и сугубо рефлекторный механизм, связанный с чувством удовольствия от раздражения эрогенных рецепторов. Ребенок не стесняется и не отождествляет «стихийную» мастурбацию с чем – то нехорошим. Но это, болезненно ускоренное либидо вмешивается в процесс развития и искажает индивидуацию, ведет к появлению гиперактивности, нарушениям сна. Возникают и поведенческие аномалии. Фигура отца, как правило, в подобных случаях, принижена, незначительна. Между ребенком и его матерью нет «стен» в виде значительной отцовской фигуры, что определяет не только усиление мастурбации, но и гиперактивности, а в будущем – и агрессивного поведения.

Истероформные соматические симптомы, как это и определяет классический психоанализ, отражают блокаду энергии либидо [10, 13]. Так, пятна на руках, покраснение ладоней, как и ряд тикоидных, хореоформных симптомов, – есть результат блокады мастурбации. «Стыдное» желание блокируется «цензурой» и вся энергия либидо переходит на орган, который призван осуществить мастурбационный акт. В этих случаях мы всегда находим напряженность и определенную «холодность» отношений матери и ребенка. У мальчиков наблюдается зависть к отцу и раздражение к нему. Можно эту группу проявлений назвать своеобразными «эдипальными» нарушениями. Либидо не может излиться, «перетечь» на внешний объект и вынуждено выходить наружу, том числе, в виде кожных симптомов на руках (через блокаду мастурбационного акта). И здесь также будет недостаточно одних транквилизаторов, без соответствующей психоаналитической проработки [10], которая, впрочем, должны быть предельно «аккуратной».

Поведение является, во – многом, матрицей депрессивно-невротических переживаний [6]. В агрессивном поведении выходит наружу энергия либидо, искаженная в безуспешном поиске «партнера». Здесь всегда есть, в том или ином виде,

нарушения межличностного взаимодействия. В любви, в отношениях проявляется дуализм, который хорошо описала девушка семнадцати лет: «я знаю, что маму надо любить, но она была бездушна, била меня, и теперь я не мыслю себе любви без скандалов; я чего – то «недочувствую», если не переживу ссору». В таких случаях мы видим реакции протеста, садистический компонент при полном отсутствии мотива для агрессии. По самоотчетам больных, применение седатиков вызывает у них всего лишь «притушение чувств», никак не меняя стереотип, патологический алгоритм поведения. Поэтому, конечно, курсы антидепрессантов должны сочетаться с сеансами психоанализа.

Нервная анорексия – типичный регресс психики и сублимация вины. Собственно, выработанные ранее патогенетические подходы к симптомам нервной анорексии сохраняют свою актуальность и в наши дни. Речь идет о страхе взросления, стремлении остаться в детстве, зафиксировать свое детское статус – кво, прекратить менструации, замедлить половое созревание. Все это можно назвать общей блокадой либидо. Антидепрессанты при данной патологии применимы в щадящих дозах, имеют ограниченный стимулирующий эффект. Терапия обязательно включает компонент общего развития, личностного роста, духовного становления.

В процессе трактовки суицидальных тенденций принято считать, что либидо не связывается со «значимым объектом» и возвращается обратно. «Вернувшееся» либидо меняется таким образом, что становится «обозленным» по отношению к своему субъекту [6, 8]. Направленное вовнутрь, оно провоцирует аутоагрессивные тенденции. Так, после смерти любимого отца мальчик длительное время был замкнут, избегал контактов. Когда его мать родила ребенка «для себя», чтобы, как она выразилась, не умереть с тоски, он «охладел» к ней. Впоследствии начал говорить о несправедливом устройстве общества и высказывать суицидальные мысли. Его состояние было расценено как эндогенное. На фоне курса антипсихотика возник нейролептический синдром. Очевидно, в этом случае есть весомый компонент психодинамики, что должно быть учтено при выборе адекватной терапии.

В тех случаях, когда отец не является той самой «фигурой» и, более того, своим неправильным подходом вызывает у ребенка чувство унижения, развивается комплекс беспомощности, который перерастает в депрессию. Отсутствие жизненной энергии, нарушение экзистенциального чувства могут привести к симптомам тревоги с суицидальными мотивами [8]. Депрессии несут в себе подоплеку ранних психических травм, своего рода, «выученной беспомощности». Сделанные в детстве едкие замечания типа: «Тебя никто замуж не возьмет, ты полы мыть не умеешь» – впоследствии имеют вполне практическое воплощение. Мы, например, долго не могли понять, отчего девушка, 17 лет,

после всякого, порой, незначительного стресса, наносила самопорезы, пока в процессе длительной беседы она не вспомнила об этих словах ее бабушки. И, разумеется, любые антидепрессанты будут для нее малоэффективны без учета той самой «автоматической» депрессии, сформированной в раннем детстве.

В детских эксплозивных реакциях также виден психодинамический след. Когда на глазах пятилетнего мальчика умер отец, ребенок не говорил два года. Дед привязывал его к кровати, чтобы он не бегал по квартире, бил ремнем. Повзрослев, сам мальчик бьет деда, что служит причиной неоднократных госпитализаций. Но он ласков, ждет помощи, просит не назначать таблетки, т.к. устает, не может читать. С позиций психоанализа и с позиций гуманистического подхода, конечно, не стоит его тормозить нейролептиками.

Агрессия мести [6] возникает как воспоминание о психической травме раннего детства, унижении. Аффективный комплекс психотравмы может перейти в очерченный депрессивный эпизод. Но есть альтернативный вариант: компенсаторные силы личности переводят общий аффективный комплекс в агрессивное поведение. Личность борется за выживание с помощью агрессии. Движение от депрессии к агрессии как форме личностного развития согласуется с основными концепциями расстройств поведения [4, 6, 7, 8, 10]. Своего рода, «точка бифуркации» в подобных случаях выглядит так: либо депрессивное торможение психической энергии и экзистенциальной силы, либо агрессия и «спасение» экзистенции. Последний вариант динамики виден, в частности, у мальчика, которого его бабушка в детстве часто кормила насильно, привязывала к стулу, борясь с его гиперактивностью. В подростковом возрасте этот мальчик сам привязывал бабушку к стулу и вливал ей в рот стакан подсолнечного масла.

И еще важный психоаналитический момент, связанный с отцовской фигурой. Ранний развод, отец вне семьи, ребенок о нем ничего и не знает. Он внешне никак не переживает, не дает невротических реакций по данному поводу, «проблемы отца» для него будто бы и не существует. Но у него незаметно подтачивается социальная адаптация, индивидуация [14], искажается становление «онтогенетической реальности» [5]. Он неустойчив, легко конфликтен, не удерживается в рамках социума, у него нет стойких поведенческих установок. Такой алгоритм виден на этапах формирующихся расстройств личности, с подростковыми патохарактерологическими реакциями (группирование, внушаемости, рискованного поведения, делинквентности).

У немалого количества «психопатов» и «шизофреников», диагнозы которым были установлены без учета психодинамики, седативная психотропная терапия оказывает, в лучшем случае, лишь общезатормаживающее действие, не

затрагивая тревоги, реакций личности и формы поведения. А измученные родители часто требуют увеличить дозу лекарства, полагая, что существует связь препарата и улучшения состояния ребенка. В то же время, учет элементов психодинамики, особенно важных в детстве, заставляют модифицировать терапию, применять, наряду с психотропными препаратами, современные приемы психоанализа.

**Обсуждение.** Психические нарушения, связанные с процессами ранней психодинамики, выявлялись у большинства (72%) обследованных детей. Значительное место среди клинических феноменов психоаналитического свойства занимают симптомы, которые можно отнести к сублимации чувства вины (депрессия, анорексия). За ними следуют признаки регресса с «системной» невротической патологией в форме тиков, энуреза, онанизма, трихотилломании. Далее идут признаки невротической фиксации, связанные с переживаниями раннего стресса: лого – и термоневрозы, соматоформные боли, различные фобии. После них, по частоте встречаемости, слудет указать на суицидальные тенденции, обусловленные «психоаналитической» тематикой, агрессивность, переживания Эдипова комплекса.

Тесная ассоциация психического и соматического - известный постулат психоанализа. В дошкольном и начальном школьном возрасте стрессы, напряженная обстановка в семье зачастую вызывают боли в животе, гипертермию, тошноту и головокружение. Безуспешное обследование, например, по поводу «острого живота» и лечение у гастроэнтеролога приводит, так или иначе, к необходимости в консультации психиатра.

При системно-невротических дисфункциях (энурез, энкопрез, тики, мастурбация/онанизм) психодинамические расстройства связаны с нарушением становления инстинктивной сферы, что обозначается как «блокада» либидинозной энергии. Неправильное поведение является, во – многом, матрицей депрессивно-невротических переживаний [6]. В агрессивном поведении выходит наружу энергия либидо, искаженная в безуспешном поиске «партнера». В процессе трактовки суицидальных тенденций принято считать, что либидо не связывается со «значимым объектом» и возвращается обратно. «Вернувшееся» либидо меняется таким образом, что становится «обозленным» по отношению к своему субъекту. У немалого количества «психопатов» и «шизофреников», диагнозы которым были установлены без учета психодинамики, седативная психотропная терапия оказывает, в лучшем случае, лишь общезатормаживающее действие, не затрагивая тревоги, реакций личности и формы поведения.

**Выводы, предложения.** Психоанализ вступил, в каком – то смысле, в постфрейдовскую эпоху: от основного «фрейдовского» ствола образуется все больше ответвлений, методики модифицируются, адаптируются к современности. По замечанию президента международной

психоаналитической ассоциации Стефана Болоньи [1], психоаналитик сегодня в большей степени является модератором переживаний и конфликтов клиента, чем раньше, когда он был более холоден и отстранен. Основным «полем битвы», по – прежнему, является человеческая тревога и душевная боль. Современный человек более свободен, но и более одинок. Стало быть, надо не столько «освободить» его, сколько помочь ему найти «психическую близость» с другими, значимыми для него людьми. Указанные особенности самым тесным образом касаются детского психоанализа. Общеизвестную зависимость матери и ребенка надо рассматривать как поле психоаналитической интервенции. Но часто мы также имеем дело с коллизиями в отношениях ребенка с отцом («отцовской фигурой»).

#### Литература

1. Болоньи С. - Clorincom. – 29.08.2016. (с сайта b17ru).
2. Ковалев В.В. Семиотика и диагностика психических заболеваний у детей и подростков. – М. – Медицина. – 1985.
3. Личко А.Е. Подростковая психиатрия. – Л. – Медицина. – 1985.
4. Лоренц К. Агрессия (Так называемое зло). – М. 1994.
5. Лэйнг Р.У. Разделенное Я. – М. – 1996.
6. Можгинский Ю.Б. Эмоции. Поведение. Агрессия. – М. – 2011.
7. Меннингер К. Война с самим собой. – М. – 2001.
8. Мэй Р. Сила и невинность: в поисках истоков насилия. – М. – 2001.
9. Пригожин И. От существующего к возникающему. – М. – 2002.
10. Психоаналитическая психотерапия подростков, страдающих тяжелыми расстройствами. – Под. ред. Д. Анастасопулос, Э. Лэйлу-Лайнос, М. Водделл и др. – М. – 2007.
11. Ремшмидт Х. Детская и подростковая психиатрия. – М. – ЭКСМО-Пресс. – 2001.
12. Г.Е. Сухарева. Клинические лекции по психиатрии детского возраста. – Т. 1-3. – Медгиз. – 1955–1965 гг.
13. Фрейд З. Избранное. – Ростов-наДону. – 1998.
14. Юнг К. Аналитическая психология. – СПб. – 1994.

УДК 616.31

### АНАЛИЗ ПРОЧНОСТИ ОБРАЗЦОВ МНОГОСЛОЙНОГО ДИОКСИДА ЦИРКОНИЯ ДЛЯ ЗУБОПРОТЕЗИРОВАНИЯ С ПОМОЩЬЮ АКУСТИЧЕСКОЙ МИКРОСКОПИИ

**Ненашева Е.А.**

*Российский Университет Дружбы Народов,  
Россия, 117198, г.Москва, ул.Миклухо-Маклая, 6*

**Мороков Е.С.**

*Институт биохимической физики им. Н.М. Эмануэля Российской академии наук,  
Россия, 119334, г.Москва, ул. Косыгина, 4*

### STRENGTH ANALYSIS OF MULTILAYER ZIRCONIUM DIOXIDE SAMPLES FOR DENTAL PROSTHETICS USING ACOUSTIC MICROSCOPY

**Nenasheva E.A.**

*Peoples' Friendship University of Russia,  
6 Miklukho-Maklaya str., Moscow, 117198, Russia*

**Morokov E.S.**

*N.M. Emanuel Institute of Biochemical Physics of the Russian Academy of Sciences,  
4 Kosygina str., Moscow, 119334, Russia*

[DOI: 10.31618/nas.2413-5291.2023.2.86.688](https://doi.org/10.31618/nas.2413-5291.2023.2.86.688)

#### АННОТАЦИЯ

В данной работе с применением акустической микроскопии исследовались упругие свойства и внутренняя микроструктура стоматологической многослойной диоксид циркониевой керамики. Проведена сравнительная характеристика между керамиками различных производителей. Образцы стоматологической многослойной керамики в цветовом диапазоне трех производителей «ТТ ML Zirconia Blocs» (TopZir, Китай), «ZiRceram ML ET» (Циркон Керамика, Россия) и «ZirCad Prime» (Ивоклар Вивадент, Лихтенштейн). По прочностным показателям отечественные образцы многослойной керамики «ZiRceram ML ET» незначительно уступают образцам «ZirCad Prime» (Лихтенштейн), но превосходят образцы китайского производства.

#### ABSTRACT

In this work, the elastic properties and internal microstructure of dental multilayer zirconium dioxide ceramics were studied using acoustic microscopy. A comparative characteristic between ceramics of different manufacturers is carried out. Samples of dental multilayer ceramics in the color range of three manufacturers "TT ML Zirconia Blocs" (TopZir, China), "ZiRceram ML ET" (Zircon Ceramics, Russia) and "ZirCad Prime" (Ivoclar Vivadent,

Liechtenstein). In terms of strength indicators, domestic samples of multilayer ceramics "ZiRceram ML ET" are slightly inferior to samples of "ZirCad Prime" (Liechtenstein), but surpass samples of Chinese production.

**Ключевые слова:** многослойный диоксид циркония, акустическая микроскопия, зубопротезирование, прочность, анализ.

**Keywords:** multilayer zirconium dioxide, acoustic microscopy, dental prosthetics, strength, analysis.

### Введение

Цельнокерамические зубные протезы, обладающие биоинертностью и хорошей биосовместимостью, характеризуются высокими прочностными характеристиками и постепенно вытесняют металлокерамическое протезирование. Наиболее востребованной на сегодняшний день керамикой является диоксид циркония ( $ZrO_2$ ). В зависимости от структуры кристаллической решетки (кубической, тетрагональной, моноклинной) и легирующих элементов циркониевая керамика может существенно отличаться по механическим и упругим характеристикам. Внедрение и повсеместное использование керамики определенного состава подразумевает проведение лабораторных исследований, и выявление особенностей физических свойств материала. Современные методы исследования механических свойств материалов, как правило, подразумевают полное разрушение образцов, например, ИСО 6872 – 2015/18, и не позволяют испытывать готовые протезы. Однако, наряду с деструктивными методами анализа существуют методы неразрушающей диагностики и оценки упругих свойств материалов, приборы, основанные на применении ультразвуковых волн. Методы ультразвукового видения давно зарекомендовали себя в качестве метода диагностики широкого спектра материалов. Одним из современных методов неразрушающего контроля является импульсная акустическая микроскопия, активно применяемая для изучения стоматологических керамик [1-3], сплавов [4] и композиционных материалов [5, 6].

### Цель исследования

Изучение прочностных показателей стоматологической многослойной диоксид циркониевой керамики неразрушающим методом акустической микроскопии.

### Материалы и методы исследования

Керамические образцы

Образцы стоматологической многослойной керамики в цветовом диапазоне A1÷A3 ML трех производителей «ТТ ML Zirconia Blocs» (TopZir, Китай), «ZiRceram ML ET» (Циркон Керамика, Россия) и «ZirCad Prime» (Ивоклар Вивадент, Лихтенштейн) были вырезаны из блоков в форме параллелепипеда размерами 20 x 5.2 x 1.3 мм. Резка, подготовка и обжиг образцов проводили согласно инструкциям фирм - изготовителей.

Акустическая микроскопия

Оценка упругих характеристик и визуализация внутренней микроструктуры керамических образцов была выполнена с применением импульсного акустического микроскопа SIAM-2017, разработанного и созданного в

Институте биохимической физики Российской академии наук. Метод основывается на использовании зондирующих импульсов фокусированного ультразвука в частотном диапазоне от 50 МГц до нескольких ГГц, обеспечивающем пространственное разрешение от десятков микрон до долей микрона. Ультразвук проникает в объем подавляющего большинства объектов. В случае фокусированного пучка параметры отраженного или рассеянного излучения, регистрируемого в режиме на отражение, определяются взаимодействием зондирующего ультразвука с объектом в фокальной области пучка и, в конечном счете, микроструктурой и упругими свойствами объекта внутри этой области. Для визуализации объемной структуры используются длиннофокусные пучки, длина перетяжки которых сопоставима с толщиной исследуемого объекта, и короткие импульсные зондирующие сигналы, позволяющие разделять во времени эхо сигналы, отраженные на разной глубине. Набор эхо импульсов (*A-скан*), регистрируемых в точке наблюдения, сохраняется в памяти управляющего компьютера вместе с координатами точки наблюдения. Выделение эхо-сигналов с определенным временем задержки с помощью т.н. электронных ворот позволяет выбирать эхо сигналы, отраженные на заданной глубине внутри объекта для разных точек на его поверхности, и отображать их величину в градациях серого, формируя акустические изображения (*C-сканы*) структуры объекта на фиксированной глубине. Отображение (развертка) структуры эхо сигнала, регистрируемого внутри выделенного интервала времен задержки при одномерном сканировании объекта (*B-скан*) передает структуру образца в его поперечном, вертикальном сечении. Отдельные *A-сканы* используются для расчета упругих характеристик объекта. Измерение временных интервалов между эхо-импульсами, отраженными от разных границ образца, лежит в основе *микроакустической техники* – метода измерения локальных значений скоростей звука и упругих модулей материала. Измеряя временные задержки между эхосигналом, отраженным от поверхности образца, и эхосигналами, сформированными продольными и поперечными волнами при прохождении по толщине образца, определяются скорости распространения продольных  $C_L$  и поперечных  $C_T$  упругих волн в материале (Рисунок 1).

$$C_L = \frac{2d}{\tau_L} \quad (1)$$

$$C_T = \frac{d}{(\tau_{LT} - \frac{d}{C_L})} \quad (2)$$

где  $\tau_L$  и  $\tau_{LT}$  время задержки между сигналом от поверхности и сигналом от дна образца при прохождении только продольных  $L$  (*longitudinal*) волн и при смешанном прохождении продольных и поперечных  $LT$  (*longitudinal + transversal*) волн,  $d$  – толщина образца. В совокупности с данными о плотности  $\rho$  материала рассчитываются упругие модули – сдвиговый модуль  $G$ , модуль всестороннего сжатия  $K$ , модуль упругости  $E$  и коэффициент Пуассона  $\mu$  [1].

$$G = C_T^2 \cdot \rho \quad (3)$$

$$K = C_L^2 \cdot \rho - \frac{4}{3} \cdot C_T^2 \cdot \rho \quad (4)$$

$$E = \frac{9 \cdot K \cdot G}{3 \cdot K + G} \quad (5)$$

$$\mu = \frac{E}{2G} - 1 \quad (6)$$

Плотность материалов измерялась гидростатическим взвешиванием [ГОСТ 15139-69].

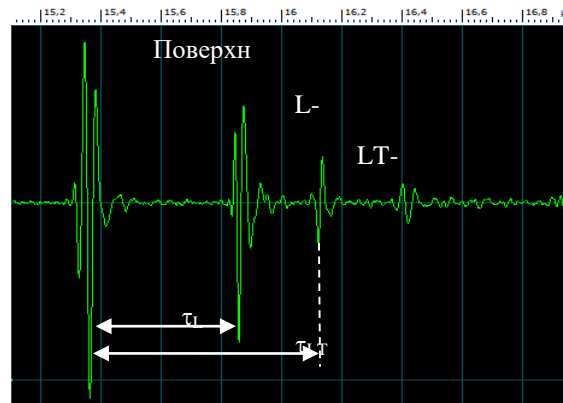


Рисунок 1 - Пример расположения сигналов на эхограмме (образец «TopZir» после обжига) для расчета скоростей распространения продольных и поперечных волн в образце.

### Результаты исследования

Исследования керамических материалов проводилось до и после спекания. Обжиг керамических заготовок приводит к усадке материала вследствие уменьшения межзеренного пространства, роста и объединения зерен в объеме керамики. На рисунках 2 и 3 представлены результаты ультразвуковой визуализации микроструктуры в объеме керамических образцов. При анализе внутренней микроструктуры образцов «ТТ ML Zirconia Blocs», фирмы TopZir, Китай было выявлено, что до обжига керамические образцы характеризуются мелкопористой структурой. Присутствуют как открытые, так и закрытые поры, что было показано при ультразвуковой визуализации (Рисунок 2). На С-скане образца яркие светлые точки соответствуют закрытым порам. При исследовании было зафиксировано обильное водонасыщение образца. Поры в объеме образца, заполненные водой, обладают меньшим контрастом и отображаются на изображении светло-серым оттенком. Максимальный размер пор не превышал 100 мкм. Изображение внутренней микроструктуры получено на глубине 350 мкм, толщина отображаемого слоя на С-скане составляет 130 мкм. После спекания и уплотнения микроструктуры все крупноразмерные поры исчезают. На ультразвуковых изображениях керамики после обжига воздушные включения не визуализированы (Рисунок 3), соответственно,

размеры пор, присутствующих в керамике, меньше разрешающей способности микроскопа. Согласно теоретическим оценкам, минимальный размер пор, который могла выявить акустическая микроскопия в спеченной керамике «TopZir», составляет порядка 3 мкм.

Наличие пор в объеме керамики напрямую влияет на плотность и скорость распространения упругих волн. Спекание керамики привело к снижению пористости и существенному росту значений упругих характеристик, однако рост плотности не велик, что, скорее всего, связано с мелкой дисперсностью керамических зерен и их плотной прессовкой в образце до спекания. Перестройка зеренной микроструктуры керамики при обжиге привела к увеличению скорости распространения продольных и поперечных волн в три раза. Рост упругих модулей очевиден, модуль упругости  $E$  изменился с 25 до 208 ГПа. Пластичность керамики также выросла, чему свидетельствует рост коэффициента Пуассона. Схожие тенденции были выявлены у керамических образцов других марок. В таблице 1 представлены результаты сравнительных измерений керамик после обжига. Можно отметить, что значения упругих модулей керамики «TopZir» слегка ниже двух других производителей. Глобальных различий не наблюдается, однако наилучшие значения были выявлены у образца керамики «ZirCad Prime».



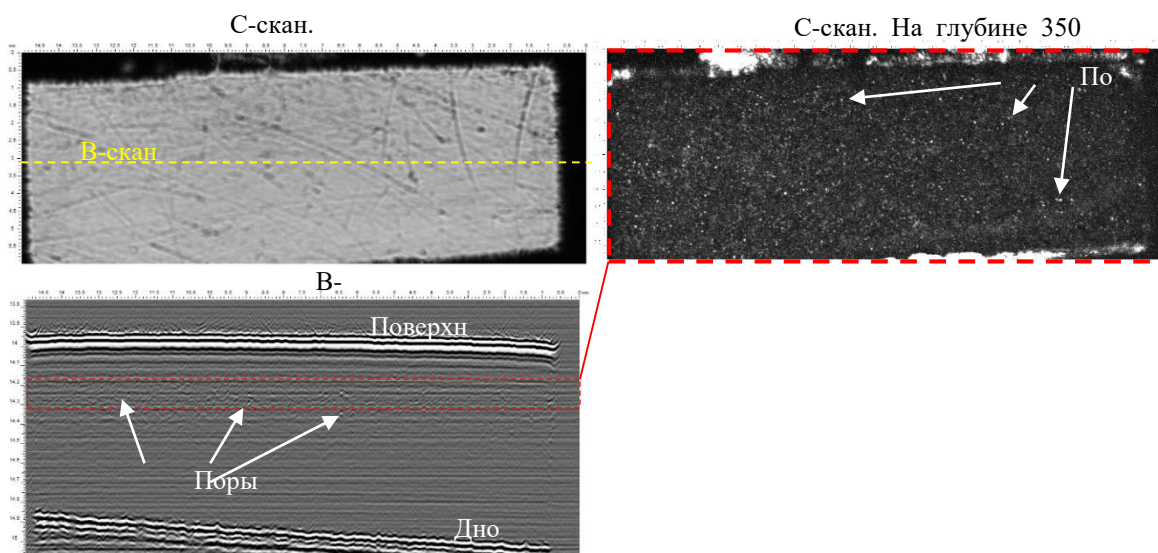


Рисунок 2 - Ультразвуковые изображения образца «TopZir» до обжига; разветвленная система открытых пор и единичные включения закрытых пор менее 100 мкм.

