

**Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Федеральный исследовательский центр угля и углехимии
Сибирского отделения Российской академии наук»
(ФИЦ УУХ СО РАН)**

**Ежегодная конференция
молодых ученых
ФИЦ УУХ СО РАН
«РАЗВИТИЕ – 2022»**

11-13 мая 2022 года

Кемерово – 2022

УДК 622:622.23.05:62-403:62-79

ББК 33

Ежег36

Ответственный редактор

доктор технических наук, профессор РАН **А.Е. Майоров**

Организационный комитет:

доктор технических наук, профессор РАН **А.Е. Майоров**

доктор химических наук **С.И. Жеребцов**

кандидат технических наук **А.Н. Стародубов**

О.А. Соболева

*Рекомендовано к публикации Ученым советом
Федерального исследовательского центра угля и углехимии
Сибирского отделения Российской академии наук*

**Ежегодная конференция молодых ученых ФИЦ УУХ СО РАН
«Развитие – 2022»** [Электронный ресурс] : сборник трудов
конференции 11-13 мая 2022 г. ; отв. ред. А.Е. Майоров. – Элек-
тронные текстовые дан. – Кемерово: ФИЦ УУХ СО РАН, 2022. –
1 электрон. опт. диск (CD-ROM). – Загл. с этикетки диска. –
ISBN 978-5-902305-66-8.

В сборнике представлены материалы Ежегодной конференции молодых ученых ФИЦ УУХ СО РАН «Развитие – 2022». Научные работы выполнены под руководством сотрудников ФИЦ УУХ СО РАН в рамках основных научных направлений деятельности Институты:

- Добыча и обогащение угля;
- Углехимия и химическое материаловедение;
- Экологические и гуманитарные проблемы угледобывающих регионов.

Труды конференции представляют интерес для специалистов научно-исследовательских, научно-производственных, научно-образовательных и проектных организаций, преподавателей, аспирантов и студентов ВУЗов.

УДК 622:622.23.05:62-403:62-79

ББК 33

ISBN 978-5-902305-66-8

© ФИЦ УУХ СО РАН, 2022

Научное электронное издание

**Ежегодная конференция
молодых ученых ФИЦ УУХ СО РАН
«Развитие – 2022»**

11-13 мая 2022 года

Технический редактор ***С.Ф. Рысаева***

Подписано к печати 20.10.2022 г.

Тираж 300 экз.

Изготовлено в ФИЦ УУХ СО РАН (Институт угля СО РАН)
650065, г. Кемерово, пр. Ленинградский, 10

ОГЛАВЛЕНИЕ

СЕКЦИЯ 1

ДОБЫЧА И ОБОГАЩЕНИЕ УГЛЯ **8**

Королев М. К.

Геотехнологические вызовы как фактор формирования
закономерностей создания новых горных машин 9

Костенюк А. И.

Разубоженный уголь как одна из основных проблем
переработки полезных ископаемых 17

Кулик Д. П.

Исследование фильтрационного течения
технологических суспензий при заполнении трещин
горных пород 28

Федченко Д. В.

Прогноз как способ снижения негативного влияния
техногенной сейсмической активности 42

Швыдкин С. А.

Диагностика корпуса редуктора мотор-колеса
карьерного автосамосвала 49

Яркова А. В.

Влияние условий подготовки пробы
на смачиваемость поверхности угля 58

СЕКЦИЯ 2

УГЛЕХИМИЯ И ХИМИЧЕСКОЕ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ **65**

Брызгалов Л. П.

Переработка углей ООО «Шахта «Листвяжная»
(АО ХК «СДС-Уголь») с целью получения опытной партии
карбонизата и исследования его свойств 66

Волков В. Д.

Анализ состава газообразных продуктов лазерного пиролиза
углей различных марок 75

Захаров Н. С.	
Изменение формо-размерных характеристик наночастиц fe-pt при нагревании	87
Камоза Е. С.	
Оценка степени влияния параметров органической и минеральной составляющей на поверхностные свойства угля	94
Кутищев А. С.	
Влияние параметров окислительной среды на процессы окисления углей	99
Паршкова Е. С.	
Синтез и исследование наноразмерных систем fept/au типа ядро-оболочка	108
Пыкин А. Л.	
Синтез и исследование поливиниловых криогелей для создания композитов модифицированных углеродными нанотрубками	117
Садыкова Л. Р.	
Подбор параметров в методе молекулярной динамики для расчета стабильности разных фаз нанокластеров fept