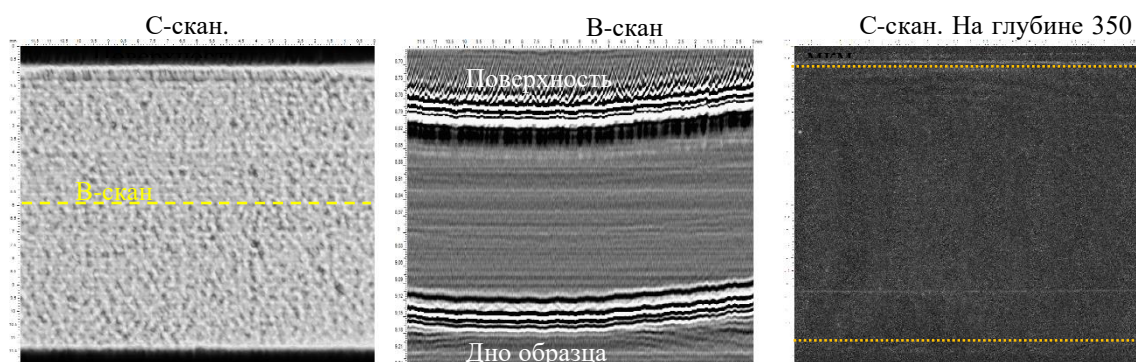


Рисунок 3 - Ультразвуковые изображения образца «TopZir» после обжига. Поры в объеме образца не выявлены.

Таблица 1.

Данные о скоростях звука, плотности и упругих модулях в керамиках

Образец	$C_L$ , км/с $\pm 0.002$	$C_T$ , км/с $\pm 0.002$	$\rho$ , г/см <sup>3</sup> $\pm 0.005$	G, ГПа $\pm 0.05$	K, ГПа $\pm 0.05$	E, ГПа $\pm 0.05$	$\mu$
«TopZir» до обжига	2.434	1.384	5.30	10.2	17.9	25.6	0.26
«TopZir» после обжига	7.243	3.585	6.05	77.8	214.0	208.1	0.34
ZiRceram ML ET	7.358	3.610	6.08	79.2	223.8	212.6	0.34
ZirCad Prime	7.245	3.620	6.09	79.9	213.7	213.1	0.33

**Выводы**

в результате неразрушающего исследования прочностных характеристик определены основные физико-механические параметры многослойных образцов стоматологической керамики трех производителей.

для образца керамики «ГТ ML Zirconia Blocs», фирмы TopZir, Китай - модуль Юнга до и после спекания составили соответственно  $E_{до} = 25.6 \pm 0.05$  ГПа,  $E_{обж} = 208.1 \pm 0.05$  ГПа, коэффициент Пуассона  $\mu_{до} = 0,26$ ;  $\mu_{обж} = 0,34$ .

для образца керамики «ZiRceram ML ET», фирмы Циркон Керамика, Россия - модуль Юнга после

спекания составил  $E_{обж} = 212,6 \pm 0.05$  ГПа, коэффициент Пуассона  $\mu_{обж} = 0,34$ .

для образца керамики «ZirCad Prime», фирмы Ивоклар Вивадент, Лихтенштейн - модуль Юнга после спекания составил  $E_{обж} = 213,1 \pm 0.05$  ГПа, коэффициент Пуассона  $\mu_{обж} = 0,33$ .

становлена значительная внутренняя и наружная пористость диоксидциркониевой керамики до спекания на примере образцов «Top Zir Zirconia», что благоприятствует возможности её окрашивания методом погружения. По значению модуля Юнга можно заключить, что из изученных образцов керамик наиболее упругие – образцы «ZirCad Prime». С учетом данных значений коэффициент

Пуассона наиболее эластичным являются образцы «ZirCad Prime». По прочностным показателям отечественные образцы многослойной керамики образцам «ZirCad Prime» (Лихтенштейн), но превосходят образцы китайского производства.

#### Список литературы

1. И.Ю. Лебеденко, В.М. Левин С.В. Анисимова, Е.С. Мороков, В.И. Хван, Л.И. Подзорова, Н.А. Михайлина. Упругие свойства и микроструктура наноструктурированных материалов на основе диоксида циркония для цельнокерамических зубных протезов. Dental Forum 2013, 47, 19-23.
2. L.I. Podzorova, A.A. Il'icheva, O.I. Pen'kova, N.A. Alad'ev, A.S. Baikin, A.A. Konovalov, E.S. Morokov. Dispersion Hardening of Composites in the System Aluminum Oxide and Cerium Cation Stabilized Tetragonal Zirconium Dioxide. Glass and Ceramics, 2017, 74 (5), 204-208.
3. K.E. Goryainova, E.S. Morokov, M.V. Retinskaja, F.S. Rusanov, S.V. Apresyan, I.Yu. Lebedenko. The Micromorphological Research of the Internal Structure of Chairside CAD/CAM Materials by the Method of Scanning Impulse Acoustic Microscopy (SIAM). Open Dentistry Journal, 2018, 12, 125-132. doi:10.2174/1874210601812010125
4. В.А. Парунов, П.А. Колесов, М.В. Быкова, Е.С. Мороков. Исследование упругих свойств сплавов "Плагодент" и "Плагодент-плюс" методом сканирующей импульсной акустической микроскопии (СИАМ). Cathedra стоматологическое образование 2014, 49, 45-48.
5. Анисимова С.В., Лебеденко И.Ю., Левин В.М., Макарычев Ю.Б., Подзорова Л.И., Хван В.И., Мороков Е.С. Изучение зоны контакта и прочности сцепления наноструктурированной керамики на основе диоксида циркония с облицовочным материалом в цельнокерамических зубных протезах. Российский стоматологический журнал 2014, 2, 4-9.
6. Ф.С. Русанов, Г.В. Согачев, И.Я. Поюровская, Е.С. Мороков. Сравнительное исследование внутренней структуры композитных материалов традиционной и текучей консистенции. Стоматология, 2015, 94, 22.

#### ИСПЛЬЗОВАНИЕ ПРОДУКЦИИ “ДЮКРЭ” В ЛЕЧЕНИИ ПСОРИАЗА И СЕБОРЕЙНОГО ДЕРМАТИТА

*Койбагарова А.А., Курбанова Д.Ч.,  
Салыкаева А.Д., Ибраимова А.Дж., Замирбекова К.З.  
КГМА им. И.К. Ахунбаева,  
КРСУ  
Бишкек*

#### USE OF DUCRE PRODUCTS IN THE TREATMENT OF PSORIASIS AND SEBORRHEIC DERMATITIS

*Koibagarova A.A., Kurbanova D.Ch.,  
Salyakaeva A.D., Ibraimova A.Dj., Zamirbekova K.Z.  
I.K. Akhunbaev KSMА,  
KRSU,  
Bishkek*

DOI: 10.31618/nas.2413-5291.2023.2.86.706

#### АННОТАЦИЯ

В статье представлена информация о дерматокосметике линии Дюкре, которая используется в качестве вспомогательного средства на фоне или после комбинированной терапии эритематозно-сквамозных дерматозов, таких как псориаз и себорейный дерматит. Даны сведения о составе, показаниях и способах нанесения, а также проведен анализ после применения данной продукции.

#### ABSTRACT

The article provides information about the dermatocosmetics of the Ducret line, which is used as an adjuvant during or after combined therapy of erythematous-squamous dermatoses such as psoriasis and seborrheic dermatitis. Statements about the composition, indications and methods of application are given, as well as an analysis after the use of this product.

**Ключевые слова:** себорея, перхоть, псориаз, дерматит, шампунь

**Keywords:** seborrhea, dandruff, psoriasis, dermatitis, shampoo

В последнее время участились случаи дерматозов с поражением кожу лица и волосистой части головы, вызывая явные косметические неудобства, вплоть до тяжелого стресса и социальной дезадаптации, что и заставляет пациента обращаться к дерматологу или дерматокосметологу.

В группу эритематосквамозных поражений лица и волосистой части головы относят дерматозы, проявляющиеся воспалительными шелушащимися пятнами или папулами, такие как псориаз и себорейный дерматит. При обоих заболеваниях поражается кожа головы, поэтому неудивительно, что их часто путают. Для обеих

патологий характерны такие симптомы как зуд, сухость кожных покровов, шелушение, появление обширных высыпаний, покрытых чешуйками.

Псориаз — хроническое неинфекционное кожное заболевание, поражающее почти 2% населения Земли. Проявляется мономорфной папулезной эритематосквамозной сыпью, которая чаще всего располагается на разгибательных участках конечностей, туловище и волосистой части головы.

Себорейный псориаз (*sebopsoriasis*) — сравнительно редкая форма псориаза, клинически может весьма напоминать типичный СД.

Главным клиническим отличием себорейного псориаза является незначительно выраженная инфильтрация папул, в связи с чем при первоначальном осмотре высыпания выглядят слабо шелушащимися эритематозными пятнами. Себорейный псориаз манифестирует на волосистой части головы, коже лба по линии роста волос. В носогубных складках, в заушных зонах, на себорейных участках груди и спины. Инфильтрация папул столь незначительна, что при пальпации не всегда определяется возвышающийся край элемента. Цвет высыпаний розовато-красный, иногда с желтоватым («медным») оттенком. Шелушение выражено значительно слабее, чем при обычной форме псориаза. Клиническая картина напоминает себорейный дерматит

Себорейный дерматит — эритематосквамозное поражение, возникающее в типичных себорейных зонах кожи, которое вызывается сапрофитной флорой кожи — дрожжеподобными грибами *Malassezia furfur* (*Pityrasporum ovale*), возможно, в симбиозе с эпидермальными стрептококками. Патогенетическим фоном для развития СД является нарушение химического состава кожного сала вследствие иммунодефицитных состояний (в том числе СПИДа), эндокринных нарушений (гипотиреоз, гипогенитализм, гиперкортицизм и др.), врожденная склонность к аллергическим реакциям.

При тяжелом течении заболевания в зоне поражений на фоне эритемы могут формироваться мелкие поверхностные субкорнеальные пустулы, которые могут эрозироваться, а в зоне крупных складок формировать участки сплошного мокнутия, клинически напоминающее острую экзему. Этим клиническим сходством объясняется ранее существовавшее название СД «себорейная экзема».

Существуют разнообразные комбинированные методы медикаментозного и немедикаментозного лечения псориаза, направленные на минимизацию очагов поражения, улучшение качества жизни пациента, уменьшение случаев возникновения рецидивов.

Лечение псориаза и себорейного дерматита зависит от степени поражения кожи, формы и возраста больного. При наличии дополнительных патологий органов и систем, проводят их коррекцию. Пациентам назначают диету с

ограниченным употреблением соли, жирных и богатых быстрыми углеводами продуктов.

Следует отметить, что тяжелые формы псориаза и себорейного дерматита - это повод для регулярного наблюдения и лечения у дерматолога и даже для госпитализации.

Для лечения псориаза и себорейного дерматита в стадии обострения применяются гормональные препараты, цитостатики, антигистаминные средства, препараты кальция, дезинтоксикационная терапия, иммунорегуляторы, витамины (особенно группы В), а также физиотерапия. В период улучшения для поддержания здоровья кожи рекомендуется санаторно-курортное лечение.

Для коррекции состояния кожи волосистой части головы необходимо решить три основные задачи:

- снять воспаление кожи, в области псориазических и себорейных высыпаний;
- необходимо уменьшить или убрать имеющиеся корочки и чешуйки, из-за того, что у пациентов наблюдается шелушение кожи и/или образование корок из слипшихся с кожным салом чешуек и нормализовать образование новых;
- обеспечить противозудный эффект, т. к. больных практически всегда беспокоит ярко выраженный зуд.

Для лечения псориаза волосистой части кожи головы и себорейного дерматита лучше использовать мягкие, щадящие средства без отдушек. Регулярное очищение и увлажнение - основа правильного ухода за волосами и кожными покровами при псориазе. Важно, чтобы используемые средства способствовали нормализации баланса питательных веществ, восстанавливали пораженные участки кожи, поддерживали pH кожи головы, увлажняли роговой слой эпидермиса.

Сотрудничество с профессиональными фармацевтами привело к разработке косметики для решения дерматологических проблем. Ассортимент марки со временем расширился, в нем появились продукты для устранения перхоти, выпадения волос, лечения экземы, псориаза, акне и ежедневного ухода за кожей.

Дюкрэ – это серия уникальных дерматологических средств для коррекции серьезных проблем волос и кожи, разработанных при участии дерматологов и косметологов.

Дюкрэ Скванорм Шампунь от сухой перхоти

Активные компоненты:

- гуанидин гликолят - кератолитик, предотвращает появление чешуек;
- пироктон оламин очищает, воздействует на грибы рода *Malassezia*, которые вызывают перхоть;
- глицерин увлажняет, способствует восстановлению баланса кожи головы.

Наносится на влажные волосы, массируется и смывается. Наносится шампунь повторно и оставляется на 2-3 минуты, тщательно

ополаскивают волосы. Применяется 2-3 раза в неделю, минимальный курс лечения – 6 недель. Чередуются с оздоравливающим шампунем Элюсьон.

Дюкре Скванорм Шампунь от жирной перхоти  
Наносится на влажную кожу головы, массируется и смывается. Наносится повторно и оставляется на три минуты, тщательно смывается.

Курс: 2 раза в неделю в течение 6 недель.

Ducray Kelual DS шампунь для лечения тяжелых форм перхоти,

**β-ГЛИЦИРРЕТИНОВАЯ КИСЛОТА** обладает противовоспалительным и успокаивающим действием.

Два взаимодополняющих активных вещества: **ЦИКЛОПИРОКСОЛАМИН 1,5%** и **ПИРИТИОН ЦИНКА** оказывают эффективное фунгистатическое действие на грибки типа *Malassezia* (основную причину возникновения перхоти).

**КЕЛЮАМИД** оказывает усиленное эксфолирующее действие, быстро устраняя перхоть и надолго оздоравливая кожу головы.

Дюкре Келюаль DS Смягчающий крем для устранения шелушений - кераторедуктор

Смягчающий крем Келюаль DS снимает покраснение и устраняет шелушения при себорейном дерматите. Удаляет чешуйки, устраняет зуд и успокаивает раздраженные участки кожи.

Крем наносится на раздраженную кожу с локализованными покраснениями и шелушением на жирных участках лица: носогубные складки, брови, линия роста волос или груди. Крем может также быть использован в области век.

Интенсивное воздействие при обострении. Курс 2 недели. Наносите 2 раза в день утром и вечером.

Поддержание результата после окончания лечения, в период ремиссии. Наносите крем 2 раза в неделю.

Дюкрэ Кертиоль P.S.O. Восстанавливающий шампунь для устранения шелушения кожи головы

Содержит: Кертиоль 2%, Салициловая кислота 3%, Комплекс гликолевой кислоты в высокой концентрации, Глицерин, Дистиллят ихтиола натрия, Кротамитон, салицилат цинка 0.75%, Циклопироксоломин 1,5%, Пиритион цинка 1%, Келюамид 1,5%.

Наносится на кожу головы, деликатно массируется, после смывается. Наносится повторно, оставьте на волосах на 2-3 минуты, после обильно промывается водой.

Использовать в комплексе с медикаментозным лечением или после завершения курса лечения.

Дюкрэ Кертиоль P.S.O. Концентрат против шелушения кожи для всех типов кожи, в том числе чувствительной.

Активные компоненты:

- *Celastrol* - 100% натуральный активный ингредиент - действует непосредственно на кератиноциты, уменьшая появление бляшек;

- *гликолевая кислота* - кератолитический компонент;

- *Védérine* способствует легкому отшелушиванию чешуек;

- *ихтиол* замедляет процесс деления клеток, сокращая шелушение;

- *Polidocanol* устраняет зуд.

- без парабенов

Кожа тела: наносится утром и вечером, в течение 4 недель.

Кожа головы: наносится вечером и оставьте на ночь. Утром смывается мягким шампунем. Применяется в течение 4 недель.

Дюкрэ Кертиоль P.S.O. Бальзам увлажняющий для тела для всех типов кожи.

Активные компоненты:

- *Celastrol* - 100% натуральный компонент, оказывает воздействие на кератиноциты, уменьшая образование бляшек;

- *Vederine*™ облегчает отшелушивание бляшек псориаза от кожи;

- *глицерин* насыщает клетки влагой и удерживает ее;

- *поллидоканол* устраняет жжение, зуд, боль, покалывание и другие дискомфортные ощущения.

Наносится средство на все тело 1 раз в день.

Дюкрэ Элюсьон Шампунь мягкий балансирующий для всех типов.

Активные компоненты:

- *пироктон-оламин* - противогрибковый компонент, является профилактикой появления перхоти;

- *цинк-глицинат* легко способствует укреплению волос и их нормальному росту;

- *глицин* успокаивает кожу головы;

- *витамин B5 и глицерин* увлажняют.

Наносится шампунь на влажную кожу головы массажными движениями, смывается. Вспенить средство повторно, оставить на 2-3 минуты, затем тщательно промыть голову. Использовать 2-3 раза в неделю на протяжении как минимум 6 недель.

Дюкрэ Набор для лечения перхоти и псориаза (3 средства) для всех типов кожи, в том числе чувствительной.

Набор средств от Дюкрэ – это комплексный уход за волосами и кожей головы при перхоти, псориазе, себорейном дерматите.

**1) Шампунь Дюкрэ Кертиоль, уменьшающий шелушение кожи головы;**

**2) Крем Кертиоль, уменьшающий шелушение кожи;**

**3) Шампунь оздоравливающий Элюсьон**  
Именно благодаря действию продукции линии Дюкре:

- улучшается регенерация кожных покровов;

- устраняется зуд и болевые ощущения;

- происходит смягчение кожных покровов и их увлажнение;

- оказывается лёгкий пилинг, вследствие чего ороговевшие чешуйки быстро счищаются;

- уменьшаются поражённые участки и больше не образуются новые псориазные бляшки;

- нормализуется работа сальных желез;
- убирается грибок и другие микроорганизмы, обитающие на коже головы.

Таким образом, французские лаборатории линии Дюкрэ создают свои средства уже много лет, постоянно работая над усовершенствованием составов продукции, что делает более эффективным их лечебное действие. Дерматологические средства аптечной косметики - это отличное качество и решение многих дерматологических и дермато-эстетических проблем.

#### Литература

1. Короткий, Н. Г. Современные подходы к лечению псориазной эритродермии / Н. Г. Короткий, Т. В. Дворникова, В. Ю. Уджуху // Росс. журн. кожных и венерических болезней. — 2001. — № 1. — С. 7–14. 24.
2. Кубанова, А. А. Клинические рекомендации. Дерматовенерология / А. А. Кубанова. — М. : ДЭКС-Пресс, 2007. — 300 с.
3. Кунгуров, Н. В. Генетические факторы этиологии и патогенеза псориаза [Текст] / Н. В. Кунгуров, Н. Н. Филимонкова, В. И. Голубцов, С. А. Корхмазова // Вест. дерматологии и венерологии. — 2011. — № 1. — С. 23–27.
4. Родионов, А. Н. Дерматопатология воспалительных заболеваний кожи / А. Н. Родионов, Д. В. Заславский, И. Н. Чупров [и др.]. — М. : Vaktoria press, 2014. — 160 с.
5. Родионов, А. Н. Справочник по кожным и венерическим болезням / А. Н. Родионов. — СПб. : Спутник врача, 2005. — 464 с.
6. Родионов, А. Н. Экзематозные (спонгиозные) дерматозы: иллюстрированное руководство для врачей / А. Н. Родионов, Д. В. Заславский, А. А. Сыдинов. — М. : ООО «Фармтек», 2018. — 192 с.
7. Чикин В. В., Минеева А. А., Заславский Д. В. Федеральные клинические рекомендации по ведению больных с себорейным дерматитом. Москва. 2013.
8. Вольф К., Голдсмит Л. А., Кац С. И., Джилкред Б. А., Паллер Э. С., Леффель Д. Дж. Дерматология Фицпатрика в клинической практике. В 3-х т. Том 1, гл. 22. М.: Издательство Бином. Лаборатория знаний. 2012. С. 235–242.
9. Европейское руководство по лечению дерматологических болезней. Под ред. А. Д. Кацамбаса, Т. М. Лотти. 3-е изд. Пер. с англ. М.: Издательство МЕДпресс-информ. 2014. С. 459–461.

# НАУКИ О ЗЕМЛЕ

УДК: 523 : 521.16 : 551.14 : 551.24.02

## ПРИРОДА ТЕКТОНИЧЕСКОГО РАССЛОЕНИЯ ВНЕШНЕЙ ОБОЛОЧКИ ЗЕМЛИ

*Ильченко В.Л.*

*Геологический институт Кольского НЦ РАН,  
Апатиты, Россия*

## THE NATURE OF TECTONIC LAYERING OF THE EARTH OUTER SHELL

*V.L. Ilchenko*

*Geological Institute of the Kola Science Center of RAS,  
Apatity, Russia*

DOI: 10.31618/nas.2413-5291.2023.2.86.689

### АННОТАЦИЯ

Представлена история развития идеи о тектоническом расслоении внешней оболочки Земли (кора + верхняя и средняя мантия) как колебательной системе. Механизм расслоения описывается формулой:  $M_n = M_0/2^n$  ( $M_n$  – длина  $n$ -ной моды расслоения,  $M_0$  – длина нулевой моды, равная мощности всей колебательной системы), на основании чего была построена первая модель тектонического расслоения земной коры Печенгского блока как колебательной системы, возбуждаемой лунным приливом. Этот механизм позволяет вычислять мощность колебательной системы из длины любой моды  $M_n$ . Измерение длин мод возможно как на каротажных кривых, так и в полевых условиях – на системах субгоризонтальных трещин в коренных обнажениях горных пород. Принцип эквивалентности гравитирующих масс (ЭГМ) определяет глубину проникновения энергии лунной гравитации в земные недра ( $M_0 \approx 1600$  км). Предварительные расчеты предполагают продолжение этих исследований на квантовом уровне с зарождением новой дисциплины – квантовой геотектоники.

### ABSTRACT

The paper presents the development history of the idea on the wave nature of the Earth outer shell tectonic layering (crust + upper and middle mantle). The layering mechanism is described by the formula:  $M_n = M_0/2^n$  ( $M_n$  – length of  $n$ -layering mode,  $M_0$  – length of zero mode equal to the thickness of an oscillation system), on the basis of which the first model of the tectonic layering for the Earth crust of the Pechenga block as an oscillatory system excited by a lunar tide was constructed. The mechanism model makes it possible to calculate the thickness of an oscillatory system from the length of any mode  $M_n$ . Measurement of mode lengths is possible both on logging curves and in the field – on systems of subhorizontal fractures in rock outcrops. The principle of gravitating masses equivalence determines the depth of the lunar gravity energy penetration into the Earth interior as  $M_0 \approx 1600$  km. Preliminary calculations suggest the continuation of these studies at the quantum level: the beginning of a new discipline – quantum geotectonics.

**Ключевые слова:** механизм тектонического расслоения, внешняя оболочка Земли, волны твёрдого лунного прилива, принцип ЭГМ, квантовая геотектоника

**Key words:** tectonic layering mechanism, outer shell of the Earth, waves of solid Moon tide, EGM principle, quantum geotectonics

**Введение.** В настоящее время в науке и, особенно, в геологии, новые идеи и представления без фундамента ранее известных фактов и обобщений возникают очень редко [12]. Настоящая работа посвящена развитию как раз такой идеи. Современная наука во многом опирается на фундаментальные основы, которые были заложены великими умами (Галилео Галилей, Исаак Ньютон и др.). В контексте настоящей статьи и для оправдания отцов-основателей следует отметить, что в их времена никто и понятия не имел о твёрдых лунных приливах, а о строении Земли с её тектоническим расслоением могли лишь догадываться. Можно не сомневаться, что если бы в руки И. Ньютона попали всем известные на сегодня сведения о твёрдых приливах, результаты сверхглубокого бурения и геофизического исследования скважин, эту статью писать бы не

пришлось. Ньютон живо разобрался бы во всём, причём его решение было бы куда изящнее, так как он непременно применил бы дифференциальное и интегральное исчисление. Привлечение (в конце этой статьи) в геотектонику (соответственно, и в геологию) основ квантовой механики следует здесь расценивать как веление времени. Предлагаемая статья содержит информацию, которая была опубликована ранее в сборниках научных конференций [4, 5, 7 и др.], изданных малым тиражом и, т.о., известную лишь очень узкому кругу лиц.

**Механизм тектонического расслоения.** Итак: тектоническое расслоение внешней земной оболочки имеет волновую природу. Гравитация Луны создаёт во внешней земной оболочке возмущение - волну твёрдого прилива. Но источник возмущения (Луна) не стоит на месте и, с её

«уходом», это возмущение трансформируется в стоячую волну, которая тут же переходит в режим затухания. Затухание происходит по закону, напоминающему затухание стоячей волны в натянутой струне (но здесь струна - это радиус волны твёрдого прилива, проведённый из её вершины в направлении центра Земли). По мере расхода энергии на струне возникает неподвижная узловая точка - узел, делящий струну пополам, а волну - на две полуволны:  $\lambda_1 = \lambda_0/2$ ,  $\lambda_0$  - длина волны (или струны) - мода №0,  $\lambda_1$  - длина полуволны - мода (обертон) №1; т.е. на струне всегда помещается целое число полуволн -  $\lambda/2$  [9]. По мере расхода энергии ситуация повторяется: на каждой новой полуволне возникают новые неподвижные узлы, разделяющие эти полуволны надвое - на новые колеблющиеся пучности (моды № 2, 3, 4 и т.д.), что в общем виде описывается формулой:  $\lambda_n = \lambda_0/2^n$  ( $\lambda_n$  длина  $n$ -ной моды). По мере затухания происходит частичное «отжимание» упругой энергии из колеблющихся пучностей к неподвижным узлам, превращая их постепенно в концентраторы избыточно высоких напряжений. Этот принцип положен в основу механизма тектонического расслоения:  $M_n = M_0/2^n$  ( $M_n$  -длина  $n$ -ной моды,  $M_0$  - длина моды №0 равная мощности всей колебательной системы - слоя, или радиусу области приливо-волнового возмущения), на чём была построена модель тектонического расслоения земной коры Печенгского блока как колебательной системы, возбуждаемой лунным приливом [4 и ссылки там] (за длину моды  $M_0=42\pm 2$  км, как точку отсчёта, принята сейсмологическая мощность земной коры Печенгского блока в районе заложения Кольской сверхглубокой скважины - СГ-3 [2]). На качество данной модели указало 74%-е совпадение её узловых точек с точками вывалов горных пород из стенок скважины на «динамическом» разрезе СГ-3. Вывалы пород в процессе бурения скважин происходят в результате разгрузки избыточно высоких напряжений в точках, встречающихся через определённые интервалы и, по-видимому, соответствующих положению узловых точек, возникающих на стоячей волне по мере её затухания. Отсюда был сделан вывод о том, что механизм тектонического расслоения должен работать и в обратную сторону:  $M_0 = M_n \cdot 2^n$ ; это позволяет вычислять мощность колебательной системы (для 1-й модели - мощность земной коры) из мощности моды  $M_n$ , при наличии способа её измерения. Номер моды  $n$  определяется по специальной таблице, которая представляет собой набор числовых рядов из длин мод, вычисленных по закону тектонического расслоения ( $M_n = M_0/2^n$ ) из всех возможных целочисленных значений мощности земной коры (принимаемой за моду №0) в интервале от 32 до 64 км [5 и ссылки там].

#### **Конечная мода тектонического расслоения.**

По мере исследования каротажных кривых различных скважин [7 и ссылки там] было установлено, что самый простой путь измерения длины моды  $M_n$  это подсчёт количества

экстремумов (породных вывалов или иных эффектов динамической природы) на каротажных кривых, отражающих физическое состояние петрографически и структурно однородных интервалов достаточной мощности (100 м, 1 км и т.д., зависит от масштаба анализируемого материала). Мощность этого интервала делим на количество «экстремумов» и, в итоге, получаем длину конечной моды тектонического расслоения  $M_k = M_n$ . Термин «конечная мода» ( $M_k$ ) означает измерение минимальной её длины, какую только можно измерить (что опять же зависит от масштаба используемого графика). Как показала практика, в подавляющем большинстве случаев этот способ прекрасно работает. Но возникает другая проблема: скважины расположены на земной поверхности крайне неравномерно. Их много в хорошо изученных рудных районах и мало (или нет совсем) на слабо освоенных территориях, перспективных, тем не менее, для поиска месторождений полезных ископаемых.

Полагая, что субгоризонтальная системная трещиноватость в обнажениях горных пород на поверхности отражает единый процесс тектонического расслоения внешней земной оболочки и для подтверждения этого предположения с возможностью измерения длины конечной моды расслоения  $M_k$  была проведена небольшая экспериментальная работа. Рекогносцировочными маршрутами по южной части Хибин было установлено широкое развитие системной субгоризонтальной трещиноватости в обнажениях коренных пород. Затем были выбраны рабочие площадки с максимальной обнаженностью. Для измерений использовалась обычная стальная строительная рулетка. На отвесной скальной стенке с чётко проявленной субгоризонтальной системой трещин, строго вертикально (поперёк трещин) натягивалась лента рулетки. Затем проводился подсчет количества элементов расслоения (разделённых трещинами) в захваченном рулеткой интервале, после чего длина интервала делилась на количество элементов расслоения. В итоге получаем длину конечной моды тектонического расслоения -  $M_k$ . На каждой рабочей площадке проводилось  $\geq 15$  замеров. Из средней арифметической длины  $M_k$  для каждой площадки была вычислена глубина залегания границы Мохо. Сравнение результатов вычислений с сейсмологическими данными о глубине залегания границы Мохо в районе Хибинского массива показало их удовлетворительное совпадение. Результаты эксперимента в [8].

**Принцип ЭГМ.** Глубину проникновения лунной гравитации в недра Земли, по 3-му закону Ньютона ( $F = -F$ ), определяет принцип эквивалентности гравитирующих масс - ЭГМ (постулат в [5]). Из этого принципа следует, что масса вещества (горных пород) в области лунного приливного возмущения во внешней оболочке Земли эквивалентна или равна массе источника возмущения - Луны (число возмущающих частиц-гравитонов эквивалентно числу атомов в составе



лунного радиуса, который определяет объём; т.к. объём Луны, помноженный на её среднюю плотность даёт массу -  $M_L$ ). Радиус волны твёрдого лунного прилива  $R_{ЛПВ}$  во внешней оболочке Земли можно найти по формуле:  $R_{ЛПВ} = \sqrt[3]{3M_L/4\pi\rho_{КМОЗ}}$ ,  $M_L$  – масса Луны  $= 7,3477 \times 10^{22}$  кг,  $\pi=3.14$ , средняя плотность корово-мантйной оболочки Земли (КМОЗ)  $= \rho_{КМОЗ} \approx 4.5$  г/см<sup>3</sup>. Т.о., радиус волны твёрдого лунного прилива:  $R_{ЛПВ} = \sqrt[3]{3 \cdot 7,3477 \cdot 10^{19} \text{ т} / 4 \cdot 3.14 \cdot 4.5 \text{ т/м}^3} = \sqrt[3]{3.9000 \times 10^{18} \text{ м}^3} = 1.574 \times 10^6 \text{ м}$  или почти 1600 км [7]. Практически «вечное» гравитационное воздействие Луны ( $T \approx 4.5 \cdot 10^9$  лет) на породы внешней оболочки Земли с регулярным возбуждением системы затухающих стоячих волн привело к обособлению в ней Главной Колебательной Системы (слой ГКС) мощностью  $M_0 \approx 1600$  км — с ритмичным тектоническим расслоением, фрактальным строением и непостоянной (из-за вариаций плотности пород в составе слоя ГКС) латеральной мощностью. В соответствии с механизмом тектонического расслоения слоя ГКС (в расчёте от  $M_0 \approx 1600$  км), глубину залегания границы Мохо (или мощность земной коры) определяет первая сверху граница (мода)  $M_5$ .

Средний радиус волны твёрдого лунного прилива в КМО Земли  $R_{ЛПВ} \approx 1600$  км (для средней плотности вещества:  $\rho_{КМОЗ} = 4.5$  г/см<sup>3</sup>) короче радиуса Луны ( $r_L=1738$  км) из-за несколько повышенной плотности вещества в составе КМОЗ. Это объясняется тем, что элементарные частицы, определяющие массу атомов в составе радиуса приливной волны  $r_{ПВ}$  в недрах Земли сближены тесней и, поэтому, образуют минералы с повышенной плотностью (отсутствующие или редкие на Луне) и, тем не менее, их количество (по принципу ЭГМ) должно быть эквивалентно числу атомов в составе лунного радиуса. Принятая в расчётах средняя плотность КМОЗ (4.5 г/см<sup>3</sup>) несколько выше реальной: её понижение может быть вызвано сильной обводнёностью земной коры в интервале 4.5-10.5 км [3] и наличием «подземного океана воды» в верхней мантии (интервал 400-600 км) [15]. Но это не влияет на вычисление средней плотности  $\rho_{ПВ}$  вещества в составе радиуса  $r_{ПВ}$  в любой точке Земли. Для таких расчётов хорошо подходит уравнение:  $\rho_L \cdot r_L = \rho_{ПВ} \cdot r_{ПВ}$ , где левая (лунная) половина:  $\rho_L \cdot r_L = const$ , так как Луна всегда повернута к Земле одной стороной [5]. Средняя плотность Луны:  $\rho_L = 3.35$  г/см<sup>3</sup> [10].

Как сказано выше, радиус волны твёрдого лунного прилива  $r_{ПВ}$  в КМОЗ (как и мощность ГКС) латерально непостоянен (свой в каждой точке) из-за пространственных вариаций плотности вещества ( $\rho_{ПВ}$ ). Но если знать радиус  $r_{ПВ}$  в какой-либо определённой точке, можно легко найти среднюю плотность  $\rho_{ПВ}$  вещества в составе этого радиуса:  $\rho_{ПВ} = \rho_L \cdot r_L / r_{ПВ}$ . Радиус  $r_{ПВ}$  можно столь же легко вычислить по длине конечной моды  $M_k$ , измеренной на каротажных кривых, отражающих

динамическое состояние горных пород для структурно и петрографически однородных интервалов в скважинах (это проверено на кавернограммах, графиках удельного электрического сопротивления, трещиноватости, и пористости). В отсутствие скважин, длину  $M_k$  можно получить путём измерения среднего расстояния между трещинами субгоризонтальных систем в обнажениях коренных горных пород (при их наличии).

**Квантовая геотектоника.** Квантовая механика развивается уже >100 лет. За это время появились квантовая химия, квантовая биология, идеи о квантовых компьютерах (и т.п.). В 2012 году чл.-корр. РАН Опарин В.Н. великодушно разрешил употреблять без кавычек термин «квантовая геодинамика» [11]. По-видимому, теперь пришло время и для легализации «квантовой геотектоники».

Высота волны твёрдого лунного прилива на Земле - деформация растяжения  $d$  её радиуса ( $\approx 1600$  км) – превышение земной поверхности на вершине волны:  $d = h_{пр.} \approx 0.45$  м [1 и мн. др.]. Если поделим эту деформацию на средний радиус волны лунного прилива, получим:  $d_{пр.} = 0.45 \text{ м} / 1.6 \cdot 10^6 \text{ м} = 2.8125 \cdot 10^{-7}$  (это для каждого метра в составе приливо-волнового радиуса). Теперь переведём эту деформацию на каждый атом в составе радиуса приливной волны и, полагая, что средний диаметр атома  $d_a \approx 1 \text{ \AA}$  ( $1 \text{ \AA} = 10^{-10}$  м), получим среднюю атомную деформацию:  $d_a = 2.8125 \cdot 10^{-17} \text{ м}$ . Так как все атомы химических элементов в составе КМОЗ вечно пребывают под влиянием литостатического давления (в «угнетённом» состоянии), деформация каждого атома в составе радиуса волны лунного прилива может приблизиться к размеру с порядком  $10^{-18}$  м. Столь малый размер атомной приливной деформации предполагает, что здесь мы имеем дело с физикой элементарных частиц, а это значит, что законы классической физики перестают действовать и нужно пытаться использовать квантовую механику.

Квант энергии:  $\varepsilon = h\nu$ ,  $\nu$  - частота колебаний атома-вибратора (возможно, частота эманации гравитонов),  $h$  – квант действия или постоянная Планка:  $h = 6.625 \cdot 10^{-34}$  Дж·с [13]. Постоянная Планка – «опознавательный знак» для уравнений квантовой механики [9]. Радиус Луны:  $r_L = 1738$  км  $= 1.738 \cdot 10^6 \text{ м} = 1.738 \cdot 10^{16} \text{ \AA}$ . Средний диаметр атома:  $d_a \approx 1 \text{ \AA}$  и тогда, по принципу ЭГМ, радиальная энергия лунной гравитации  $E_{rL}$  (если  $\nu = 1$  Гц) будет равна произведению  $h$  на сумму атомов  $N$  в лунном радиусе  $r_L$  в ангстремах, т.е.:  $E_{rL} = h\nu N = 1.151425 \cdot 10^{-17}$  Дж. Энергия  $E_{rL}$  вызывает в земной оболочке гравитационное возмущение - волну твёрдого прилива с «деформацией атома»  $\approx 10^{-17}$ - $10^{-18}$  м. Эта же энергия регулярно подпитывает и поддерживает «в боевой готовности» систему узловых точек стоячей волны - концентраторов избыточно высоких напряжений, которые играют не последнюю



(возможно – главную) роль в развитии сейсмического процесса (например, при подготовке землетрясений [6]).

**Заключение.** Гравитационная волна, зафиксированная американскими физиками (нобелевские лауреаты 2017 г.) на интерферометре Advanced LIGO 14 сентября 2015 года (стоимость проекта >600 млн \$ США), имела амплитуду порядка  $10^{-18}$  м (точно такая же амплитуда «атомной деформации» у волны твёрдого лунного прилива на Земле). По мнению этих лауреатов, их гравитационная волна – итог редчайшего катастрофического природного явления – столкновения двух черных дыр (в 29 и 36 раз тяжелее Солнца) примерно  $1.3 \cdot 10^9$  лет назад где-то в глубоком Космосе [14].

Гравитационная волна – твёрдый лунный прилив – на Земле наблюдается дважды в сутки, изучение этой волны обходится не дорого (лазерный интерферометр LIGO тут не нужен) и, кроме того, результаты этих исследований уже могут принести жителям Земли практическую пользу в самом ближайшем будущем. Выше было сказано о построении моделей тектонического расслоения. Эти модели позволяют предсказывать вероятное глубинное положение во внешней оболочке Земли (её кора + верхняя и средняя мантия) систем тектонических нарушений, которые обычно обладают свойствами коллекторов, чем обуславливается формирование месторождений самых разных полезных ископаемых. Кроме того, энергию лунных приливов можно использовать в расчётах для предсказания землетрясений [6].

Тектоническое расслоение внешней твёрдой оболочки, аналогичное описанному в данной статье для Земли, должно существовать на других планетах, имеющих спутники, таких, например, как Марс. Значит можно уже сейчас делать предварительные расчёты с построением моделей тектонического расслоения внешней оболочки Марса.

И, по-видимому, это ещё далеко не полный перечень возможностей применения приведённой в данной статье информации.

Работа выполнена в рамках темы НИР Ги КНЦ РАН № FMEZ-2022-0025.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Авсюк Ю.Н. Приливные силы и природные процессы. М.: Изд. ОИФЗ РАН. 1996. 188 с.
2. Березовский Н.С., Галдин Н.Е., Кузнецов Ю.И. Геофизическое исследование сверхглубоких скважин (Кольской и Новоелховской) как основа интерпретации геологического строения кристаллического фундамента. Тверь: Изд. АИС, 2006, 395 с.
3. Иванов С.Н. Природа границы между верхней и средней частью земной коры и её значение. / Препринт. Свердловск: УрО АН СССР, 1991, 46 с.
4. Ильченко В.Л. Моделирование тектонического расслоения земной коры как колебательной системы, возбуждаемой лунным

приливом (на примере земной коры Печенгского блока, Балтийский щит). /Сборник материалов XIII междунар. конф. "Физико-химические и петрофизические исследования в науках о Земле". /Ред.: Лебедев Е.Б., Салтыковский А.Я. и др. Москва, 01-03.10, Борок, 04.10.2012 г. М.: - 2012. С.105-108.

5. Ильченко В.Л. Оценка глубины проникновения энергии лунного прилива во внешнюю оболочку земли. /Сборник материалов XIII междунар. конф. "Физико-химические и петрофизические исследования в науках о Земле". /Ред.: Лебедев Е.Б., Салтыковский А.Я. и др. Москва, 01-03.10, Борок, 04.10.2012 г. М.: - 2012. С.109-112.

6. Ильченко В.Л., Кобринович Ю.О. Приливные волны и прогноз землетрясений. // Российский геофизический журнал. 2014. № 53-54. С.99-105.

7. Ильченко В.Л. Механизм тектонического расслоения и построение тектоностратиграфических моделей внешней земной оболочки (кора, верхняя-средняя мантия) по каротажным данным. // V Тектонофизическая конференция в ИФЗ РАН, 05-10.10.2020 г., посвященная 100-летию со дня рождения М.В.Гзовского. Тектонофизика и актуальные вопросы наук о Земле: Материалы докладов всероссийской конференции – в 2-х томах. Т.2. М.: ИФЗ. 2020. С.525-531.

8. Ильченко В.Л. Ритмичное тектоническое расслоение горных пород, как основа для построения моделей тектонического расслоения внешней оболочки Земли (на примере Хибинского массива, Балтийский щит).// Уральский геологический журнал, 2021, №1 (139). С.47-52. ISSN 2219-1208.

9. Пономарёв Л.И. Под знаком кванта.- 2-е изд., испр. и доп. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1989. – 368 с.: ил.

10. Ранцини Ж. Космос. Сверхновый атлас Вселенной / Пер. с англ. Г. Семёновой. – М.: Изд-во Эксмо, 2004. – 216 с., илл.

11. Тапсиёв А.П., Чанышев А.И. Нелинейные геомеханико-геодинамические процессы при отработке месторождений полезных ископаемых на больших глубинах (к итогам 2-й Российско-Китайской научной конференции).//ФТПРПИ. 2012. №5. С. 197-201.

12. Щеглов А.Д., Говоров И.Н. Нелинейная металлогения и глубины Земли. Москва: Наука. 1985. – 324 с.

13. Яворский Б.М., Детлаф А.А. Справочник по физике для инженеров и студентов вузов. Изд. 6-е, испр. - М.: Изд-во «Наука» Глав. Ред. физ.-мат. лит. 1974. 942 с.

14. Abbott B.P., Abbott R., Abbott T.D. et al. Observation of gravitational waves from binary black hole merger // Phys. Rev. Lett. 2016. V. 116. P.061102. DOI: 0031-9007 / 16 / 116(6) / 061102(16).

15. Sobolev, A. V., Asafov, E. V., Gurenko, A. A., Arndt, N. T., Batanova, V. G., Portnyagin, M. V., Garbe-Schonberg, D. & Krashennnikov, S. P.

Komatiites reveal a hydrous Archaean deep-mantle reservoir. *Nature* 531, 628-632, doi:10.1038/nature17152 (2016).

Аффилиция:

Ильченко Вадим Леонидович, Геологический институт Кольского научного центра Российской академии наук (ГИ КНЦ РАН), Апатиты, Россия.

УДК 551.46.08:911.5/6

## ДВА ПОДХОДА К ИЗУЧЕНИЮ ОКЕАНОСФЕРЫ

*Петров К.М.*

*Санкт-Петербургский государственный университет*

*К.М. Petrov*

*Saint-Petersburg State University,*

DOI: 10.31618/nas.2413-5291.2023.2.86.690

### АННОТАЦИЯ

Изучение аналитических закономерностей развития отдельных компонентов океаносферы заложено в океанологии программой первой океанологической экспедиции на «Челленджере» в конце XIX в. Отечественная географическая школа решает проблемы, актуальные как в области физической географии, так и океанологии: изучение взаимодействия компонентов природы, выделение и описание природно-территориальных комплексов региональной и локальной размерности. Успешное комплексное изучение, освоение и охрана природных ресурсов береговой зоны и шельфа Мирового океана требуют использования как аналитических океанологических, так и комплексных географических методов исследований.

### ABSTRACT

The study of the analytical regularities in the development of individual components of the oceanosphere was laid down in oceanology by the program of the first oceanological expedition aboard the Challenger at the end of the 19th century. The domestic geographical school solves problems that are relevant both in the field of physical geography and oceanology: the study of the interaction of the components of nature, and the identification and description of natural-territorial complexes of regional and local dimensions. Successful integrated study, development and protection of natural resources of the coastal zone and the shelf of the World Ocean require the use of both analytical oceanological and integrated geographic research methods.

**Ключевые слова:** аналитические исследования, комплексные исследования, береговая зона и шельф, природные территориальные комплексы, принципы районирования, концепция подводного ландшафта, программа комплексного изучения ландшафтов.

**Keywords:** Analytical studies, integrated studies, coastal zone and shelf, natural territorial complexes, zoning principles, underwater landscape concept, integrated landscape study program.

### Введение

Экспедиция на парусно-паровом корвете «Челленджер» (1872 – 1876 гг) выполняла программу детального покомпонентного изучения природы Мирового океана. Эта экспедиция ознаменовала становление науки океанологии – комплекса научных дисциплин о физических, химических, геологических и биологических процессах в Мировом океане. Структура океанологии, заложенная в конце XIX в., до наших дней сохраняет аналитический подход к изучению Мирового океана.

В географии методология комплексных исследований была заложена В. В. Докучаевым. Он писал, что не подлежит сомнению, что познание природы – её сил, стихий, явлений и тел – сделало в течение XIX столетия такие гигантские шаги, что само столетие нередко называют веком естествознания. Вместе с тем В.В. Докучаев указывал, что изучались, главным образом, отдельные тела и явления, но не их соотношение, не та генетическая, вековечная и всегда закономерная связь, которая существует между силами, телами и явлениями, между мёртвой и живой природой. Л.А. Зенкевич (1970) отмечал

целесообразность создания интегрального направления в океанологии, основанного на учении о биогеоценозе В. Н. Сукачева. Однако это предложение осталось нереализованным.

Береговая зона моря и шельф представляют область взаимодействия основных геосфер Земли: атмосферы, гидросферы, литосферы и биосферы. Благодаря этому здесь отмечается высокий динамизм природных процессов, формирование разнообразных природных комплексов и высокое разнообразие донных биоценозов. Береговая зона и шельф – это арена богатых минеральных и биологических ресурсов, их интенсивного потребления, которое оказывает разрушительное воздействие на прибрежные экосистемы и ландшафты.

Проблемы комплексного изучения подводных окраин материков связаны с тем, что они не доступны непосредственному визуальному восприятию. В середине XX в. в процессе геологического картирования и разведки месторождений нефти и газа у берегов Азербайджана были разработаны технические средства аэрофотосъёмки дна морских мелководий и методы дешифрирования аэрофотоизображений

(Гурьева, Петров, Шарков, 1976). Использование акваланга позволило водолазу-исследователю осуществлять весь комплекс работ, выполняемых географом на суше: фотографировать и описывать рельеф, грунт, донные биоценозы, отбирать образцы. В последующем этот опыт позволил описать и картировать ландшафты мелководий Чёрного, Каспийского и Дальневосточных морей, разработать теорию и методы ландшафтно-биономических исследований береговой зоны и шельфа (Петров, 1989; 2004; 2008). Небольшая глубина доступная аэрофотосъёмке дна морских мелководий последние десятилетия преодолевается широким применением ультразвуковой сонарной съёмки, которая способна дать изображение дна всего шельфа. При интерпретации и обобщении данных, полученных при дешифрировании сонарных изображений шельфа, целесообразно использовать метод ландшафтно-дешифрирования аэроснимков дна морских мелководий. В статье обсуждается применение географического подхода к изучению береговой зоны моря и шельфа: принципы детального районирования береговой зоны и шельфа, концепция подводного ландшафта, в заключении предлагается программа комплексных ландшафтных биономических исследований береговой зоны моря.

#### **Принципы детального районирования береговой зоны и шельфа**

Принципы глобального районирования морских мелководий разработаны в начале XXI в. американскими океанологами: М. Д. Спалдингом, Г. Алленом, Х. Фоксом и Н. С. Дэвидсоном (Spalding et al, 2007). Авторы выделяют 12 царств, 62 провинции и 232 экорегиона (морских бассейнов). Предложенная система единиц районирования отражает наиболее крупные глобальные особенности жизни в океане. Однако оценка биоразнообразия, продуктивности, использования и охраны биологических ресурсов требует разработки более детальной системы единиц районирования морских экорегионов (Петров, 2020; 2022). Определим принципы детального районирования морских бассейнов.

Ландшафтно-биономические особенности береговой зоны и шельфа морей отображают влияние трех факторов: геолого-геоморфологического строения, глубины и положения береговой зоны в системе единиц географической зональности.

**Геолого-геоморфологическое строение (морфоструктуры) береговой зоны и шельфа.** Важным фактором смены биономических условий в береговой зоне и на шельфе являются изменения характера рельефа, действия абразии и седиментации. Ведущая роль в этих процессах принадлежит морфоструктурным особенностям окраин материков, новейшим и современным тектоническим движениям. В неоген-четвертичное время происходило развитие морфоструктур от планетарных до локальных, что определило основные черты рельефа морских окраин платформ

и орогенов. Морфоструктуры контролируют рельеф побережья, контур береговой линии и приглубость подводного склона. Различают продольные берега, у которых оси складок располагаются вдоль береговой линии, и поперечные берега — оси складок идут по нормали к берегу. Для растущих продольных берегов характерно формирование берегового обрыва (клифа), абразионного подводного берегового склона, берег приглубый, шельф узкий. У берегов поперечного типа оси растущих складок продолжают в море, образуя систему мысов, островов и заливов, шельф широкий. На подводном береговом склоне формируется абразионно-аккумулятивная терраса с многочисленными рифами, банками на месте локальных складок. Абразионно-скульптурный подводный береговой склон является особым биотопом каменистых грунтов, где господствуют гидробионты-обрастатели (сессильная биота).

На месте тектонических прогибов происходит накопление мощной толщи четвертичных отложений и формируются морфоструктуры аккумулятивных равнин и берегов. На подводном склоне волнение, направленное по нормали к берегу, вызывает поперечное перемещение наносов и их сортировку. На глубинах, недоступных воздействию волн, откладывается выносимый из береговой зоны тонкий песчано-илистый материал. Распространение волн под прямым и косым углом к береговой линии обуславливает вдольбереговой поток наносов. Характерными формами рельефа здесь являются подводно-береговые валы и другие формы аккумулятивного рельефа. В верхней части подводного берегового склона в пределах активного воздействия волнового поля, на песчаных наносах обитают преимущественно подвижные формы; в нижней части, где воздействие волн ослаблено, формируется биотоп песчано-илистых отложений, где господствуют закапывающиеся в грунт гидробионты (инфауна).

Предлагается следующий размерный ряд единиц морфоструктурного районирования: области, округа и подводные ландшафты.

**Вертикальная поясность.** С увеличением глубины происходит быстрое изменение биономических условий, характера биотопов и донных биоценозов, в результате чего шельф предлагается разделять на три пояса. Верхний пояс включает береговую зону (подводный береговой склон). Он находится в пределах волнового воздействия, ему присуща сезонная ритмика (прежде всего прогрев в теплый период года) и освещенность, достаточная для развития сообществ макрофитов. Средний пояс располагается ниже термоклина, волновая деятельность ослаблена, сезонная ритмика слабо выражена, освещенность низкая. Здесь встречаются единичные многоклеточные и некоторые одноклеточные водоросли. Благодаря ослабленной гидродинамике в этом поясе происходит осаждение тонкого илистого материала, богатого детритом, и формирование разнообразной инфауны. Нижний

пояс соответствует перегибу профиля дна в сторону материкового склона. Здесь возрастает гидродинамическая активность, формируются скульптурные формы рельефа, увеличивается разнообразие группировок сессильной фауны.

**Географическая зональность.** Первичным фактором зональности является температурный режим. В начале XX в. У. Сетчелл (Setchell, 1917), исследуя географические закономерности распределения подводной растительности, выделил стенотермные группировки морских донных водорослей, характеризующиеся приуроченностью к водам, температурный режим которых различается на 5–10 °С. В настоящее время установлено, что с индивидуальным развитием и жизненными циклами гидробионтов связаны температурные градиенты, которым соответствуют значения 0, 5, 10, 15, 20, 25 °С. Эти термические границы предлагается использовать для выделения географических поясов и зон. Например, в Северном полушарии в холодном поясе выделяются арктическая и субарктическая зоны с биологически активными температурами воды летом соответственно 0–5 и 5–10 °С. В умеренном поясе выделяются зоны бореальная и неморальная с биологически активными температурами зимой соответственно 0–5 и 5–10 °С. В теплом поясе выделяется тропическая зона с биологически активными температурами зимой выше 20 °С.

В пределах морских мелководий границы поверхностных и донных зон сливаются, ниже слоя скачка, природные зоны, однотипные с зонами, выделяемыми на поверхности моря, не прослеживаются. Важной дополнительной характеристикой термических зон является соленость морской воды. Значение солености ниже 24,69 ‰ (границы Книповича) отделяет моря с нормальной соленостью от солоноватоводных бассейнов. Эта граница отделяет морскую биоту от солоноватоводной, что сопровождается резким уменьшением видового разнообразия морской биоты.

#### **Концепция подводного ландшафта береговой зоны моря**

Ландшафтоведение береговой зоны и шельфа опирается на теоретические положения отечественной географической школы Докучаева – Берга. Развитие ландшафтных исследований в береговой зоне и на шельфе требует четкого определения понятия подводный ландшафт, его морфологической структуры и свойств ландшафтообразующих факторов, а также рассмотрение подводного ландшафта как основной исходной единицы ландшафтного районирования морских мелководий (Петров, 2020; 2021).

Подводный ландшафт береговой зоны моря (ПЛБЗ) — относительно однородный участок береговой зоны, качественно отличающийся от соседних участков своей структурой, т. е. с однотипным геологическим строением, рельефом, грунтами, гидроклиматом (температурой, соленостью, течениями, волновыми процессами) и с однотипными группировками гидробионтов.

ПЛБЗ — наименьшая исходная таксономическая единица ландшафтного районирования, он не пересекается с границами таксонов более высокого ранга, относится к одной природной зоне, лежит в пределах верхнего пояса шельфа, ограничена одной региональной морфоструктурой.

Каждый подводный ландшафт характеризуется своеобразным сочетанием внутриландшафтных природных комплексов (фаций, угодий), представляющих собой биотопы донных биоценозов. ПЛБЗ охватывают прибрежную сушу, подверженную воздействию прибоя — супралитораль, заливаемую во время прилива — литораль, и морское дно до глубины, где воздействие волновых процессов затухает и освещенность недостаточна для формирования сообществ макрофитов — сублитораль (верхний пояс шельфа). Глубже ПЛБЗ сменяются ландшафтами элиторальной зоны (среднего пояса шельфа).

К природным факторам, обуславливающим богатство и разнообразие ландшафтов морских мелководий, относятся: связь гидрологических условий с метеорологическим режимом атмосферы, выраженный сезонный ритм природных процессов; подвижность вод, контролирующая процессы абразии, литодинамики и аккумуляции осадков, а также способствующая хорошей аэрации, притоку питательных веществ и разносу зачатков организмов; проникновение солнечной радиации, поддерживающей фотосинтез фитопланктона и фитобентоса; разгрузка речного стока, вызывающая сильную изменчивость солености морских вод, их обогащение биогенными и органическими веществами (твердый сток принимает основное участие в питании вдоль берегового потока наносов); большое видовое разнообразие и богатство жизненных форм, способствующих высокой плотности заселения всевозможных экологических ниш; влияние плейстоценовой регрессии, с которой связаны реликтовые формы рельефа и фации донных отложений, разорванные ареалы организмов, и влияние голоценовой трансгрессии, определяющей молодость подводных ландшафтов.

Концепция подводного ландшафта предполагает, что:

- ландшафт морского дна обособляется на участке земной коры, имеющем в общем одинаковое геологическое строение;

- как правило, он связан с развитием одной региональной морфоструктуры;

- каждому ландшафту свойственен определенный набор литологических разностей современных донных отложений или выходов коренных пород, контролирующих характер скульптурных микро- и мезоформ подводного рельефа;

- подводная освещенность, температура и волновые процессы изменяются с глубиной, что обуславливает вертикальное подразделение береговой зоны;

- разнообразие форм рельефа, грунтов, гидрологических обстановок определяют пестроту биотопов и, соответственно, разнообразие донных биоценозов.

Всё это служит основанием для выделения системы морфологических единиц внутриландшафтной дифференциации.

Донные природные комплексы (ДПК), связанные с характерными формами рельефа, грунтами и группировками гидробионтов, как правило, обладают своеобразным внешним видом, поэтому в ландшафтоведении они получили название морфологических единиц внутриландшафтного подразделения.

Основными единицами горизонтального подразделения являются *фация* и *угодье*.

*Подводная фация* — наименьший элементарный ДПК. Она представляет конкретный биотоп, связанный с одной формой микрорельефа или одним элементом мезорельефа (вершина, склон, подножье банки), и расположена в определенном интервале глубин. Фация сложена одной литологической разностью современных осадков или приурочена к однородному по вещественному составу, выходу горных пород и занята одним биоценозом. Комплекс фаций образует подводное угодье.

*Подводное угодье* — это ДПК, связанный с определенной мезоформой рельефа, обладающий хорошо выраженными границами. Дифференцированное развитие локальных структур определяет формирование уголдий двух типов. На структурах, испытывающих поднятие, происходит размытие дна, и формируются угодья абразионно-скульптурного типа: вдоль берегов идет пояс скал, вдали от берега подводные банки и рифы. У структур, испытывающих опускание, происходит седиментационное выравнивание дна и формирование уголдий аккумулятивного типа. На участках активной литодинамики подводные угодья представлены береговыми валами, подводными косами и т. п.

Важным экологическим фактором названных уголдий являются свойства грунта. Хорошо известны сообщества гидробионтов-обрастателей, связанных с каменистыми грунтами, и сообщества организмов, закапывающихся в рыхлый грунт, в облике которых находят отражение приспособительные признаки, обусловленные образом жизни на разных типах грунта.

**Вертикальная дифференциация** морских мелководий отражает высоту воздействия прибоя, ритмику приливо-отливных явлений, ослабление волнения и угасание подводной освещенности с глубиной. Под влиянием названных факторов находятся вся совокупность экологических условий, определяющих распределение донных биоценозов. Батиметрический профиль является основой сопряженного ряда ДПК. Закономерной смене с глубиной подвержены и фации, и угодья, и целые ландшафты.

Главными единицами подразделения ПЛБЗ по глубине являются вертикальные зоны:

*супралитораль*, *литораль* (*псевдолитораль*), *сублитораль*.

Следующая единица, на которую зоны делятся по вертикали, называется этажом. В супралиторали этажи отражают высоту воздействия прибоя, в литорали — ритмы прилива и отлива, в сублиторали — ослабление воздействия волн на дно и угасание подводной освещенности. Иногда внутри этажей выделяются ступени, отличающиеся по составу донных биоценозов. Величина интервалов вертикальных подразделений меняется с глубиной от сантиметров до единиц и десятков метров, в целом система единиц вертикального подразделения ПЛБЗ напоминает пружину, сжатую в начале и растянутую на конце.

Представление о морфологических единицах занимает особое место в учении о подводных ландшафтах. Именно они являются непосредственным объектом морских и подводных исследований и картирования. В результате анализа закономерных пространственных сочетаний морфологических единиц выделяются и сами ландшафты.

#### **Программа комплексного изучения ландшафтов береговой зоны моря**

Программа комплексного изучения ландшафтов береговой зоны моря предполагает решение следующих задач:

1. Выявить особенности морфоструктурного строения берегов, характер дифференцированных новейших и современных тектонических движений; отметить морфоструктуры, определяющие рельеф побережья, размер и форму морского бассейна; показать линии активных новейших дислокаций, влияющих на формирование берегов продольного и поперечного типа.

2. Раскрыть влияние колебаний уровня Мирового океана и внутренних морей в плейстоцене и голоцене на формирование современного рельефа дна морских мелководий; определить элементы рельефа берегов и подводного берегового склона абразионного и аккумулятивного типов; отметить участки с активным и отмершим клифом, глубину пояса скал и роль материкового стока в формировании его нижней границы; охарактеризовать особенности биотопа скал и камней и связанных с ним жизненных форм гидробионтов; определить элементы рельефа берегов и подводного берегового склона аккумулятивного типа; отметить роль волновых процессов в сортировке наносов на подводном склоне, а также вдоль берегового потока наносов в формировании подводных береговых валов и других форм аккумулятивного рельефа; охарактеризовать особенности биотопов подвижных песчаных наносов и песчано-илистых аккумулятивных равнин и связанных с ними жизненных форм гидробионтов.

3. Оценить экологическую роль гидрологических условий в районе исследований; определить солёность морских вод, выделить солоновато-водные акватории с солёностью ниже

границы Книповича; раскрыть температурный режим морских мелководий; отметить глубину слоя скачка; изучить морские течения, отметив места апвеллинга и даунвеллинга; определить местный режим приливов и отливов и интенсивность ветрового волнения.

4. Осуществить комплексное изучение береговой зоны и шельфа, используя современные методы дистанционного зондирования, морских и подводных исследований; опираясь на морфоструктурные геоморфологические и гидрологические особенности, провести границы подводных ландшафтов, и картировать их морфологическую структуру; охарактеризовать подводные угодья и фации-доминанты; отметить их положение в системе единиц вертикального подразделения морского дна.

5. Определить место подводных-ландшафтов в системе единиц морфоструктурного, зонального и вертикального районирования; определить ареал ландшафтов-аналогов.

Выполнение ландшафтно-биомических исследований береговой зоны и шельфа по предложенной программе обеспечит единообразие работ и сравнимость полученных результатов.

#### **Заключение**

1. Океанология изучает аналитические закономерности развития отдельных компонентов океаносферы.

2. География изучает: иерархическую систему природных территориальных комплексов, формирующихся в процессе взаимодействия компонентов геосфер; принципы природной регионализации; ландшафты, как основные исходные единицы районирования и объекты непосредственных экспедиционных исследований.

3. Успешное комплексное изучение, освоение и охрана природных ресурсов береговой зоны и шельфа Мирового океана требуют использование как аналитических океанологических, так и комплексных географических методов исследования.

## **СОДЕРЖАНИЕ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА, МЕТАНА И МЕТАЛЛОВ (ВАНАДИЯ, НИКЕЛЯ, МОЛИБДЕНА) В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ ПО ПРОФИЛЯМ УСТЬЕВЫХ УЧАСТКОВ РЕК ДОН И МИУС**

DOI: [10.31618/nas.2413-5291.2023.2.86.686](https://doi.org/10.31618/nas.2413-5291.2023.2.86.686)

*Хорошевская Виктория Олеговна*

### **ВВЕДЕНИЕ**

В водах р. Дон преобладает растворенный органический углерод, сток которого практически не меняется на протяжении XX – начала XXI вв. Межгодовая динамика стока растворенного органического углерода находится в прямой зависимости от водного стока рек; стока взвешенного органического углерода – от твердого стока. Твердый сток существенно сократился после строительства гидротехнических сооружений на р.

### **Список литературы**

Гурьянова Е. Ф. Теоретические основы составления карт подводных ландшафтов // Сб.: Вопросы биостратиграфии континентальных толщ. Тр. 3 сессии Всесоюзного палеонтологического о-ва. – М.: «Госгеолтехиздат», 1959. – С. 35-48.

Гурьева З. И., Петров К. М., Шарков В. В. Аэрофотометоды геолого-геоморфологического исследования внутреннего шельфа и берегов морей. Атлас аннотированных аэрофотоснимков. – Л., «Недра», 1976. – 227 с.

Зенкевич Л. А. Общая характеристика биогеоценозов океана и сравнение их с биогеоценозами суши // Программа и методика изучения биогеоценозов водной среды. – М., 1970.

Петров К. М. Подводные ландшафты: теория, методы исследования. – Ленинград: «Наука»: Ленинградское отделение, 1989. – 124 с.

Петров К. М. Бионимия океана: учебное пособие. – СПб.: Изд-во С.-Петербург. ун-та, 2004. – 242 с.

Петров К. М. Биогеография океана. – М.: Изд-во Академический проект, 2008. – 328 с.

Петров К. М. Принципы бионимического районирования береговой зоны и шельфа Мирового океана. – СПб: Океанология, 2020. – Т. 60. – № 3. – С. 381 – 392.

Петров К. М. Концепция подводного ландшафта. – СПб: Известия РГО, 2020. – С. 3 – 16.

Петров К. М., Унагаев А. С. Тектоника и рельеф как ведущий фактор формирования подводных ландшафтов на мелководье Каспийского моря у Азербайджана. *Advances in Biology & Earth Sciences*. – 2021, Vol. 6, No. 2. – pp. 111 – 132.

Setchell W. A. Geographical distribution of the marine algae // *Science. N.S.* – 1917, Vol. 45, № 1157. – pp. 197 – 204.

Spalding M. D., Allen G., Fox H., and Davidson N. C., *Marine ecoregions of the World: a bioregionalization of coast and shelf areas*. – *J. BioSci.* – 2007, No. 57 (2). – pp. 573 – 583.

Petrov K. M. Detailed Zoning Of The Coastal And Shelf Areas Of Marine Coregions: A Case Study Of The Black Sea, *SCIREA Journal of Environment*. – 2022, Vol. 6, Is. 3. – pp. 20 – 33.

Дон – в 10 раз [Сорокина и др., 2006], что отразилось, главным образом, на стоке взвешенного органического углерода (в условно естественный период среднегодовой сток Дона составлял ориентировочно 100 тыс. т., после зарегулирования до 2000 гт. – 38 тыс. т.

Среди не изученных вопросов остается потери и насыщение органическим углеродом речных вод в дельтах рек. Учитывая, что в дельтах аккумулируется от 10% до 50% [Симов,

1989; Сорокина и др., 2006] речных наносов, сток взвешенного органического углерода, рассчитанный с учетом данных по твердому стоку для замыкающих гидрологических створов (151 км от устья – для Дона,) и поступающий непосредственно в море, может быть уменьшен. И напротив, уменьшение скорости течения реки, наличие большого количества высшей водной растительности, существование заводей, а также антропогенный фактор может являться дополнительным источником органического углерода в приустьевой области реки.

Исследование трансформации стока органических веществ в дельтах указанных рек является актуальной фундаментальной задачей.

**ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ**

В апреле 2015 года было произведено исследование донных отложений по профилям устьевых участков рек Дон и Миус [ГОСТ 17.1.5.01-80 Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к отбору проб донных отложений водных объектов для анализа на загрязненность (с изменением №1)]. Точки отбора проб были отмечены на карте-схеме (рис. 1).

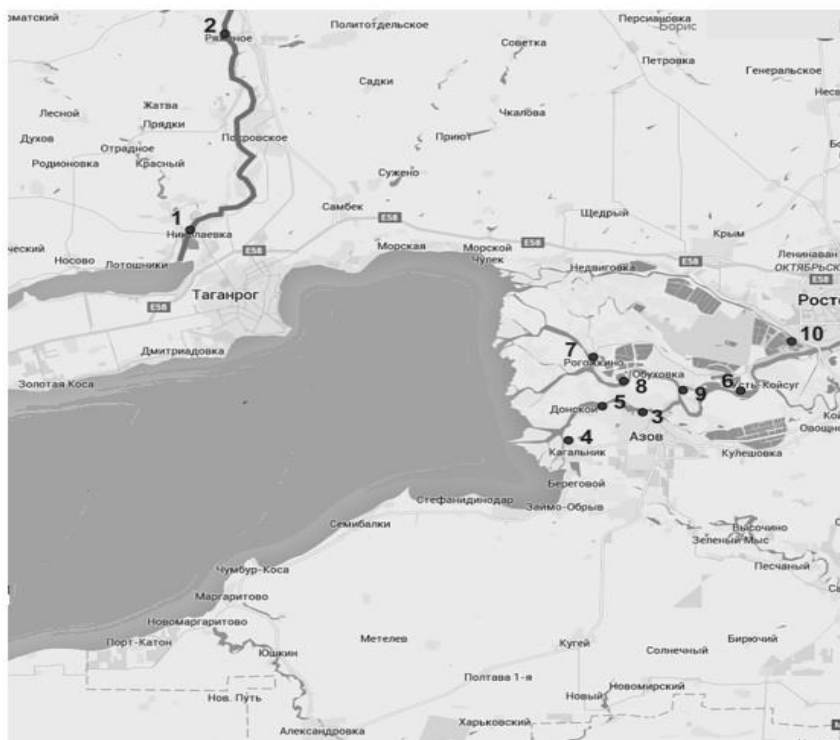


Рис. 1. Карта-схема точек отбора проб на реках Дон и Миус.

Как можно видеть из таблицы 1, содержание органического углерода варьировало от 1,24 % (точка отбора проб близ х. Донской) до 3,63 % в пересчете на с.м. (район х. Усть-Койсуг). Среднее содержание органического углерода в дельте реки Дон — 2,32 %, тогда как в пунктах

отбора проб на реке Миус несколько меньше — 2,14 %.

Был выполнен анализ содержания органического углерода донных отложений по методу И.В. Тюрина..

Таблица 1

**Результаты анализа определения органического углерода в донных отложениях (проб грунта 1-10) апрель 2015г.**

№ пробы	Органический углерод, % с.м.
1	1.81
2	2.47
3	2.41
4	2.24
5	1.24
6	3.63
7	1.83
8	2.06
9	2.39
10	2.81

Таблица 2

**Результаты анализа определения метана в донных отложениях (проб грунта 1-10) апрель 2015г.**

№ пробы	Метан, мкг/г
1	0,01
2	0,02
3	6,15
4	0,23
5	5,18
6	8,57
7	0,02
8	3,04
9	23,6
10	0,25

Установлена слабая корреляционная связь между органическим веществом и фракцией крупного алеврита ( $r = 0,44$ ), что может свидетельствовать о его почвенном генезисе и

слабая корреляционная связь метана с перлитовой фракцией ( $r = 0,45$ ). Корреляционная связь между содержанием органического вещества и метана в дельте очень слабая ( $r = 0,16$ ).

Таблица 3

**Гранулометрический состав в донных отложениях (проб грунта 1-10) апрель 2015г.**

№ пробы	Песок	Крупный алеврит	Мелкий алеврит	Пелит
	> 0.1 мм	0.1 – 0.05 мм	0.05 – 0.01 мм	<0.01 мм
	%	%	%	%
1	63	2	5	10
2	10	23	33	34
3	11	32	46	11
4	9	35	46	10
5	38	14	27	21
6	32	30	30	8
7	30	27	31	12
8	11	29	28	30
9	26	28	34	11
10	15	20	40	25

установлена слабая корреляционная связь между органическим веществом и фракцией крупного алеврита ( $r = 0,44$ ), что может свидетельствовать о его почвенном генезисе

Также были проведено исследование содержания V, Ni и Mo в донных отложениях.

Таблица 4

**Распределение содержания ванадия, никеля и молибдена по профилям устьевых участков рек Дон и Миус, 2015 год. Полученные результаты представлены в таблице 4.**

№ точки отбора	Ванадий, мкг/г	Никель, мкг/г	Молибден, мкг/г
1	9,4	19	0,73
2	13,3	34	0,95
3	10,6	15	0,56
4	11,2	12	0,57
5	8,5	13	0,43
6	9,6	14	0,46
7	11,6	19	0,6
8	12,1	21	0,46
9	13,5	20	0,66
10	11,7	21	0,61

По данным таблицы 4 был построен ряд графиков, представленный ниже.



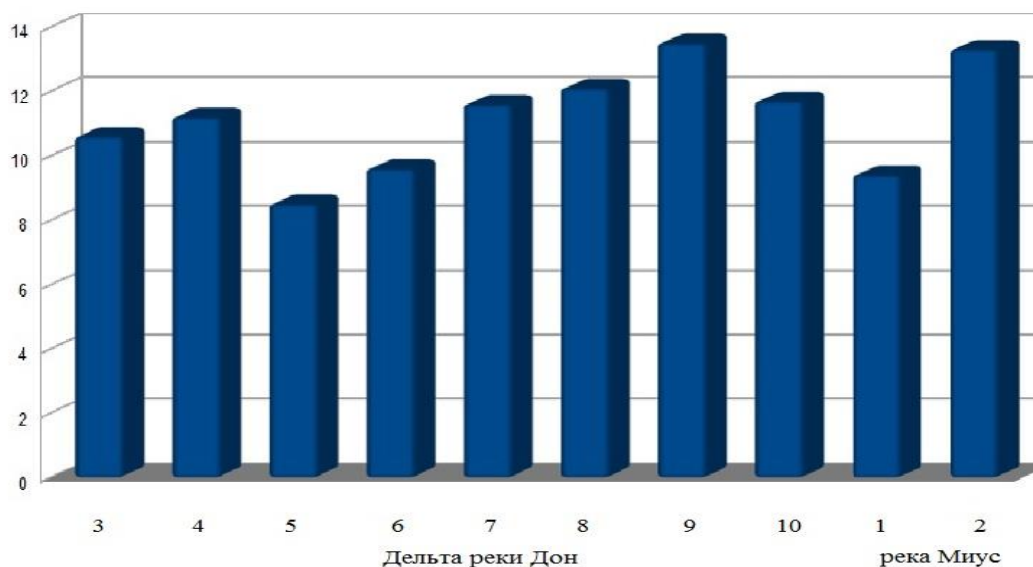


Рис. 2. Пространственное распределение ванадия по профилям устьевых участков рек Дон и Миус, 2015 г.

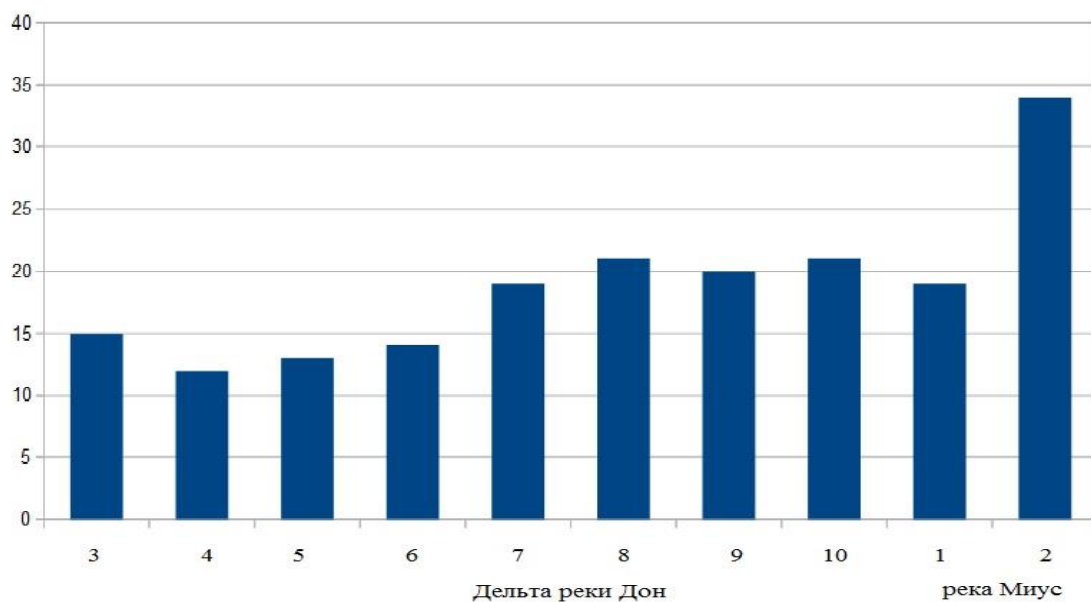


Рис. 3. Пространственное распределение никеля по профилям устьевых участков рек Дон и Миус, 2015 г.

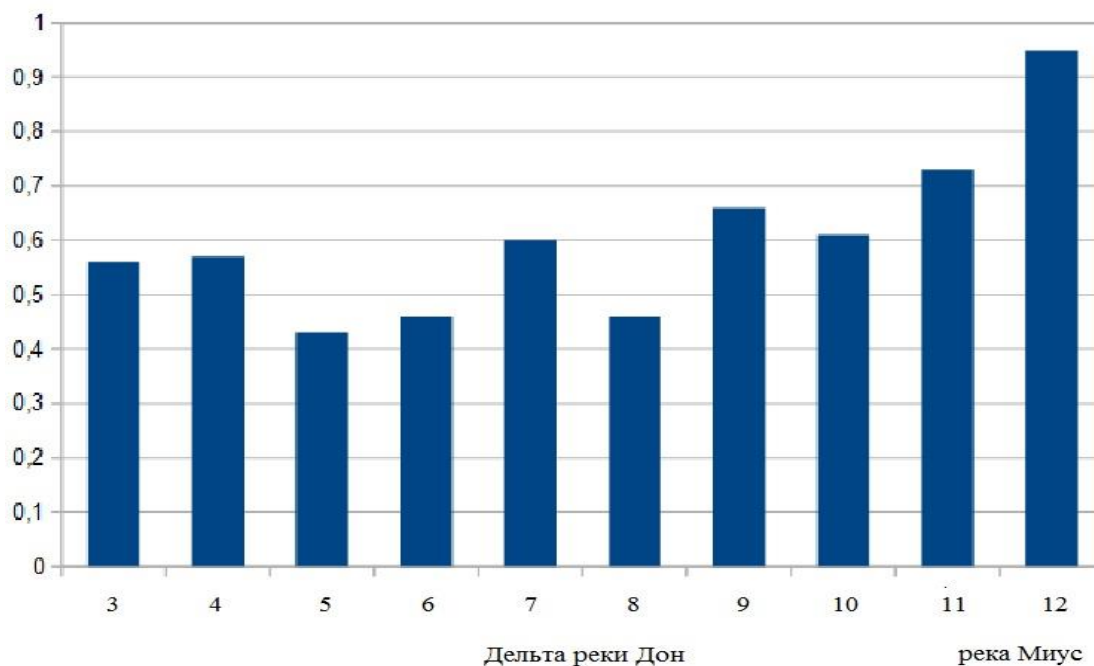


Рис. 4. Пространственное распределение молибдена по профилям устьевых участков рек Дон и Миус, 2015 г.

Корреляция содержания ванадия, никеля и молибдена с органическим углеродом в донных отложениях устьевых участков изучаемых рек выявлена крайне слабая  $r = 0,1, 0,04$  и  $0,12$  соответственно. Это объясняется тем, что, хотя содержание органического углерода в донных осадках изучаемого района достаточно велико — от 1,24 до 3,36 %, в среднем 2,32 %, но органическое вещество здесь генетически связано с почвами [В.Е. Артемьев, 1993, В.О. Хорошевская, 2010, В.О. Хорошевская, 2012]. Выявлена очень слабая связь между содержанием метана и металлами ( $r = 0,14$ ), причем для ванадия она выше ( $r = 0,26$ ), что может свидетельствовать об их связи с фитопланктоном.

Между содержанием ванадия и никеля в донных отложениях устьевых участков рек Дон и Миус была выявлена связь со средней корреляцией ( $r = 0,67$ ), что подтверждает гипотезу о существовании устойчивых ванадиево-никелевых комплексов органического вещества. Между содержанием ванадия, никеля и молибденом подобной связи не выявлено.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

- Установлена слабая корреляционная связь между органическим веществом и фракцией крупного алеврита ( $r = 0,44$ ), что может свидетельствовать о его почвенном генезисе и слабая корреляционная связь метана с перлитовой фракцией ( $r = 0,45$ ). Корреляционная связь между содержанием органического вещества и метана в дельте очень слабая ( $r = 0,16$ ).

- Содержание ванадия, никеля и молибдена в устьевых участках рек Приазовья (дельта Дона и Миус) значительно ниже кларков для осадочных пород (глина и сланцы, 130 мкг/г, 95 мкг/г, 2,0 мкг/г соответственно).

- Тенденции к накоплению ванадия, никеля и молибдена в донных отложениях устьевых участков рр. Дон и Миус не обнаружено (по результатам данных 2012-2015 гг).

- Корреляция между содержанием ванадия, никеля и молибдена с органическим углеродом в донных отложениях устьевых участков изучаемых рек не выявлена. Это объясняется тем, что хотя содержание органического углерода в донных осадках изучаемого района достаточно велико — от 1,24 до 3,36 %, в среднем 2,32 %, но органическое вещество здесь генетически связано с почвами [В.Е. Артемьев, 1993, В.О. Хорошевская 2010, В.О. Хорошевская 2012].

- Выявлена очень слабая связь между содержанием метана и металлами ( $r = 0,14$ ), причем для ванадия она выше ( $r = 0,26$ ), что может свидетельствовать об их связи с фитопланктоном.

- В донных отложениях дельты р. Дон и Миус выявлена корреляционная связь между содержанием ванадия и никеля. Это связь со средней корреляцией (0,67).

- поступающий с взвесью в дельту р. Дон ванадий подвергается десорбции из донных отложений в устьевой зоне геохимического барьера (от 2%) и в растворенной форме выносится в Таганрогский залив, где происходит его поглощение фитопланктоном в вегетационный период.

#### Список литературы

##### Нормативные документы:

ГОСТ 17.1.5.01-80 Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к отбору проб донных отложений водных объектов для анализа на

загрязненность (с изменением №1). - М.: Госстандарт СССР, 1980.

**Научные работы:**

1. Артемьев В.Е. «Геохимия органического вещества в системе река-море», М.: Наука, 1993. — 204 с.

2. Симов В.Г. Гидрология устьев рек Азовского моря. – М.: Моск. отделение Гидрометеоздата, 1989. – 327 с.

3. Сорокина В.В., Ивлиева О.В., Лурье П.М. Динамика стока на устьевых участках рек дон и Кубань во второй половине XX века. // Вестник

Южного научного центра РАН – 2006. – Т.2, №2. – С. 58-67.

4. Хорошевская В.О., «Изменение содержания органического вещества в устьевых областях рек и в барьерной зоне Таганрогского залива под влиянием климатических флуктуаций на водосборе северного Приазовья» // «Метеорология и гидрология», 2012. №6.

5. Хорошевская В.О., Закономерности формирования и распределения метана в прибрежных водах Азово-Черноморского бассейна (диссертация на соискание ученой степени кандидата географических наук), 2010.

## ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 697.7

### ЭФФЕКТИВНОСТЬ И ЭКОНОМИЧНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ГОРЕЛОК ИНФРАКРАСНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ДЛЯ ОБОГРЕВА ПРОМЫШЛЕННЫХ ЗДАНИЙ В УСЛОВИЯХ СИБИРИ

*Зубова<sup>1</sup> Н.В.<sup>21</sup>*

*Научный руководитель А.И. Авласевич<sup>1,2</sup>*

*Кандидат технических наук, доцент*

*Сибирский федеральный университет*

*Инженерно-строительный институт*

#### АННОТАЦИЯ

Для Сибири в зимний период года характерны продолжительные низкие температуры наружного воздуха, поэтому большое значение для поддержания комфортных условий на рабочих местах имеют системы отопления. Системы тепло-обеспечения, используемые в настоящее время характеризуются значительным физическим износом и большими теплопотерями в тепловых сетях. Данные системы становятся неэффективными для предприятия, в связи с тем, что требуют частое обслуживание и больших затрат на ремонт с течением времени. Из-за повышенных требований к надежности и больших площадей промышленных зданий, тепло-обеспечение таких зданий является дорогостоящим и трудоемким. Вследствие этого очень трудно подобрать обогреватель, соответствующий всем предъявляемым требованиям. В данной работе исследованы возможности применения инфракрасных излучателей для обогрева промышленных зданий в регионах Сибири на примере г. Красноярск. В процессе исследования были выявлены преимущества и недостатки систем отопления промышленных зданий. На условном примере промышленного здания для климатических условий города Красноярска, проведены численные исследования применения электрических и газовых инфракрасных обогревателей. Из полученных результатов были сделаны выводы о энергетической и экономической эффективности применения газовых инфракрасных излучателей для поддержания допустимых параметров воздуха (обогрева помещений) промышленных зданий, расположенных на территории Сибири.

**Ключевые слова:** системы отопления, инфракрасные обогреватели, газовый инфракрасный излучатель, энергоэффективные технологии.

#### Численные исследования

На примере промышленного здания, площадь которого составляет 550 м<sup>2</sup> и высота 5 м был произведен расчет эффективности применения в системе отопления горелок инфракрасного излучения и электрических инфракрасных обогревателей. Так же были произведены сравнения по эффективности применения систем отопления с обогревателями инфракрасного излучения и систем традиционного водяного отопления.

$W = k \times S$ , (1) где  $W$  – установленная мощность, Вт;  $k$  –требуемая мощность на 1 м<sup>2</sup> в зависимости от типа и назначения здания, Вт/м<sup>2</sup>. Для зданий производственного типа принимается равным 60 Вт/м<sup>2</sup>.

$S$  – отапливаемая площадь, м<sup>2</sup> (550 м<sup>2</sup>).

Согласно (1) установленная мощность инфракрасных обогревателей составляет

$$W = 60 \times 550 = 33000 \text{ Вт} = 33 \text{ кВт.}$$

© Зубова Н.В., 2022  
В расчете примем полный обогрев помещения. Расположение (установка) приборов обогрева – потолочное. Теплопотери помещения через ограждающие конструкции, полученные в результате теплотехнического расчета для промышленного здания площадью 550 м<sup>2</sup>, составляют:

$$Q = 27372,45 \text{ Вт} = 0,027 \text{ МВт} = 0,031 \text{ Гкал/ч,}$$

Установленная мощность для инфракрасных обогревателей определяется по формуле (1).

По установленной мощности подберём электрические и газовые обогреватели. Для обогрева помещения выбираем электрические инфракрасные обогреватели фирмы Master модель ФАСТ 20 в количестве 17 шт. и газовые инфракрасные обогреватели фирмы SBM модель XFR-20 (премиум) в количестве 5 шт.

Расчет расхода электрической энергии для электрического инфракрасного обогревателя определяется по формуле (2)

$$A = 24 \times W \times N \times k_i \times \frac{t_{вн} - t_{крит}}{t_{вн} - t_{кр}} \quad (2)$$

где  $A$  - расход электроэнергии за отопительный период, кВтч;  $N$  - продолжительность отопительного периода, дни;  $k_i$  - коэфф. использования отопительной системы, для промышленных зданий равен 0,5;  $t_{вн}$  - требуемая температура воздуха в помещении равна 16°C;  $t_{ср}$  - средняя температура наружного воздуха за отопительный период равна -6,6°C; [1]  $t_{крит}$  - минимальная температура наружного воздуха, принимаемая по расчетной температуре для проектирования систем отопления г. Красноярск равна -37°C. [1]

Годовой расход электрической энергии для обогрева промышленного здания площадью 550 м<sup>2</sup> составит 38919,80 кВтч.

Годовые эксплуатационные затраты для системы отопления с применение электрического инфракрасного обогревателя определяются как,

$$Z_{годээ} = A \times T_{ээ} \quad (3)$$

где  $T_{ээ}$  - тариф на электроэнергию. В расчет примем по тарифу населения 2,71 за кВтч. Годовые эксплуатационные затраты на отопление с электрическим инфракрасным обогревателем составит:

$$Z_{годээ} = 2,71 \times 2,71 = 105\,469,94 \text{ руб./год.}$$

Расчет расхода газа для газового инфракрасного обогревателя определяется по формуле (4)

$$V_{газ} = 24 \times n \times b_{газ} \times N \times k_i \quad (4)$$

где  $n$  - количество обогревателей;  $b_{газ}$  - расход газа обогревателя в час. Для обогревателя XFR-20 равна 0,703 м<sup>3</sup>/ч; Получаем годовой расход используемого топлива составит 9 870,12 м<sup>3</sup>/ч.

Годовые эксплуатационные затраты для отопления с газовым инфракрасным обогревателем рассчитываются по формуле

$$Z_{годгаз} = V_{газ} \times C_{газ} \quad (5)$$

где  $C_{газ}$  - цена 1 кг м<sup>3</sup>. В расчет примем по тарифу  $C_{газ}=5,047$  руб/кг.

Следовательно, эксплуатационные затраты на отопление с газовым инфракрасным обогревателем составит 49 814,50 руб./год.

Затраты на водяную систему отопления рассчитываются по формуле  $Z_{годот} = 0,031 \times 24 \times 234 \times 1923,37 = 334851,02$  руб./год.

Результаты расчетов сведем в графическую таблицу (рис. 1), где видно, что затраты на производство водяного отопления намного выше, чем для производства отопления с инфракрасными обогревателями. Наиболее экономичным является газовый инфракрасный обогреватель.

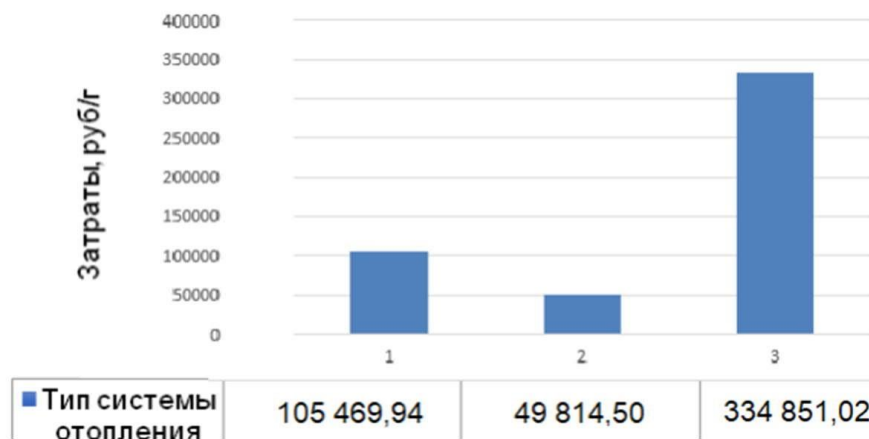


Рис.1 Результаты расчета экономической составляющей для разных типов систем отопления  
1 - система отопления с электрическим инфракрасным обогревателем; 2 система отопления с газовым инфракрасным обогревом; 3 - водяная система отопления

### Выводы

Данные исследования подтвердили тот факт, что расход теплоты сокращается при применении для системы отопления газовые инфракрасные обогреватели. Также расчетами было подтверждено, что затраты на производство тепловой энергии при использовании газовых инфракрасных обогревателей в системе отопления по сравнению с водяными системами отопления существенно сокращаются. Следует заметить, что данный эффект в большей степени зависит от тарифов на энергоресурсы для конкретного города. Если обеспечить локальный обогрев рабочей зоны

промышленного здания, то можно достичь большей экономической эффективности при применении горелок инфракрасного излучения для системы отопления.

Еще одним главным преимуществом горелок инфракрасного излучения является использование меньшей установленной мощности на единицу площади. Также у системы отопления горелками инфракрасного излучения полное КПД (92%) выше чем у традиционного водяного отопления (60-65%).

Но самое главное не стоит забывать, что для системы отопления с газовыми инфракрасными обогревателями требуется обязательное наличие

приточно-вытяжной системы вентиляции с газоанализаторами внутреннего воздуха, которая должна обеспечивать необходимый воздухообмен и снизить концентрацию вредных веществ в воздухе от попадающих в помещение продуктов сгорания газа.

#### Список литературы

Куриленко Н.И., Максимов В.И., Мамонтов Г.Я., Нагорнова Т.А. Тепловой режим производственных помещений с системами отопления на базе газовых инфракрасных излучателей. Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2013г., 101с.

Пелипенко В.Н., Спесарев Д.Ю. Газовые горелки инфракрасного излучения: учеб. пособие Тольятти: изд-во ТГУ, 2012г., 118с

СП 131.13330.2020 Строительная климатология. –Введ. 25.06.2021 Москва: Минрегион России, 2021.

Шелехов И.Ю., Шишелова Т.И., Иноземцев В.П., Пожидаев В.В. Эффективная конструкция нагревательного элемента для инфракрасного обогрева // Известия вузов. Инвестиции. Строительство.

Недвижимость. 2016. № 3 (18). С. 118–124.

УДК546.185:325.002.2

### ПОЛУЧЕНИЕ ЧИСТОГО $\alpha$ - ПОЛУГИДРАТА СУЛЬФАТА КАЛЬЦИЯ ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ В ПОЛУГИДРАТНОЙ СТАДИИ ПОЛУЧЕНИЯ ЭКСТРАКЦИОННОЙ ФОСФОРНОЙ КИСЛОТЫ ДИГИДРАТНО-ПОЛУГИДРАТНЫМ МЕТОДОМ ИЗ БЕДНЫХ ФОСФОРИТОВ

*Соболева И.В., Ляшенко С.Е.*

*Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева, Москва, Россия, 125047 Москва, Миусская пл., 9,*

### PRODUCTION OF THE PURE $\alpha$ - CALCIUM SEMIHYDRATE FOR CONSTRUCTION INDUSTRY AT THE SEMIHYDRATE STAGE OF EXTRACTION PHOSPHORIC ACID PRODUCTION BY THE DIHYDRATE-SEMIHYDRATE METHOD FROM POOR PHOSPHORITES

*Soboleva I.V., Liashenko S.E.*

*Mendeleev University of Chemical Technology of Russia (MUCTR), 1250479, Miusskaya sq., Moscow, Russia, DOI: 10.31618/nas.2413-5291.2023.2.86.691*

#### АННОТАЦИЯ

Рассмотрен процесс получения чистого  $\alpha$  - полуhydrата сульфата кальция во второй стадии получения фосфорной кислоты дигидратно-полуhydrатным методом из бедных фосфоритов. Проведены эксперименты по кинетике полуhydrатной стадии. Разработана математическая модель, основанная на кинетике процессов. Оптимизирована полуhydrатная стадия получения фосфорной кислоты.

#### SUMMARY

The process of pure calcium semihydrate obtaining at the second stage of phosphoric acid production by dihydrate-semihydrate method from poor phosphorites was examined. Experiments on the kinetics of the semihydrate stage were carried out. Mathematical model based on the processes kinetics was developed. The semihydrate stage of phosphoric acid production was optimized.

**Ключевые слова:** полуhydrат сульфата кальция, фосфорная кислота, дигидрат сульфата кальция, математическое моделирование, оптимизация

**Key words:** calcium sulfate semihydrate, phosphoric acid, calcium sulfate dihydrate, , mathematical modeling, optimization.

#### Введение

В мировой практике широко используются в сельском хозяйстве минеральные фосфорсодержащие удобрения [1,2]. В России основным сырьем для их получения до последнего времени были кольские апатиты, запасы которых значительно уменьшились в последнее время. Поэтому все больше начинают использоваться фосфориты, которые имеют много нежелательных примесей.

В данной работе рассматривается новый комбинированный метод получения фосфорной кислоты, при этом на выходе получается чистый  $\alpha$  - полуhydrат, который не хранится в отвалах, а

используется далее в строительстве в качестве вяжущего материала [3,4]. Применение побочного продукта производства фосфорных удобрений приводит к рациональному и экологически безопасному использованию природных ресурсов.

Для фосфоритов еще не внедрены в широкую практику комбинированные методы, так как нет достаточно фундаментальных исследований по разложению сырья, кристаллизации и перекристаллизации сульфата кальция различной гидратности при разных концентрациях и температурах. Поэтому изучение данных областей приобретает большое значение.

**Цель исследования**

С помощью предложенного в данной работе дигидратно-полугидратного процесса (ДПП) получить на выходе чистый  $\alpha$  - полугидрат, который можно далее применять в строительстве в качестве вяжущего материала [3,4].

При этом образуется более концентрированная фосфорная кислота по сравнению с используемым в настоящее время дигидратным способом [5]. При этом не требуется большое количество энергии на упаривание фосфорной кислоты низкой концентрации.

Следовательно, изучение процесса получения фосфорной кислоты дигидратно-полугидратным методом без промежуточной фильтрации, исследование кинетики процессов и разработка кинетических математических моделей основных процессов ДПП представляют значительный интерес.

**Экспериментальная часть и моделирование**

*Экспериментальная часть*

В предыдущей работе [6] были получены экспериментальные данные по дигидратной стадии получения экстракционной фосфорной кислоты (ЭФК) из фосфоритов в лаборатории с использованием бедных руды бассейна Каратау (Казахстан). Были получены математические модели периодических процессов растворения фосфоритов и кристаллизации дигидрата сульфата кальция (ДСК). С помощью математического моделирования также были определены величины кинетических параметров и определены некоторые зависимости, описывающие дигидратную стадию процесса.

Что касается полугидратной стадии процесса получения ЭФК, то в качестве исходного сырья также были взяты бедные фосфориты бассейна Каратау. Лабораторные эксперименты проводились по стандартным методикам, касающимся кинетики полугидратной стадии ДПП, а также согласно методикам проведения анализов [2], [7,8].

В процессе первичной кристаллизации дигидрата сульфата кальция (ДСК) на первую стадию идет только часть от стехеометрической нормы серной кислоты. На второй стадии перекристаллизация ДСК в полугидрат сульфата кальция (ПСК) проходит при повышении концентрации  $SO_3$ ,  $P_2O_5$  и температуры в пульпе за счет подачи оставшейся до нормы серной кислоты, она поступает в начало полугидратной стадии. Одновременно с этим высвобождается часть  $P_2O_5$ , захваченная осадком ДСК, а также происходит доразложение сырья [8-10].

Эксперименты по полугидратной стадии проходили в лабораторном реакторе периодического действия. При проведении анализов и определении времени фильтрования применяли методики, использующиеся в технологиях получения ЭФК. Брали фосфориты Каратау следующего состава: %:  $P_2O_5$ -24,5, CaO - 38,9, MgO - 4,7, F -2,4, прочие - 21,5. В данной работе определяли влияние количества серной кислоты, идущей на вторую стадию, концентрации оборотной фосфорной кислоты на первой стадии, а также температуры на показатели полугидратного процесса.

Таким образом, в реактор перекристаллизации добавляют определенный объем серной кислоты с целью получения небольшого её избытка в жидкой среде. При полугидратной стадии происходит кристаллизация ПСК и перекристаллизация образовавшегося на первой стадии ДСК в ПСК. Продолжительность второй стадии 3,5 - 4 ч. Далее пульпу фильтруют и промывают.

*Моделирование*

Для разработки математической модели полугидратной стадии использовали модель идеального смешения.

При описании процесса перекристаллизации дигидрата сульфата кальция (ДСК) в полугидрат сульфата кальция (ПСК) мы предположили (это проверялось при экспериментальных исследованиях), что перекристаллизация идет, в основном, через жидкую фазу, а рост кристаллов ПСК происходит в кинетической области. Математическая модель полугидратной стадии включает математическое исследование процесса растворения кристаллов ДСК, при этом происходит одновременное образование кристаллов ПСК из раствора. Математическое описание представляет собой уравнения баланса числа частиц ДСК и числа частиц ПСК, которые для быстроты расчетов выражаются через первые три момента плотности их функции распределения. Была получена система уравнений, представленная ниже:

$$\frac{d\mu_0^d}{dt} = -I_{zap}^d \quad (1)$$

$$\frac{d\mu_1^d}{dt} = -\lambda\mu_0^d \quad (2)$$

$$\frac{d\mu_2^d}{dt} = -2\lambda\mu_1^d \quad (3)$$

$$\frac{d\mu_3^d}{dt} = -3\lambda\mu_2^d \quad (4)$$

$$\frac{d\mu_0^n}{dt} = I_{zap}^n \quad (5)$$

$$\frac{d\mu_1^n}{dt} = \eta\mu_0^n \quad (6)$$

$$\frac{d\mu_2^n}{dt} = \eta\mu_1^n \quad (7)$$

$$\frac{d\mu_3^n}{dt} = \eta\mu_2^n \quad (8)$$

Где  $I_{zap}^d$  - скорость зародышеобразования кристаллов ДСК;

$I_{zap}^n$  - скорость зародышеобразования кристаллов ПСК;

$\mu_i^d$  - i-ый момент функции распределения ДСК ( $i=0, \dots, 3$ );

$\mu_i^n$  - i-ый момент функции распределения числа частиц ПСК ( $i=0, \dots, 3$ );

$\lambda$  – скорость растворения ДСК;

$\eta$  – скорость образования ПСК.

Математическое описание также включает уравнения изменения концентраций компонентов раствора и его плотности.

Уравнение изменения концентрации  $\text{SO}_3$  в растворе (масс.%)

$$\rho_1 \frac{dC_1}{d\tau} = -C_1 \frac{d\rho_1}{d\tau} + \frac{M_1}{M_4} J_1 - \frac{M_1}{M_4} J_2 \quad (9)$$

где  $\rho_1$  - плотность раствора;  $C_1$  - концентрация  $\text{SO}_3$  в растворе (масс.%) ;

$M_1$  - молекулярная масса  $\text{SO}_3$ ;  $M_4$  - молекулярная масса  $\text{CaSO}_4$ ;

$J_1, J_2$  - суммарные интенсивности растворения ДСК и кристаллизации ПСК соответственно.

Уравнение изменения концентрации  $\text{P}_2\text{O}_5$  в растворе (масс.%)

$$\rho_1 \frac{dC_2}{d\tau} = -C_2 \frac{d\rho_1}{d\tau} \quad (10)$$

Где  $C_2$  - концентрации  $\text{P}_2\text{O}_5$  в растворе. Концентрация  $\text{P}_2\text{O}_5$  в растворе меняется только за счет изменения плотности раствора.

Уравнение изменения концентрации  $\text{CaO}$  в растворе (масс.%)

$$\rho_1 \frac{dC_3}{d\tau} = -C_3 \frac{d\rho_1}{d\tau} + \frac{M_3}{M_4} J_1 - \frac{M_3}{M_4} J_2 \quad (11)$$

Где  $C_3$  - концентрация  $\text{CaO}$  в растворе;  $M_3$  - молекулярная масса  $\text{CaO}$ ;

$M_4$  - молекулярная масса  $\text{CaSO}_4$  в растворе. В уравнении баланса  $\text{CaO}$  приход сульфата кальция в раствор определяется интенсивностью двух конкурирующих процессов: растворения ДСК  $J_1$  и кристаллизацией ПСК из раствора  $J_2$ .

Уравнение изменения плотности раствора:

$$\frac{d\rho_1}{d\tau} = \frac{M_5}{M_4} J_1 - \frac{M_6}{M_4} J_2 \quad (12)$$

Где  $M_5$  - молекулярная масса ДСК;  $M_6$  - молекулярная масса ПСК.

Суммарную интенсивность растворения ДСК и кристаллизации ПСК можно записать в виде:

$$J_1 = \rho_2^0 3\lambda \mu_2^d + \rho_2^0 r_{\text{зар}}^d I_{\text{зар}}^d$$

$$J_2 = \rho_2^0 3\eta \mu_2^p + \rho_2^0 r_{\text{зар}}^p I_{\text{зар}}^p$$

где  $J_1$  представляет собой общую интенсивность растворения кристаллов ДСК,

$J_2$  - это общая интенсивность кристаллизации частиц ПСК,  $r_{\text{зар}}^d$  - радиус зародыша дигидрата сульфата кальция,  $\rho_2^0$  - плотность сульфата кальция,

$r_{\text{зар}}^p$  - радиус зародыша полугидрата сульфата кальция.

Зависимости, характеризующие скорости растворения ДСК, зародышеобразования и роста кристаллов ПСК представлены ниже:

$$I_{\text{зар}}^d = \kappa_1 (C_s^d - C_{\text{CaSO}_4})^2 \quad (13)$$

$$I_{\text{зар}}^p = \kappa_2 (C_{\text{CaSO}_4} - C_s^p)^2 \quad (14)$$

$$\lambda = \kappa_3 (C_s^d - C_{\text{CaSO}_4}) \quad (15)$$

$$\eta = \kappa_4 (C_{\text{CaSO}_4} - C_s^p) \quad (16)$$

Где  $\kappa_1, \kappa_2, \kappa_3, \kappa_4$  - кинетические константы;  $C_{\text{CaSO}_4}$  - концентрация сульфата кальция в растворе;  $C_s^d$  - равновесная концентрация дигидрата сульфата кальция в растворе;  $C_s^p$  - равновесная концентрация полугидрата сульфата кальция в растворе.

Математическая модель полугидратной стадии периодического ДПП состоит из уравнений (1)-(12) и выражений (13)-(16). Уравнения были решены методом конечных разностей с первым порядком аппроксимации по  $l$  и  $\tau$ . Полученная схема абсолютно устойчива. Кинетические константы полугидратного процесса находились методом случайного поиска.

#### Результаты исследования и их обсуждение

Были найдены нижеприведенные значения кинетических параметров:

$$\kappa_1 = 0,166 \cdot 10^{25} \text{ 1/м}^3\text{с}, \kappa_2 = 0,833 \cdot 10^{23} \text{ 1/м}^3\text{с}, \kappa_3 = 0,666 \cdot 10^{-14} \text{ м/с},$$

$$\kappa_4 = 0,999 \cdot 10^{-14} \text{ м/с}.$$

Получено хорошее согласие между экспериментальными и расчетными данными. Математическая модель адекватно представляет процесс перекристаллизации ДСК в ПСК.

В табл. 1 даны экспериментальные и расчетные данные по варьированию концентраций  $\text{P}_2\text{O}_5$ ,  $\text{SO}_3$  и  $\text{CaO}$  в растворе с течением времени при температуре  $83^\circ\text{C}$ . Колебания содержания компонентов жидкой фазы подтверждают допущение, сделанное в этой работе, что процесс перекристаллизации идет в основном через жидкую среду.



Табл. 1

№ экс-та	$\tau$ , мин	Расчетные значения, %			Экспериментальные значения, %		
		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	SO <sub>3</sub>	CaO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	SO <sub>3</sub>	CaO
1	0,0	31,2	1,73	0,000	-	-	-
	5,0	31,6	2,84	0,807	31,65	2,93	0,500
	15,0	31,6	1,80	0,302	31,70	1,60	0,294
	30,0	31,3	2,70	0,707	31,15	1,95	0,678
	75,0	31,2	2,19	0,502	—	-	0,572
	120,0	31,2	2,00	0,752	—	2,16	0,765
	150,0	31,2	1,98	0,297	31,92	1,29	0,618
	180,0	-	-	-	31,96	1,16	0,296
	210,0	31,2	1,97	0,194	32,00	0,80	0,334
2	0,0	29,03	12,30	0,000	-	-	-
	5,0	29,06	12,98	0,652	29,00	12,30	0,672
	15,0	29,00	11,97	0,537	28,40	12,63	0,553
	30,0	29,30	12,92	0,595	29,20	11,55	0,501
	60,0	-	-	-	29,20	12,78	0,485
	90,0	-	-	-	30,60	11,23	0,252
	120,0	29,56	12,57	0,275	29,90	11,08	0,300
	150,0	29,30	10,55	0,465	29,10	10,06	0,594
	180,0	-	-	-	28,94	8,81	0,182
210,0	29,56	10,50	0,292	29,74	7,75	0,360	

В табл.2 показано влияние концентрации серной кислоты вначале полугидратной стадии на степень перекристаллизации (N) в конце эксперимента при температуре 95°C. Рассматривая табл.2 можно сделать вывод, что чем больше

начальная концентрация серной кислоты на полугидратной стадии, тем больше степень пересыщения раствора по ПСК и, таким образом, процесс перекристаллизации происходит более интенсивно.

Табл. 2

Расчетные данные, %			Экспериментальные данные, %		
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	SO <sub>3</sub>	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	SO <sub>3</sub>	N
31,2	1,73	57,15	31,50	1,80	55,0
31,2	2,60	66,53	31,67	2,90	65,0
31,2	3,60	82,35	31,70	3,50	80,0

Где N - степень перекристаллизации.

В табл. 3 приведены теоретические (по модели) и экспериментальные данные зависимости степени перекристаллизации от температуры на полугидратной стадии. Из табл. 3 видно, что чем

больше температура на полугидратной стадии, тем выше равновесная концентрация ДСК и, таким образом, больше движущая сила растворения ДСК и выше степень перекристаллизации ДСК в ПСК.

Табл. 3

T, °C	Расчет, %			Эксперимент, %		
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	SO <sub>3</sub>	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	SO <sub>3</sub>	N
83,0	31,2	1,73	9,15	31,10	3,28	10,0
92,0	-	-	-	31,50	3,15	45,0
95,0	31,2	1,73	57,15	31,50	1,80	55,0

Где N - степень перекристаллизации.

Исходя из информации, представленной в табл. 2-3 можно заключить, что непрерывный полугидратный процесс необходимо проводить при содержании SO<sub>3</sub> в жидкой фазе приблизительно 5 - 7 % и температуре около 95 - 97 °C на второй стадии.

#### Выводы

Проведены экспериментальные исследования, которые подтвердили предположение, что фазовый переход ДСК в ПСК происходит через жидкую фазу.

На основе экспериментов по кинетике перекристаллизации ДСК в ПСК была получена математическая модель полугидратной стадии ДПП. В модели учитываются главные физико-химические закономерности процесса перекристаллизации. Это помогает при расчетах скоростей процессов: растворения ДСК, зародышеобразования и роста кристаллов ПСК из раствора, а также позволяет оценить степень перекристаллизации ДСК в ПСК.

Таким образом, в предыдущей [6] и в данной работах была исследована кинетика получения ЭФК дигидратно-полугидратным методом без промежуточной фильтрации из бедных фосфоритов и получены математические модели обеих стадий в периодических условиях. Это позволит в дальнейшем разработать технологическую схему проведения непрерывного ДПП, а также с помощью математического моделирования найти оптимальные характеристики, при которых возможно получить максимальный коэффициент извлечения на дигидратной стадии и максимальную степень

перекристаллизации ДСК в ПСК на полугидратной стадии.

#### Список литературы

1. Жантасов К.Т., Бажирова К.Н., Толтебаева З.Д., Жантасова Д.М., Петропавловский И.А., Почиталкина И.А. Современное состояние, проблемы и перспективы развития фосфорной отрасли Казахстана//Химическая промышленность сегодня. 2013.№ 5. С. 4-6
2. Петропавловский И.А., Дмитриевский Б.А., Левин Б.В., Почиталкина И.А. Технология минеральных удобрений.- Санкт-Петербург: Проспект наук. 2018. С. 312
3. Koltsova E.M., Petropavlovskij I.A., Soboleva I.V., Gensa A.V., Vasilenko V.A. Waste Utilization and Power Conservation in industrial P2O5 production on the basis of mathematical modelling methods// CHISA 1999 PRESS'99, Prague, 1999, с. 389-3944. Сари М., Применение в строительстве сульфата кальция, улучшение его свойств//Цемент и его применение. 2009. Вып. 2. С.12-14
5. Soboleva I.V., Koltsova E.M., Investigation of reaction kinetics for industrial dihydrate method of P2O5 production. CHISA 2006 - 17th International Congress of Chemical and Process Engineering, Prague, том 1
6. Соболева И.В., Ляшенко С.Е., Изучение дигидратной стадии процесса получения экстракционной фосфорной кислоты дигидратно-полугидратным методом из бедных фосфоритов//Химическая технология.2022.№ 1 Петропавловский И.А., Почиталкина И.А., Киселев В.Г., Петропавловская Н.Н., Бестереков

У., Назарбек У.Б. Разложение природных фосфатов  
солянофосфорнокислотными  
растворами// Химический Журнал Казахстана.

8. Мырзахметова Б.Б., Бестереков  
У.Б., Петропавловский И.А., Почиталкина

И.А., Киселев В.Г. Кинетические закономерности  
разложения низкосортных фосфоритов  
жидкофазным методом в условиях рецикла  
маточного раствора //Химическая  
промышленность сегодня. 2012. № 5. С. 6-9

# ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 539.3

## КИНЕТИКА ТРЕЩИН В ПОЛИМЕРАХ И КОМПОЗИТАХ НА ИХ ОСНОВЕ ПРИ МЕХАНИЧЕСКИХ И ТЕПЛОВЫХ НАГРУЗКАХ

**Валишин А.А.**

*Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, Москва. Российский технологический университет – МИРЭА (Институт тонких химических технологий имени М.В. Ломоносова), Москва.*

**Джемесюк И.А.**

*Российский технологический университет – МИРЭА (Институт тонких химических технологий имени М.В. Ломоносова), Москва.*

**Карташов Э.М.**

*Российский технологический университет – МИРЭА (Институт тонких химических технологий имени М.В. Ломоносова), Москва*

## KINETIC CHARACTERISTICS OF CRACKS IN POLYMERS AND COMPOSITES BASED ON THEM UNDER MECHANICAL AND THERMAL LOADS

**Anatoliy A. Valishin**

*Moscow Technical University named after N. Baumann. Russian Technological University – MIREA (MV Lomonosov Institute of Fine Chemical Technologies), Moscow*

**Irina A. Dzhemesyuk**

*Russian Technological University – MIREA (MV Lomonosov Institute of Fine Chemical Technologies), Moscow*

**Eduard M. Kartashov**

*Russian Technological University – MIREA (MV Lomonosov Institute of Fine Chemical Technologies), Moscow*

DOI: [10.31618/nas.2413-5291.2023.2.86.692](https://doi.org/10.31618/nas.2413-5291.2023.2.86.692)

### АННОТАЦИЯ

Представлены теоретические соотношения важных кинетических характеристик для хрупких полимеров с трещинами при механических и тепловых воздействиях, лежащие в основе исследования термокинетики процесса разрушения полимеров в терминах теории временной зависимости прочности-долговечности. Рассмотрены трещины прямолинейные (внутренние и поверхностные) в образцах типа пластины и внутренние круговые (дискообразные) в полимерных волокнах. Рассмотрены последовательно два режима испытаний: постоянное напряжение растяжения, постоянная абсолютная температура, неменяющаяся структура, инактивная среда, а также более сложный режим чисто теплового нагружения – случай, наименее разработанный в теории разрушения. Приведены расчетные соотношения ряда предельных характеристик и параметров процесса разрушения: безопасное и критическое напряжение; начальная длина микротрещины и ее относительная критическая длина; безопасное и критическое напряжение; локальное напряжение в вершине трещины (во флуктуационном объеме); величина свободной поверхностной энергии. Приведенные соотношения являются основой для развития теории временной зависимости прочности – долговечности. Сформулированы перспективы для дальнейшего развития соответствующих теорий с учетом релаксационных процессов в полимерах, а также их химического строения и надмолекулярной организации.

### ABSTRACT

Theoretical relationships of important kinetic characteristics for brittle polymers with cracks under mechanical and thermal influences are presented, which underlie the study of the thermokinetics of the process of polymer destruction in terms of the theory of the time dependence of strength-durability. Straight (internal and surface) cracks in plate-type specimens and internal circular (disc-shaped) cracks in polymer fibers are considered. Two test modes are considered sequentially: constant tensile stress, constant absolute temperature, unchanging structure, inactive medium, as well as a more complex mode of purely thermal loading - the case least developed in the theory of fracture. Calculated ratios of a number of limiting characteristics and parameters of the destruction process are given: safe and critical stress; the initial length of a microcrack and its relative critical length; safe and critical voltage; local stress at the crack tip (in the fluctuation volume); the amount of free surface energy. The above relations are the basis for the development of the theory of time dependence of strength-durability. Prospects are formulated for the further development of the corresponding theories, taking into account relaxation processes in polymers, as well as their chemical structure and supramolecular organization.

**Ключевые слова:** хрупкие полимеры; трещины разрушения; кинетические характеристики прочности; долговечность.

**Key words:** brittle polymers; fracture cracks; kinetic characteristics of strength; durability.

### Введение

Современные конструкционные и функциональные полимерные материалы, представляющие собой совокупность микро- или наноструктурных элементов, называются структурно-чувствительными материалами [1]. Их создание на основе нанотехнологий – важное направление развития современного материаловедения. Структурно-чувствительные материалы, получаемые различными методами (компактированием нанопорошков, осаждением на подложку, кристаллизацией аморфных сплавов и прочее) обладают уникальными механическими и теплофизическими свойствами, позволяющими их использовать в конструкциях, подверженных разнообразным внешним воздействиям. Важным этапом в создании и использовании указанных материалов является разработка соответствующих математических моделей для описания их поведения в широком диапазоне изменения внешних эксплуатационных факторов. Несмотря на достигнутые успехи в этой области [2-5], общая методология построения таких моделей еще далека от завершения. В первую очередь это относится к моделям, описывающим термокинетику процесса разрушения твердых тел (в частности твердых хрупких полимеров) при их испытании на долговечность. Основная трудность в разработке таких моделей заключается в необходимости математически описать взаимное влияние макро- и микростадий процесса разрушения, определить основные параметры и предельные характеристики процесса разрушения, установить связь между молекулярными константами, характеризующими структуру материалов с одной стороны и макроскопическими характеристиками прочности с другой, и, наконец, развить методику расчета долговечности образца в тех или иных условиях испытаний. Здесь уместно заметить, что традиционный подход к инженерной оценке механической работоспособности (то есть прочностных свойств) полимерных материалов предполагает проведение испытаний образца на растяжение или сжатие (или кручение) вплоть до разрушения. Напряжение, при котором происходит разрушение, и является мерой прочности полимерных тел. Но при этом не учитывается временной фактор, то есть конечное время жизни материалов при действии напряжения, меньшего предела прочности. По видимому, более целесообразно задаваться не напряжением, при котором должна работать конструкция, а временем ее жизни, то есть долговечностью  $\tau = \tau(\sigma, T)$  [2,3] и из этого соотношения рассчитывать то напряжение, которое может выдержать данная конструкция в течение заданного промежутка времени (при температуре испытания  $T$ ). Поясняющим эту точку зрения является тот факт, что в реальных полимерных материалах имеются микродефекты (трещины), которые являются ответственными за преждевременное разрушение.

После приложения нагрузки, превышающей безопасную (напряжение)  $\sigma_0$ , разрушение полимеров происходит путем роста одной, реже нескольких, наиболее опасных трещин от начальной длины  $l_0$  до некоторой критической длины  $l_k$ , при которой происходит атермическая (быстрая) стадия процесса разрушения с критической скоростью  $v_k$ , величина которой определяется скоростью распространения упругого возмущения в твердом теле (в результате чего происходит потеря несущей способности детали или конструкции). Для органических полимеров  $v_k = (5 - 8) \cdot 10^2$  м/с, для полиметилметакрилата (ПММА)  $v_k = (700 - 800)$  м/с, для неорганического стекла  $v_k = 2000$  м/с [2]. Для оценки этой величины может быть использована формула Робертса-Уэллса [2]

$$v_k = 0.38 \sqrt{E/\rho}, \quad (1)$$

где  $E$  – модуль Юнга материала,  $\rho$  – плотность. В процессе роста трещины разрушение материала локализовано в малой окрестности ее вершины  $V_a$  (флуктуационный объем), где локальные напряжения  $\sigma^*$ , активирующие процесс разрыва напряженных связей (химических или межмолекулярных) значительно превышают напряжения в остальном объеме образца. Нахождение расчетных инженерных соотношений указанных кинетических характеристик для хрупких полимеров – одна из важнейших задач полимерного материаловедения [6]. Этим вопросам, собственно, и посвящена настоящая публикация. Ее цель – систематизировать важнейшие кинетические характеристики хрупких полимеров с трещинами при механических и тепловых воздействиях.

### Идеологическая схема исследования

Регистрация субмикроскопических трещин дифракционными методами позволила в реальных полимерах установить их размеры (продольные и поперечные), форму (в виде разреза в образцах типа пластины, круговые дискообразные – в полимерных волокнах), положение в образце (поверхностные, внутренние). Для интерпретации трещины в рамках механических моделей (рассматриваемых ниже) обосновывающим экспериментальным результатом являются весьма малые размеры начальных микротрещин  $l_0$  при ширине (или диаметре) образца  $L$  в несколько миллиметров, которые составляют для ПММА –  $1700 \text{ \AA}$ , поливинилбутирала –  $3000 \text{ \AA}$ , полиэтилена –  $170 \text{ \AA}$ , полипропилена –  $320 \text{ \AA}$ , поливинилхлорида –  $3000 \text{ \AA}$ , капрона –  $90 \text{ \AA}$ . К этому следует добавить данные фрактографических исследований поверхности разрушения полимеров о независимости критической длины  $l_k$  от величины поперечного сечения образца, которое менялось более, чем в 100 раз [3]. Во всех случаях трещины разрушения растут из дефекта начальной длины  $l_0$

вдоль нормали к направлению максимального растягивающего напряжения, и для характеристики трещины (учитывая, что раскрытие трещины мало по сравнению с ее продольными размерами) применимо соотношение

$$\lambda \ll l_0 \leq l(\tau) \leq l_k \ll L, 0 \leq \tau \leq \tau_\phi, \quad (2)$$

где  $\lambda$  – флуктуационное продвижение трещины при разрыве одной или группы связей (для органических полимеров  $\lambda = 12A^\circ$ ),  $\tau_\phi(\sigma, T)$  долговечность на флуктуационной стадии при росте трещины от начальной до критической длины. На основании (2) образец в виде пластины (или цилиндрического штабика) интерпретируется как упругая плоскость  $(x, y)$  с внутренней трещиной  $|x| < l_0, y = 0$ , или как упругая полуплоскость  $x > 0, |y| < \infty$  с поверхностной трещиной  $0 < x < l_0, y = 0$ , или как упругое пространство  $(x, y, z)$  с внутренней круговой осесимметричной трещиной  $z = 0, 0 \leq r < R_0$ .

В математической модели термокинетики процесса разрушения в конкретных случаях нагружения полимерного образца важная роль отводится аналитической формуле скорости роста трещины как функции текущей длины  $l(t)$ , поля напряжений  $\sigma^*$  в области дефекта  $V_a$ , температуры  $T_e(l, t)$  в вершине трещины и молекулярных констант, характеризующих структуру полимера, а также элементарный акт разрыва напряженных связей:

$$V = V(l; \sigma^*; T_b; V_a; U; \dots), \quad (3)$$

где  $U = U_0 - qT_b$  – энергия активации процесса разрушения, линейно уменьшающаяся с повышением температуры,  $U_0$  – энергия активации процесса разрыва, экстраполированная к абсолютному нулю;  $q$  – коэффициент температурной зависимости энергии активации (для полимерных органических стекол  $q \sim (15 - 20)$  Дж/мольК);  $\sigma_0^*$  – термофлуктуационный порог разрушения (безопасное перенапряжение в вершине трещины). Флуктуационный объем – важная молекулярно-структурная характеристика полимеров – рассчитывается на основании предположений о строении полимеров и механизма их разрушения [4]:  $V_a = \lambda \lambda_\pi \lambda_m$ . где  $\lambda_\pi$  – элементарный периметр фронта трещины, состоящий из одной или нескольких связей, одновременно охваченных флуктуацией;  $\lambda_m$  – предразрывное удлинение связи. Для неориентируемых полимеров  $V_a = 6\lambda_0^2 \lambda_m = 1.4 \cdot 10^{-28} \text{ м}^3$  (например, полимерные стекла, образованные линейными полимерами),  $V_a = \lambda_0^2 \lambda_m = 2.4 \cdot 10^{-29} \text{ м}^3$  для ориентированных (волокна); ( $\lambda_m = 1.5A^\circ, \lambda_0 = 4A^\circ$  – среднее межмолекулярное расстояние в полимере). Локальное напряжение в (3)  $\sigma^* = \varphi(\sigma, \beta, l, \dots)$  – одна из важнейших локально-кинетических характеристик прочности. Величина  $\sigma^*$  зависит от приложенного к образцу (внешнего) напряжения  $\sigma$ ,

коэффициента концентрации напряжения  $\beta$  в вершине трещины, играющего исключительно важную роль в исследовании дефектности материалов, текущей длины трещины  $l(t)$ , геометрии образца, конфигурации трещины и ее расположении в образце (поверхностная или внутренняя); величина  $\sigma^*$  рассчитывается методами механики хрупкого разрушения на основе решения краевых задач математической теории трещин. Рассчитанные значения величины  $\sigma^*$  при механических и тепловых нагрузках позволяют записать ряд предельных характеристик и параметров хрупких полимеров с трещинами в общей картине термокинетики процесса разрушения. Для напряжений  $\sigma$ , не слишком близких к безопасному и не превышающих критические  $\sigma_0 < \sigma < \sigma_k$ , вероятность восстановления связей в вершине трещины пренебрежимо мала по сравнению с вероятностью их разрыва, и средняя скорость роста трещины исходя из ее молекулярной модели [2,4] может быть записана в следующем виде

$$V(l, \sigma^*, T_b, \dots) = \lambda v_0 \exp \left[ -\frac{(U - V_a \sigma^*)}{k T_b(l, t)} \right], \quad (4)$$

где  $v_0$  – частота тепловых колебаний кинетических единиц, участвующих в разрыве и восстановлении связей ( $v_0 \sim 10^{-13} \text{ с}^{-1}$ );  $k$  – постоянная Больцмана. Долговечность  $\tau = \tau(\sigma, T)$  ( $T$  – температура испытания, в общем случае отличная от температуры в вершине трещины  $T_b$ ) образца в виде пластины шириной  $L$  складывается из времен процесса разрыва на первой (флуктуационной) стадии  $\tau_\phi(\sigma, T)$  при росте трещины со скоростью (3) от начальной длины  $l_0$  до критической  $l_k$  и второй (атермической)  $\tau_k$  с предельной скоростью  $v_k$  (1)

$$\tau = \tau_\phi + \tau_k = \int_{l_0}^{l_k} \frac{dl}{V(l, \sigma^*, T_b, \dots)} + \frac{L - l_k}{v_k}. \quad (5)$$

#### Обобщенное соотношение для коэффициентов интенсивности напряжений при механических и тепловых нагрузках

Как указывалось, разрушение хрупких полимеров локализовано в малой окрестности вершины трещины (в объеме  $V_a$ ) и для нахождения в (1) локального напряжения  $\sigma^*$  необходимо привлечь методы математической теории трещин. Это позволит изучить асимптотическое распределение напряжений вблизи вершины трещины (как разреза в однородном и упругом изотропном континууме). Рассмотрим напряженно-деформируемое состояние в окрестности вершины трещины  $|x| < l, y = 0$  в упругой плоскости  $(x, y)$  при заданных произвольных нагрузках, действующих на берегах трещины и постоянных нагрузках на бесконечности. Одновременно имеет место термонапряженное состояние, вызванное стационарным потоком теплоты, параллельным плоскости симметрии образца. При плоском растяжении распределение напряжений в

окрестности вершины трещины по Ирвину имеет вид [7]:

$$\begin{cases} \sigma_{xx} = \frac{K_1}{\sqrt{2r}} \cos \frac{\theta}{2} (1 + \sin \frac{\theta}{2} \sin \frac{3\theta}{2}) + \frac{K_2}{\sqrt{2r}} \sin \frac{\theta}{2} \cos \frac{\theta}{2} \cos \frac{3\theta}{2}, \\ \sigma_{yy} = \frac{K_1}{\sqrt{2r}} \cos \frac{\theta}{2} (1 - \sin \frac{\theta}{2} \sin \frac{3\theta}{2}) - \frac{K_2}{\sqrt{2r}} \sin \frac{\theta}{2} (2 + \cos \frac{\theta}{2} \cos \frac{3\theta}{2}), \\ \sigma_{xy} = \frac{K_1}{\sqrt{2r}} \sin \frac{\theta}{2} \cos \frac{\theta}{2} \cos \frac{3\theta}{2} + \frac{K_2}{\sqrt{2r}} \cos \frac{\theta}{2} (1 - \sin \frac{\theta}{2} \sin \frac{3\theta}{2}), \end{cases} \quad (6)$$

где  $(r, \theta)$  – полярные координаты с полюсом в вершине трещины;  $K_1, K_2$  – коэффициенты интенсивности напряжений, которые находятся из решения задачи теории упругости как функции нагрузки и параметров, характеризующих конфигурацию тела, форму трещины, расположение ее в образце, а также упругих и теплофизических постоянных материала. Как следует из (6), величины  $K_1$  и  $K_2$  представляют собой асимптотику компонент напряжения в окрестности вершины трещины, т.е., в конечном счете, локальные напряжения  $\sigma^*$  в соотношении (3). Соответствующая задача в частных случаях рассматривалась в [8]: постоянное напряжение растяжения, изотермические условия нагружения, отсутствие нагрузок на бесконечности; ряд частных случаев при (только) тепловых нагрузках рассматривался в [9]. В данном случае предлагается вывод обобщенного соотношения для коэффициентов интенсивности напряжений при наличии спектра механических и тепловых нагрузок на берегах трещины и вне ее. Развивается самостоятельный подход, основанный на комплексных потенциалах Мусхелишвили [10] и, как оказалось, весьма эффективным для указанного случая достаточно сложной задачи математической теории трещин.

Сформулируем задачу в напряжениях, используя известные соотношения для плоских статических задач термоупругости [11]. Задача заключается в определении коэффициентов интенсивности напряжений в асимптотическом поведении тензора напряжений  $\sigma_{ij}(x, y)$  в (6) при  $z \rightarrow \pm l (z = x + iy)$  на основе решения уравнений равновесия

$$\frac{\partial \sigma_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_{xy}}{\partial y} = 0; \frac{\partial \sigma_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_{yy}}{\partial y} = 0 \quad (7)$$

совместности

$$\Delta(\sigma_{xx} + \sigma_{yy}) = -\frac{2\beta_T G}{(\chi-1)(\lambda^*+2G)} \Delta T(x, y) = 0; \quad (8)$$

связи напряжений и перемещений

$$\begin{cases} \sigma_{xx} = \lambda^* e + 2G \frac{\partial u}{\partial x} - \beta_T (\chi - 1) T(x, y) \\ \sigma_{yy} = \lambda^* e + 2G \frac{\partial v}{\partial y} - \beta_T (\chi - 1) T(x, y) \\ \sigma_{xy} = G \left( \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right), \left( e = \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \right) \end{cases} \quad (9)$$

$$\sigma_{xx} = \lambda^* e' + 2G \partial U' / \partial x, \sigma_{xy} = G(\partial U' / \partial y + \partial V' / \partial x),$$

в области  $D \setminus B$ , где  $D = (|x, y| < \infty)$ ,  $B = (|x| < l, y = 0)$ . Здесь  $U(x, y), V(x, y)$  – компоненты вектора перемещения;  $\lambda^* = \nu E (1 - \nu^2), \beta_T = 2\alpha E (1 + \nu)^{-1} \chi = (3 - \nu) / (1 + \nu)$  – для плосконапряженного состояния;  $\lambda^* = \nu E / [(1 + \nu)(1 - 2\nu)], \beta_T = 2\alpha E, \chi(3 - 4\nu)$  – для плоской деформации;  $\nu$  – коэффициент Пуассона,  $E$  – модуль Юнга,  $\alpha$  – коэффициент линейного теплового расширения,  $G = E / [2(1 + \nu)]$ ; температурная функция  $T(x, y)$  удовлетворяет уравнению Лапласа  $\Delta T(x, y) = 0$  в области  $D \setminus B$  с разрывными граничными условиями на линии  $|x| < l, y = 0$  (на верхнем и нижнем ее берегах). На берегах трещины (при  $|x| < l, y = 0$ ) и на бесконечности заданы компоненты напряжений  $\sigma_{xx}^\pm(x, 0), \sigma_{xy}^\pm(x, 0), \sigma_{yy}^\pm(x, 0)$  и  $\sigma_{xy}^\infty = const, \sigma_{yy}^\infty = const$ ; граничные условия на берегах трещины запишем в виде

$$\begin{cases} 2p(x) = (\sigma_{yy}^+ + \sigma_{yy}^-) - i(\sigma_{xy}^+ + \sigma_{xy}^-), \\ 2q(x) = (\sigma_{yy}^+ - \sigma_{yy}^-) - i(\sigma_{xy}^+ - \sigma_{xy}^-), \\ |x| < l, y = 0, \end{cases} \quad (10)$$

где  $p(x)$  и  $q(x)$  – заданные (по условиям задачи) функции, удовлетворяющие условию Гельдера при  $|x| < l$ . Здесь знак (+) относится к верхнему берегу трещины ( $y \rightarrow 0+, |x| < l$ ), знак (-) – к нижнему берегу трещины ( $y \rightarrow 0-, |x| < l$ ). Пусть  $F(z)$  – аналитическая функция комплексного переменного  $z = x + iy$  с действительной частью  $T(x, y): F(z) = T(x, y) + iW(x, y)$ , где  $W(x, y)$  – функция, сопряженная с  $T(x, y)$  и определяемая с точностью до произвольной постоянной соотношением:  $W(x, y) = \int_{M_0, M} (\partial T / \partial n) ds$ . С помощью тождественных преобразований

$$\begin{aligned} U &= U' + \beta_T U^* / 2(\lambda^* + G)(\chi - 1), \\ V &= V' + \beta_T V^* / 2(\lambda^* + G)(\chi - 1), \\ U^* + iV^* &= \int F(z) dz \end{aligned} \quad (11)$$

уравнения закона Гука в (9) приводятся к виду, не содержащему  $T(x, y)$ :

$$\sigma_{yy} = \lambda^* e' + 2G\partial V'/\partial y, (e' = \partial U'/\partial x + \partial V'/\partial y). (12)$$

Таким образом, при определении ( $\sigma_{xx}, \sigma_{xy}, \sigma_{yy}$ ) в условиях изотермической плоской задачи теории упругости могут быть использованы известные соотношения теории функция комплексного переменного [10], принимающие с учетом (11) следующий вид:

$$\sigma_{xx} + \sigma_{yy} = 4 \operatorname{Re}[\Phi(z)], (13)$$

$$\sigma_{yy} - i\sigma_{xy} = \Phi(z) + \Omega(\bar{z}) + (z - \bar{z})\bar{\Phi}'(z), (\bar{z} = x - iy), (14)$$

$$2G(U' + iV') = \chi\varphi(z) - \omega(\bar{z}) - (z - \bar{z})\bar{\Phi}(z) + \beta^*\theta(z). (15)$$

Здесь  $\Phi(z)$  и  $\Omega(z)$  – комплексные потенциалы Мусхелишвили

$$\varphi(z) = \int \Phi(z)dz; \omega(\bar{z}) = \int \Omega(\bar{z})d\bar{z}; \theta(z) = \int F(z)dz;$$

$\beta^* = \alpha E/(1 + \nu)$  – для плосконапряженного состояния и  $\beta^* = \alpha E$  – для плоской деформации. Из (13) и (6) следует, что в малой окрестности левой и правой вершин трещины имеют место, соответственно, соотношения [12]:

для правой вершины

$$K_1^+ - iK_2^+ = 2\sqrt{2} \lim_{z \rightarrow l} \sqrt{z-l} \Phi(z), (16)$$

для левой вершины

$$K_1^- - iK_2^- = -i2\sqrt{2} \lim_{z \rightarrow -l} \sqrt{z+l} \Phi(z). (17)$$

$$Q(z) = \frac{1}{\sqrt{z+l}} \times \left\{ \frac{1}{2\pi i} \int_{-l}^{+l} \frac{X(t)p(t)}{t-z} dt + \frac{\sqrt{z^2-l^2}}{2\pi i} \int_{-l}^{+l} \frac{q(t)}{t-z} dt + (c_0 z + c_1) - \frac{\sqrt{z^2-l^2}}{4(\sigma_{yy}^{(\infty)} - \sigma_{xx}^{(\infty)} - 2i\sigma_{xy}^{(\infty)})^{-1}} \right\}. (22)$$

В соответствии с (16) и (22) находим для правой вершины трещины:

$$K_1^+ - iK_2^+ = \frac{2}{\sqrt{l}} \left[ \frac{1}{2\pi i} \int_{-l}^{+l} p(t) \frac{\sqrt{t^2-l^2}}{t-l} dt + c_0 l + c_1 \right]. (23)$$

При больших  $|z|$  потенциал  $\Phi(z)$  имеет вид [10]:

$$\Phi(z) = \Gamma + (X + iY)/2\pi(1 + \chi)z + O(1/z^2), (24)$$

где  $(X, Y)$  – главный вектор внешних усилий, приложенных к берегам трещины;  $\Gamma = (\sigma_{yy}^{(\infty)} + \sigma_{xx}^{(\infty)})/4$ . Из (18) и (24) следует при  $|z| \rightarrow \infty$ :  $c_0 = (\sigma_{yy}^{(\infty)} - i\sigma_{xy}^{(\infty)})/2$ . Коэффициент  $c_1$  находится из условий однозначности перемещений. На основании (15) это условие заключается в том, что выражение  $\chi\varphi(z) - \omega(\bar{z}) -$

Из соотношений (16) и (17) следует, что коэффициенты интенсивности напряжений определяются достаточно быстро после нахождения комплексного потенциала  $\Phi(z)$  Мусхелишвили получены следующие выражения для комплексных потенциалов  $\Phi(z)$  и  $\Omega(z)$  при растяжении упругой плоскости с разрезом  $|x| < l, y = 0$ :

$$\Phi(z) = \Phi_0(z) + P(z)/X(z) - \bar{\Gamma}'/2, (18)$$

$$\Omega(z) = \Omega_0(z) + P(z)/X(z) + \bar{\Gamma}'/2, (19)$$

где

$$\Phi_0(z) = \frac{1}{2\pi i X(z)} \int_{-l}^{+l} \frac{X(t)p(t)}{t-z} dt + \frac{1}{2\pi i} \int_{-l}^{+l} \frac{q(t)}{t-z} dt, (20)$$

$$\Omega_0(z) = \frac{1}{2\pi i X(z)} \int_{-l}^{+l} \frac{X(t)p(t)}{t-z} dt - \frac{1}{2\pi i} \int_{-l}^{+l} \frac{q(t)}{t-z} dt. (21)$$

Здесь  $P(z) = c_0 z + c_1$  – многочлен первой степени с неопределенными (комплексными в общем случае) коэффициентами, которые подлежат нахождению;  $\bar{\Gamma}' = (\sigma_{yy}^{(\infty)} - \sigma_{xx}^{(\infty)})/2 - i\sigma_{xy}^{(\infty)}$  (предполагается, что на бесконечности напряжения ограничены);  $X(z) = \sqrt{z^2 - l^2}$  – функция Племеля, причем выбирается та ее ветвь, для которой  $X(z)/z \rightarrow 1$  при  $|z| \rightarrow \infty$ ;  $X(z)$  – значение этой ветви на верхнем берегу трещины, так что  $X^+(x) = X(x)$  и  $X^-(x) = -X^+(x) = -X(x)$ . Выражение (18) перепишем в виде  $\Phi(z) = Q(z)/\sqrt{z-l}$ , где

$\beta^*\theta(z)$  должно возвратиться к своему первоначальному значению, когда точка  $z$  описывает замкнутый контур  $L$ , охватывающий трещину. Стягивая контур  $L$  к  $L$  (где  $L$  – контур, состоящий из нижнего и верхнего берегов трещины) находим условие:



$$2(\chi + 1) \int_{-l}^{+l} \frac{c_0 x + c_1}{\sqrt{x^2 - l^2}} dx + \chi \int_{-l}^{+l} [\Phi_0^+(x) - \Phi_0^-(x)] dx +$$

$$+ \int_{-l}^{+l} [\Omega_0^+(x) - \Omega_0^-(x)] dx + \beta^* \int_{-l}^{+l} [T^+(x) - T^-(x)] dx +$$

$$+ i \int_{-l}^{+l} [W^+(x) - W^-(x)] dx = 0, \quad (25)$$

которое представляет собой алгебраическое уравнение относительно  $c_1$  (здесь  $T(x) = T(x, 0); W(x) = W(x, 0)$ ). Используя (20), (21) и равенство

$$\int_{-l}^{+l} [W^+(x) - W^-(x)] dx = - \int_{-l}^{+l} (l - x) \left( \frac{\partial T^+}{\partial y} - \frac{\partial T^-}{\partial y} \right) dx, \quad (26)$$

которое следует из определения функции  $W(x, y)$  через  $T(x, y)$ , получим:

$$c_1 = - \left[ i(\chi - 1) \int_{-l}^{+l} q(x) dx + i\beta^* \int_{-l}^{+l} [T^+(x) - T^-(x)] dx + \right.$$

$$\left. + \beta^* \int_{-l}^{+l} (l - x) (\partial T^+ / \partial y - \partial T^- / \partial y) dx \right] / 2\pi(\chi + 1).$$

Аналогичным образом могут быть проведены рассуждения и для левой вершины трещины. Окончательный результат имеет следующий вид:

$$K_1^\pm - iK_2^\pm = - \frac{1}{\pi\sqrt{l}} \left\{ \int_{-l}^{+l} \sqrt{\frac{l \mp x}{l \mp x}} p(x) dx \pm i \frac{\chi - 1}{\chi + 1} \int_{-l}^{+l} q(x) dx - [\sigma_{yy}^{(\infty)} - i\sigma_{xy}^{(\infty)}] \pi l \right\} \mp$$

$$\mp \frac{\beta^*}{\pi(\chi + 1)\sqrt{l}} \left\{ \int_{-l}^{+l} (l - x) \left( \frac{\partial T^+}{\partial y} - \frac{\partial T^-}{\partial y} \right)_{y=0} dx \pm i \int_{-l}^{+l} [T^+(x) - T^-(x)] dx \right\}. \quad (27)$$

Здесь  $\beta^* = \alpha E / (1 + \nu)$  и  $\beta^* = \alpha E$  соответственно для плосконапряженного состояния и плоской деформации;  $(\partial T / \partial y)_{y=0}^\pm, T^\pm(x)$  – соответственно тепловой поток и температура на берегах трещины; знак (+) слева относится к правой вершине трещины, знак (-) – к левой. При изотермических условиях нагружения (в (27) следует положить  $T = 0$ ) и при отсутствии нагрузок на бесконечности ( $\sigma_{yy}^{(\infty)} = \sigma_{xy}^{(\infty)} = 0$ ) приходим к выражению, полученному в [8]. Полагая берега трещины свободными от напряжений ( $p(x) = q(x) = 0$ ), а также отсутствие напряжений на бесконечности, находим из (27) коэффициенты интенсивности для чисто температурных напряжений. Следует еще раз подчеркнуть, что соотношение (27) представляет собой принципиальный результат математической теории трещин, отсутствующий в известных руководствах по данным вопросам. Соотношение (27) содержит многочисленные частные случаи механического и теплового нагружения, каждый из которых может служить предметом самостоятельного исследования при изучении кинетики разрушения хрупких полимеров.

Перейдем теперь к приложению соотношения (27) при выводе ряда важных кинетических характеристик для полимеров с трещинами. Вначале рассмотрим чисто механическое нагружение при постоянной температуре. При одноосном растяжении образца постоянным

напряжением  $\sigma_{yy}^{(\infty)} = \sigma, \sigma_{xy}^{(\infty)} = 0$  находим из (27)  $K_1 = \sigma\sqrt{l}, K_2 = 0$ , а из соотношения (6) – максимальное растягивающее напряжение в окрестности (для определенности правой) вершины трещины, достигаемое в плоскости трещины:  $[\sigma_{yy}(x, 0)]\sqrt{l}\sqrt{2(x-l)}_{max}$ . Прямые опыты (методом ИК-спектроскопии) по измерению истинных напряжений на отдельных химических связях для твердых полимеров показали, что по мере приближения к кончику трещины на максимально напряженных связях нагрузка увеличивается вплоть до некоторого значения, после чего остается практически постоянной и превосходит среднее напряжение на связях в объёме образца на несколько порядков. Такие связи сильно деформируются и разрываются в первую очередь; их разрыв обусловлен напряжением, приходящимся на связь, отстоящую от вершины трещины на расстоянии ее флуктуационного продвижения  $\lambda$ . Таким образом, искомое локальное напряжение в вершине трещины можно описать выражением  $\sigma^* = \sigma\sqrt{l/2\lambda}$ , а в окончательной форме

$$\sigma^* = \sigma\beta(l_0)\sqrt{l/l_0}, \quad (28)$$

где появляется коэффициент концентрации напряжения для внутренней прямолинейной трещины начальной длины  $2l_0$

$$\beta(l_0) = 0.71\sqrt{l_0/\lambda}. \quad (29)$$

В экспериментах по ползучести (при  $\sigma = const$ ) показано, что коэффициент  $\beta$  за время жизни образца практически не изменяется и определяется длиной начального дефекта в образце. Из (29) находится величина (полуудлина) начальной микротрещины

$$l_0 = 2\lambda\beta^2. \quad (30)$$

Численные расчеты на основе соотношений (28) – (30) дают результаты близкие к экспериментальным [2,3].

Перейдем к рассмотрению поверхностных трещин. Такие трещины являются наиболее распространенными и растут с края образца, где имеются наиболее опасные дефекты. При расчете  $\sigma^*$  образец согласно [2] рассматривается как упругая полуплоскость  $(x, y)$  с краевой трещиной  $0 < x < l, y = 0$ . Указанный случай относится к числу достаточно сложных в математической теории трещин. Решением задачи (7) – (10) при различных видах нагрузки на берегах краевой трещины (линейная; неоднородная; общего вида; сосредоточенная) занимались многие исследователи [13]. Разработанный автором настоящей статьи подход [2] (для случая растяжения образца постоянным напряжением при постоянной температуре) позволил получить следующее выражение для локального напряжения в вершине трещины

$$\sigma^* = \sigma\beta(l_0)\sqrt{l/l_0}; \beta(l_0) = 0.79\sqrt{l_0/\lambda}. \quad (31)$$

Отсюда длина начальной поверхностной трещины равна

$$l_0 = 1.6\lambda\beta^2. \quad (32)$$

$$\begin{cases} \sigma_{zz}(r, 0) = -\sigma_0(r), 0 \leq r < R, \\ \sigma_{zz}(r, 0) = 0, W(r, 0) = 0, r \geq R, \\ |\sigma_{ij}(r, z)| < +\infty, |U(r, z)| < +\infty, |W(r, z)| < +\infty, z \geq 0, \end{cases} \quad (34)$$

$$T(r, z)|_{z=0} = T_0(r), 0 \leq r < R, (\partial T/\partial z)|_{z=0} = 0, r > R \quad (35)$$

либо

$$(\partial T/\partial z)|_{z=0} = \theta(r), 0 \leq r < R, T(r, z)|_{z=0} = 0, r > R. \quad (36)$$

Сформулированная задача также относится к числу достаточно сложных в математическом плане. Нахождением ее приближенного решения занимались многие исследователи, указанные в [13]. Автор настоящей статьи в [2] предложил свой

$$K_1^{(M)} = \frac{2}{\pi\sqrt{R}} \int_0^R \frac{y\sigma_0(y)dy}{\sqrt{R^2-y^2}}, K_1^{(T)} = \frac{2(1+\nu)\alpha G}{\pi(1-\nu)\sqrt{R}} \int_0^R \frac{yT_0(y)dy}{\sqrt{R^2-y^2}}. \quad (37)$$

Здесь  $T_0(r)$  – температура на трещине  $0 \leq r < R, z = 0$ , она либо задается, либо находится из решения соответствующей тепловой задачи. При постоянной внешней нагрузке  $\sigma_0(r) = \sigma = const$  и

Так для ПММА  $\lambda = 12A^*[4], \beta = 11[3]$  и  $l_0 = 2.3 \cdot 10^{-7}$  м, что близко к оценке начальной (исходной) краевой микротрещины, приведенной в [3] ( $l_0 = 1.5 \cdot 10^{-7}$  м); для неорганического стекла  $\lambda = 5.4A^*[4], \beta = 60[4]$  и из (32) имеем  $l_0 = 4$  мкм, что совпадает с экспериментальными данными в [3].

Следующий вопрос – круговые трещины. Как указывалось, наряду с линейными субмикротрещинами в полимерах обнаружены дискообразные субмикротрещины, ориентированные перпендикулярно растягивающей силе. Образец цилиндрического типа интерпретируется упругим пространством  $(x, y, z)$  с внутренней осесимметричной трещиной  $0 \leq r < R, z = 0$ . Пусть  $U(r, z), W(r, z)$  – компоненты вектора перемещения в цилиндрических координатах,  $T(r, z)$  – температурная функция, удовлетворяющая уравнению Лапласа  $\Delta T(r, z) = 0$  вне плоскости  $z = 0$ , содержащей трещину; пусть  $\theta(r, z)$  – объемное расширение. Задача заключается в нахождении коэффициентов интенсивности напряжений  $K_1^{(M)}$  механической и  $K_1^{(T)}$  тепловой нагрузок в асимптотическом представлении осевого (разрывающего связи) напряжения  $\sigma_{zz}(r, 0) = K_1/\sqrt{2(R-r)}, (r > R)$  из основных уравнений термомеханики [11], записанных в перемещениях в условиях осевой симметрии:

$$\begin{cases} \Delta U - \frac{1}{r^2}U + \frac{1}{1-2\nu}\frac{\partial\theta}{\partial r} - \frac{2(1+\nu)}{1-2\nu}\alpha\frac{\partial T}{\partial r} = 0, \\ \Delta W + \frac{1}{1-2\nu}\frac{\partial\theta}{\partial z} - \frac{2(1+\nu)}{1-2\nu}\alpha\frac{\partial T}{\partial z} = 0, \\ \Delta\theta(r, z) = 0, \Delta T(r, z) = 0 \end{cases} \quad (33)$$

при следующих граничных условиях

подход при ее решении и получил удобные для расчета соотношения для коэффициентов интенсивности напряжений при механических и тепловых нагрузках:

изотермических условиях испытаний из (37) следует  $K_1 = (2/\pi)\sigma\sqrt{R}$  и локальное напряжение в  $\lambda$ -окрестности круговой трещины имеет вид

$$\sigma^* = \sigma\beta(R_0)\sqrt{R/R_0}, \beta(R_0) = 0.5\sqrt{R_0/\lambda}, \quad (38)$$

где  $R$  – переменный радиус растущей трещины,  $2R_0$  – диаметр начальной круговой трещины. Из (38) следует

$$R_0 = 4\lambda\beta^2. \quad (39)$$

Так для ориентированных волокон (полиэтилен; полипропилен; поликапроамид) согласно [4]  $\lambda = 4A^\circ, \beta \sim (4 - 7)$ ; отсюда и из (39) радиус начальной микротрещины  $R_0 \approx (10^{-8} - 10^{-7})\text{м}$ , что подтверждено экспериментами в [3].

Таким образом, получены ряд важных кинетических характеристик, соответственно, коэффициент концентрации напряжения  $\beta(l_0) = \chi\sqrt{l_0/\lambda}$  и величина начального дефекта в образце  $l_0 = \chi^{-2}\lambda\beta^2$ , где  $\chi = 0.79; 0.71; 0.5$  для трещин поверхностной, внутренней прямолинейной и внутренней круговой (дискообразной).

К этим соотношениям следует добавить ряд важных параметров и предельных характеристик процесса разрушения. Особого рассмотрения требует характеристика  $\sigma_0$ . В кинетической теории [14] безопасное напряжение вводится соотношением  $\sigma_0 = \alpha_{\text{пов}}/(\beta\lambda_m)$ , где  $\alpha_{\text{пов}}$  – свободная поверхностная энергия материала (в вакууме). В [15] термодинамически и путем точного расчета показано, что величина  $\sigma_0$  совпадает с порогом разрушения Гриффита  $\sigma_0 = \sigma_{G_0} = \sqrt{2E\alpha_{\text{пов}}/\pi l_0}$ , то есть термодинамический и кинетический подходы согласуются между собой.

Таким образом, из приведенных выше соотношений, вытекают следующие расчетные характеристики кинетики процесса хрупкого разрушения полимеров:

безопасное напряжение

$$\sigma_{G_0} = \sqrt{2E\alpha_{\text{пов}}} \cdot l_0^{-1/2}; \quad (40)$$

начальная длина (полудлина или радиус) микротрещины

$$l_0 = \chi^{-2}\lambda\beta^2; \quad (41)$$

коэффициент концентрации напряжения

$$\beta(l_0) = \chi\sqrt{l_0/\lambda}; \quad (42)$$

критическое напряжение

$$\sigma_k = \frac{U_0 - qT}{V_a\beta} = \frac{(U_0 - qT)\sqrt{\lambda}}{\chi V_a} l_0^{-1/2}; \quad (43)$$

относительная критическая длина трещины

$$\sqrt{l_k/l_0} = \frac{U_0 - qT}{V_a\beta\sigma}; \quad (44)$$

локальное напряжение в вершине трещины

$$\sigma^* = \sigma\beta(l_0)\sqrt{l/l_0}. \quad (45)$$

В таблице 1 в качестве иллюстрации соотношения (45) дана оценка величины  $\sigma^*$  для ряда полимеров на основе экспериментальных данных по долговечности [3].

Таблица 1.

**Локальное напряжение в вершине трещины**

Полимер (ориентированный)	Внешнее напряжение $\sigma$ МПа	$V_a\beta$ $\cdot 10^{-29}\text{м}^3$	$V_a \cdot$ $10^{-29}\text{м}^3$	$\beta$	$\sigma^*$ МПа	
					Эксперимент [4]	Расчет
Полипропилен	800	28	2.4	12	12000	11500
Капрон	840	38	2.4	16	20000	16000
Полиакрилонитрил	120	60	2.4	25	7000	4000
Полиэтилентеррефталат	800	60	2.4	25	20000	24000

Приведем еще одну расчетную формулу для важной прочностной характеристики – свободной поверхностной энергии  $\alpha_{\text{пов}}$ , вытекающую из равенства указанных выше соотношений  $\sigma_0$  и  $\sigma_{G_0}$  для безопасного напряжения в кинетическом и термодинамическом подходе

$$\alpha_{\text{пов}} = (\lambda_m^2/2.5\lambda)E, \quad (46)$$

дающую хорошую корреляцию между расчетными и экспериментальными значениями  $\alpha_{\text{пов}}$  ряда полимеров (Таблица 2).

Таблица 2.

Материал	$\lambda_m$	$\lambda$	$E \cdot 10^7$ Н/м <sup>2</sup>	$\alpha_{пов} \cdot 10^{-2}$ , Дж/м <sup>2</sup>	
	$10^{-4}$ , мкм			Расчет	Эксперимент
ПММА	1.5	12	500	38	39
ПЭ	1.5	12	250	19	21
ПС	1.5	12	420	30	33
ПП	1.5	12	150	12	28
ПВХ	1.5	12	500	38	40
ПЭТФ	1.5	12	520	39	41
КАПРОН (неориентированный)	1.5	4	200	45	46

Расчет локальных напряжений при чисто тепловых нагрузках –практически не разработанные вопросы теории хрупкого разрушения. Наибольший интерес представляют случаи установившегося теплового состояния  $T(x, y, z)$  в твердых телах с трещиной. Экспериментальные данные в [16] показывают, что при установившемся тепловом потоке в теле с трещиной происходит значительное увеличение температурных напряжений, вызванное локальным возрастанием величины температурного градиента в окрестности вершины трещины. Можно полагать, что термоупругие поля расширения (как и их механические аналоги) увеличивают интенсивность напряжений в вершине трещины, заставляя ее расти. Эксперименты подтверждают это предположение [16]. Пластику из полимерного материала с внутренней сквозной трещиной, расположенной в центре, растягивали до напряжения, не вызывающего разрушения. Плоское установившееся температурное поле  $T(x, y)$  с вектором  $\text{grad}T$ , параллельным плоскости симметрии образца, наводили ортогонально трещины специальным нагревателем. По мере нагрева напряженное состояние образца изменялось: увеличивалась концентрация напряжения в вершине трещины, и через некоторое время образец разрушался. Так как во время опыта механическая нагрузка оставалась неизменной, то фактором, определяющим разрушение, было термоупругое поле. Таким образом, здесь также необходимо рассчитывать локальное напряжение, вычислять предельные характеристики и основные параметры процесса при тепловом разрушении, зависящие от вида тепловой нагрузки, физико-механических и теплофизических характеристик материала, его структуры с целью разработки способов локализации, интенсификации и управления кинетикой роста трещины. Рассмотрим математическую модель указанного эксперимента с доведением расчетов до указанной величины  $\sigma^*$ . Итак, полимерный образец в виде тонкой пластины с внутренней конечной трещиной (упругая плоскость с разрезом) подвергается воздействию однородным тепловым потоком перпендикулярно трещине (нагревание). Предполагается, что по нормали к плоскости образца температура не имеет градиента и, кроме того, через берега трещины тепловой поток не идет. Рассматривается также

случай, когда переносом теплоты через трещину можно пренебречь, что справедливо для не слишком высоких температур. В этих условиях температурная функция  $T(x, y)$  в области  $D \setminus B$ , где  $D = \{(x, y): |x| < \infty, |y| < \infty\}$ ,  $B = \{(x, y): |x| < l, y = 0\}$  является решением тепловой задачи:

$$\Delta T(x, y) = 0, (x, y) \in D \setminus B, \quad (47)$$

$$\frac{\partial T^+(x, y)}{\partial y} \Big|_{y=0} = 0 = \frac{\partial T(x, y)}{\partial y} \Big|_{y=0} = 0, |x| < l, \quad (48)$$

$$\frac{\partial T(x, y)}{\partial y} \Big|_{\sqrt{x^2 + y^2} \rightarrow \infty} = q_T / \lambda_T, \quad (49)$$

где  $\lambda_T$  – теплопроводность материала,  $q_T$  – величина теплового потока, поступающего в образец через единицу площади границы за единицу времени. Обычно для решения подобного рода задач используются линейные задачи сопряжения, основанные на комплексных потенциалах Мусхелишвили [10], либо метод сингулярных интегральных уравнений [8]. И в том и в другом случаях это приводит к длительным и громоздким вычислениям. Рассмотрим для решения задачи самостоятельный подход. Учитывая симметрию исходной задачи, запишем для функции  $\theta(x, y) = T(x, y) - (q_T / \lambda_T)y$ :

$$\frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial y^2} = 0, |x| < \infty, y > 0, \quad (50)$$

$$(\partial \theta / \partial y)_{y=0}^+ = -q_T / \lambda_T, |x| < l, \quad (51)$$

$$|y = 0 = 0, |x| > l, \quad (52)$$

$$(\partial \theta / \partial y) \Big|_{\sqrt{x^2 + y^2} \rightarrow \infty} = 0, |x| < \infty. \quad (53)$$

Задача (50) – (53) носит название внешней задачи Неймана для уравнения Лапласа на плоскости. Необходимым и достаточным условием существования решения этой задачи, обращающегося на бесконечности в нуль, является условие  $\int_L (\partial \theta / \partial n) ds = 0$  [17], которое выполняется в случае (49). Отсюда следует, что для нахождения функции  $\theta(x, y)$  может быть использовано экспоненциальное преобразование Фурье по  $x$ :

$$\bar{\theta}(\eta, y) = (1/\sqrt{2\pi}) \int_{-\infty}^{+\infty} \theta(x, y) \exp(i\eta x) dx. \quad (54)$$

Решение преобразованного уравнения (50) запишем в виде:  $\bar{\theta}(\eta, y) = |\eta^{-1} \bar{q}_1(\eta) \exp(-|\eta|y)$ ,

$$\theta(x, y) = \sqrt{2/\pi} \int_0^\infty \eta^{-1} \bar{q}_1(\eta) \exp(-\eta y) \cos \eta x d\eta. \quad (55)$$

Удовлетворяя условиям (51) – (52), приходим к дуальному интегральному уравнению

$$\begin{cases} \sqrt{2/\pi} \int_0^\infty \bar{q}_1(\eta) \cos \eta x d\eta = q_T / \lambda_T, x < l, \\ \int_0^\infty \eta^{-1} \bar{q}_1(\eta) \cos \eta x d\eta = 0, x > l, \end{cases}$$

$$\theta(x, y) = (q_T l / \lambda_T) \operatorname{Re} \int_0^\infty \eta^{-1} J_1(\eta l) \exp(-\eta z) d\eta = (q_T / \lambda_T) \operatorname{Re}(\sqrt{l^2 - z^2} - z).$$

После выделения действительной части получим для  $T(x, y)$

$$T(x, y) = (q_T / \lambda_T) \sqrt{2} \operatorname{sign} y [\sqrt{y^4 + 2(x^2 + l^2)y^2 + (x^2 - l^2)^2} + y^2 - (x^2 - l^2)]^{1/2}. \quad (56)$$

Из (56) следует, что  $T^\pm(x) = \pm(q_T / \lambda_T) \sqrt{l^2 - x^2}$ , и далее из (27) находим интересующий нас коэффициент интенсивности термоупругих напряжений  $K_1 = 0, K_2 = (\alpha q_T E / 4 \lambda_T) l^{3/2}$  (плосконапряженное состояние) и затем искомое локальное термонапряжение в вершине трещины

$$\sigma_T^* = \beta \sigma_T (l / l_0)^{3/2}, \quad (57)$$

где

$$\sigma_T = \alpha E q_T l_0 / 4 \lambda_T, \beta(l_0) = 0.71 \sqrt{l_0 / \lambda}. \quad (58)$$

Полученное соотношение для  $\sigma_T$  в (58) представляет собой принципиальный результат для теории теплового разрушения:  $\sigma_T$  есть механический аналог при тепловом нагружении и связывает между собой теплофизические, упругие и структурные характеристики полимеров, что позволяет проследить влияние каждого фактора на тепловую реакцию полимерного материала с начальной микротрещиной. Добавим к приведенным соотношениям еще ряд интересных характеристик, начиная с температуры  $T_B$  в вершине трещины. Вначале найдем асимптотическое распределение температуры вблизи вершины в координатах  $(r, \theta)$  (как и в (6)) в виде

$$T(r, \theta) = \sqrt{2} l (q_T / \lambda_T) r^{1/2} \sin \theta / 2. \quad (59)$$

Отсюда в качестве  $T_B$  примем среднюю интегральную величину в  $\lambda$  окрестности правой вершины начальной микротрещины, что дает

$$T_B = \beta \lambda q_T / \lambda_T. \quad (60)$$

где неизвестная функция  $\bar{q}_1(\eta)$  должна быть найдена из (51) – (52). Имеем для  $\theta(x, y)$  с учетом четности по  $x$ :

которое может быть решено методом, развитым автором статьи в [18]. Находим  $\bar{q}_1(\eta) = \sqrt{\pi/2} (q_T l / \lambda_T) J_1(\eta l)$  ( $J_1(z)$  – функция Бесселя) и вместе с этим из (55) функцию

Здесь также, как и в (58), прослеживается связь макро и микропараметров и их влияние на тепловое состояние полимерного материала в вершине трещины. Теперь согласно (4) и (58) можно записать скорость роста трещины в виде

$$V(l, \sigma_T^*, T_B, \dots) = \lambda v_0 \exp\left(-\frac{U - V_a \sigma_T^*}{k T_B}\right), \quad (61)$$

где все основные величины рассчитаны. Основным внешним фактором, вызывающим рост трещины со скоростью (61) является тепловая нагрузка мощностью  $q_T$  – одна из составляющих напряжения. Соотношения (40) и (43) (при  $T = T_B$ ) определяют интервал напряжений  $\sigma_T$  от безопасного  $\sigma_T^{(0)}$  до критического  $\sigma_T^{(k)}$ , что позволяет выявить характеристические значения внешнего теплового нагружения от безопасного

$$q_T^{(0)} = \frac{3.2 \lambda_T \sqrt{\alpha_{\text{пов}} / E}}{\alpha} l_0^{-3/2} \quad (62)$$

до критического

$$q_T^{(k)} = \frac{5.6 \lambda_T \sqrt{\lambda} (U_0 - q T_B)}{\alpha E V_a} l_0^{-3/2}. \quad (63)$$

Аналогичным образом могут быть рассмотрены и другие частные случаи, следующие из формулы (27).

### Заключение

В заключение следует упомянуть о других важных аспектах исследований проблемы прочности и разрушения полимерных и композиционных материалов. Это, прежде всего, связь между релаксационными явлениями и процессами разрушения. Релаксационные процессы связаны с различными формами теплового движения в материале, и

характеризуются спектром молекулярной подвижности структурных элементов различной природы (атомов, боковых и концевых групп, звеньев макромолекул, свободных и связанных сегментов, элементов надсегментальной и надмолекулярной структуры, физических и химических узлов сетки, частиц наполнителя). Это приводит к большому разнообразию форм молекулярной подвижности и соответствующих им релаксационных процессов, которые наблюдаются при действии механических, электрических или магнитных полей. По мере перехода от низкотемпературных областей при испытании к высокотемпературным роль молекулярной подвижности и теплового движения в процессе разрушения приобретает все большее значение. При этих условиях происходит смена механизма разрушения от термофлуктуационного разрыва ковалентных связей, который при низких температурах является главным, к вязко-локальному механизму преодоления межмолекулярных связей, контролирующему процесс разрушения при относительно высоких температурах. Таким образом, термофлуктуационный разрыв ковалентных связей сопряжен с химическими процессами релаксации, а вязко-локальный процесс разрушения, характерный для эластомеров, – с физическими процессами релаксации. К этому следует добавить практически открытую проблему связи теплового удара при резких нагревах (охлаждениях) с временной зависимостью прочности [20,21]. Развитие соответствующих теорий разрушения, учитывающих влияния указанных факторов на кинетику роста трещин требует необходимости привлечения различных подходов: физики и химии полимеров; молекулярной физики и термодинамики; механики разрушения; теории тепло-и массопереноса; прикладной математики.

#### **Выводы.**

Получены теоретические соотношения кинетических характеристик для хрупких полимеров с трещинами при механических и тепловых воздействиях, лежащие в основе исследования термокинетики процесса разрушения полимеров и композитов.

Рассмотрены трещины прямолинейные (внутренние и поверхностные) в образцах типа пластины и внутренние круговые (дискообразные) в полимерных волокнах. Рассмотрены последовательно два режима испытаний: постоянное напряжение растяжения, постоянная абсолютная температура, неменяющаяся структура, инактивная среда, а также более сложный режим чисто теплового нагружения – случай, наименее разработанный в теории разрушения.

Получены соотношения ряда предельных характеристик и параметров процесса разрушения: безопасное и критическое напряжение; начальная длина микротрещины и ее относительная критическая длина; безопасное и критическое напряжение; локальное напряжение в вершине

трещины; величина свободной поверхностной энергии. Приведенные соотношения являются основой для развития теории временной зависимости прочности – долговечности.

Сформулированы перспективы для дальнейшего развития теории с учетом релаксационных процессов в полимерах, а также их химического строения и надмолекулярной организации.

#### **Литература**

Аскадский А.А., Хохлов А.Р. Введение в физико-химию полимеров. М.: Научный мир. 2009. 380 с.

Карташов Э.М. Современные представления кинетической термофлуктуационной теории прочности полимеров // Итоги науки и техники. Серия химия и технология высокомолекулярных соединений. М.: ВИНТИ. 1991. Т.27. С.3-111.

Регель В.Р., Слуцкер А.И., Томашевский Э.Е. Кинетическая природа прочности твердых тел. М.: Наука. 1974. 560 с.

Бартенев Г.М. Прочность и механизмы разрушения полимеров. М.: Химия. 1984. 280 с.

Валишин А.А., Карташов Э.М. Энергетические эффекты в кинетике разрушения твердых тел. // Изв. РАН, серия Энергетика. 2006. №4. С.150-160.

Гуль В.Е., Кулезнев В.Н. Структура и механические свойства полимеров. М.: Высшая школа. 1976. 352 с.

Irwin G.R. Analysis of stresses and strains near the end of a crack traversing a plate // Appl. Mech. 1957. Т.24. №3. Р.361-364.

Панасюк В.В., Саврук М.П., Дацишин А.П. Распределение напряжений около трещин в пластинах и оболочках. Киев. Наукова Думка. 1976. 446 с.

Си. О сингулярном характере температурных напряжений у вершины трещины // Прикладная механика (переводной). 162. Т.29. №3. С.157-159.

Мухелишвили Н.И. Некоторые основные задачи математической теории упругости. М.: Наука. 1966. 708 с

Карташов Э.М., Кудинов В.А. Аналитическая теория теплопроводности и прикладной термоупругости. М.: URSS. 2012. 655 с.

Си, Парис, Эрдоган Коэффициенты концентрации напряжений у вершины трещины при плоском растяжении и изгибе пластин. // Прикладная механика (перевод Трудов Американского общества инженеров-механиков). 1962. Т29-Е. №2. С.101-108.

Саврук М.П. Коэффициенты интенсивности напряжений в телах с трещинами. Механика разрушения. Т.2. Киев. Наукова Думка. 1088. 620 с.

Бартенев Г.М. Состояние и перспективы развития физической теории хрупкой прочности полимеров. // Механика полимеров. 1966. № 5. С.700-721.

Карташов Э.М. Энергетическая проблема Гриффита для хрупких полимеров // Инженерно-физический журнал. 2007. Т.80. №1. С.156-165.

Финкель В.М. Физические основы торможения разрушения. М.: Металлургия. 1977. 360 с.

Карташов Э.М. Аналитические методы в теории теплопроводности твердых тел. М.: Высшая школа. 2001. 540 с.

Карташов Э.М., Кудинов В.А. Аналитические методы теории теплопроводности и ее приложений. М.: URSS. 2017. 1080 с.

Бартенев Г.М., Зеленев Ю.В. Релаксационные явления в полимерах. Л.: Химия. 1972. 376 с.

Карташов Э.М. Модельные представления теплового удара в динамической термоупругости // Российский технологический журнал. 2020. Т.8. №2. С. 85-108.

Карташов Э.М. Оригиналы операционных изображений для обобщенных задач нестационарной теплопроводности // Тонкие химические технологии. 2019. Т.14. №4. С.77-86.

## Ежемесячный научный журнал

### Том 2 №86 / 2023

#### ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

**Макаровский Денис Анатольевич**

AuthorID: 559173

Заведующий кафедрой организационного управления Института прикладного анализа поведения и психолого-социальных технологий, практикующий психолог, специалист в сфере управления образованием.

#### ЗАМЕСТИТЕЛЬ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА:

**Чукмаев Александр Иванович**

<https://orcid.org/0000-0002-4271-0305>

Доктор юридических наук, профессор кафедры уголовного права. Астана, Казахстан

#### РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

##### **Штерензон Вера Анатольевна**

AuthorID: 660374

Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, Институт новых материалов и технологий (Екатеринбург), кандидат технических наук

##### **Синьковский Антон Владимирович**

AuthorID: 806157

Московский государственный технологический университет "Станкин", кафедра информационной безопасности (Москва), кандидат технических наук

##### **Штерензон Владимир Александрович**

AuthorID: 762704

Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, Институт фундаментального образования, Кафедра теоретической механики (Екатеринбург), кандидат технических наук

##### **Зыков Сергей Арленович**

AuthorID: 9574

Институт физики металлов им. М.Н. Михеева УрО РАН, Отдел теоретической и математической физики, Лаборатория теории нелинейных явлений (Екатеринбург), кандидат физ-мат. наук

##### **Дронсейко Виталий Витальевич**

AuthorID: 1051220

Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), Кафедра "Организация и безопасность движения" (Москва), кандидат технических наук

##### **Садовская Валентина Степановна**

AuthorID: 427133

Доктор педагогических наук, профессор, Заслуженный работник культуры РФ, академик Международной академии Высшей школы, почетный профессор Европейского Института PR (Париж), член Европейского издательского и экспертного совета IEERP.

##### **Ремизов Вячеслав Александрович**

AuthorID: 560445

Доктор культурологии, кандидат философских наук, профессор, заслуженный работник высшей школы РФ, академик Международной Академии информатизации, член Союза писателей РФ, лауреат государственной литературной премии им. Мамина-Сибиряка.

##### **Измайлова Марина Алексеевна**

AuthorID: 330964

Доктор экономических наук, профессор Департамента корпоративных финансов и корпоративного управления Финансового университета при Правительстве Российской Федерации.

##### **Гайдар Карина Марленовна**

AuthorID: 293512

Доктор психологических наук, доцент. Член Российского психологического общества.

##### **Слободчиков Илья Михайлович**

AuthorID: 573434

Профессор, доктор психологических наук, кандидат педагогических наук.



Член-корреспондент Российской академии естественных наук.

**Подольская Татьяна Афанасьевна**

AuthorID: 410791

Профессор факультета психологии Гуманитарно-прогностического института. Доктор психологических наук. Профессор.

**Пряжникова Елена Юрьевна**

AuthorID: 416259

Преподаватель, профессор кафедры теории и практика управления факультета государственного и муниципального управления, профессор кафедры психологии и педагогики дистанционного обучения факультета дистанционного обучения ФБОУ ВО МГППУ

**Набойченко Евгения Сергеевна**

AuthorID: 391572

Доктор психологических наук, кандидат педагогических наук, профессор. Главный внештатный специалист по медицинской психологии Министерства здравоохранения Свердловской области.

**Козлова Наталья Владимировна**

AuthorID: 193376

Профессор на кафедре гражданского права юридического факультета МГУ

**Крушельницкая Ольга Борисовна**

AuthorID: 357563

кандидат психологических наук, доцент, заведующая кафедрой теоретических основ социальной психологии. Московский государственный областной университет.

**Артамонова Алла Анатольевна**

AuthorID: 681244

кандидат психологических наук, Российский государственный социальный университет, филиал Российского государственного социального университета в г. Тольятти.

**Таранова Ольга Владимировна**

AuthorID: 1065577

Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, Уральский гуманитарный институт, Департамент гуманитарного образования студентов инженерно-технических направлений, Кафедра управление персоналом и психологии (Екатеринбург)

**Ряшина Вера Викторовна**

AuthorID: 425693

Институт изучения детства, семьи и воспитания РАО, лаборатория

профессионального развития педагогов (Москва)

**Гусова Альбина Дударбековна**

AuthorID: 596021

Заведующая кафедрой психологии. Доцент кафедры психологии, кандидат психологических наук Северо-Осетинский государственный университет им. К.Л. Хетагурова, психолого-педагогический факультет (Владикавказ).

**Минаев Валерий Владимирович**

AuthorID: 493205

Российский государственный гуманитарный университет, кафедра мировой политики и международных отношений (общеуниверситетская) (Москва), доктор экономических наук

**Попков Сергей Юрьевич**

AuthorID: 750081

Всероссийский научно-исследовательский институт труда, Научно-исследовательский институт труда и социального страхования (Москва), доктор экономических наук

**Тимофеев Станислав Владимирович**

AuthorID: 450767

Российский государственный гуманитарный университет, юридический факультет, кафедра финансового права (Москва), доктор юридических наук

**Васильев Кирилл Андреевич**

AuthorID: 1095059

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Инженерно-строительный институт (Санкт-Петербург), кандидат экономических наук

**Солянкина Любовь Николаевна**

AuthorID: 652471

Российский государственный гуманитарный университет (Москва), кандидат экономических наук

**Карпенко Юрий Дмитриевич**

AuthorID: 338912

Центр стратегического планирования и управления медико-биологическими рисками здоровью ФМБА, Лаборатория экологической оценки отходов (Москва), доктор биологических наук.

**Малаховский Владимир Владимирович**

AuthorID: 666188

Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова, Факультеты, Факультет послевузовского профессионального образования врачей,

кафедра нелекарственных методов терапии и клинической физиологии (Москва), доктор медицинских наук.

**Ильясов Олег Рашитович**

AuthorID: 331592

Уральский государственный университет путей сообщения, кафедра техносферной безопасности (Екатеринбург), доктор биологических наук

**Косс Виктор Викторович**

AuthorID: 563195

Российский государственный университет физической культуры, спорта, молодежи и туризма, НИИ спортивной медицины (Москва), кандидат медицинских наук.

**Калинина Марина Анатольевна**

AuthorID: 666558

Научный центр психического здоровья, Отдел по изучению психической патологии раннего детского возраста (Москва), кандидат медицинских наук.

**Сырочкина Мария Александровна**

AuthorID: 772151

Пфайзер, вакцины медицинский отдел (Екатеринбург), кандидат медицинских наук

**Шукшина Людмила Викторовна**

AuthorID: 484309

Российский экономический университет им. Г.В. Плеханова, Головной вуз: РЭУ им. Г.В. Плеханова, Центр гуманитарной подготовки, Кафедра психологии (Москва), доктор философских наук

**Оленев Святослав Михайлович**

AuthorID: 400037

Московская государственная академия хореографии, кафедра гуманитарных, социально-экономических дисциплин и менеджмента исполнительских искусств (Москва), доктор философских наук.

**Терентий Ливиу Михайлович**

AuthorID: 449829

Московская международная академия, ректорат (Москва), доктор филологических наук

**Шкаренков Павел Петрович**

AuthorID: 482473

Российский государственный гуманитарный университет (Москва), доктор исторических наук

**Шалагина Елена Владимировна**

AuthorID: 476878

Уральский государственный педагогический университет, кафедра теоретической и прикладной социологии (Екатеринбург), кандидат социологических наук

**Франц Светлана Викторовна**

AuthorID: 462855

Московская государственная академия хореографии, научно-методический отдел (Москва), кандидат философских наук

**Франц Валерия Андреевна**

AuthorID: 767545

Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, Институт государственного управления и предпринимательства (Екатеринбург), кандидат философских наук

**Глазунов Николай Геннадьевич**

AuthorID: 297931

Самарский государственный социально-педагогический университет, кафедра философии, истории и теории мировой культуры (Москва), кандидат философских наук

**Романова Илона Евгеньевна**

AuthorID: 422218

Гуманитарный университет, факультет социальной психологии (Екатеринбург), кандидат философских наук

**Ответственный редактор**  
Чукмаев Александр Иванович  
Доктор юридических наук, профессор кафедры уголовного права.  
(Астана, Казахстан)

Статьи, поступающие в редакцию, рецензируются. За достоверность сведений, изложенных в статьях, ответственность несут авторы. Мнение редакции может не совпадать с мнением авторов материалов. При перепечатке ссылка на журнал обязательна. Материалы публикуются в авторской редакции.

Адрес редакции:

198320, Санкт-Петербург, Город Красное Село, ул. Геологическая,  
д. 44, к. 1, литера А

**Адрес электронной почты:** [info@national-science.ru](mailto:info@national-science.ru)

**Адрес веб-сайта:** <http://national-science.ru/>

Учредитель и издатель ООО «Логика+»

Тираж 1000 экз.

Отпечатано в типографии 620144, г. Екатеринбург,  
улица Народной Воли, 2, оф. 44

**Художник:** Венерская Виктория Александровна

**Верстка:** Коржев Арсений Петрович

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи,  
информационных технологий и массовых коммуникаций.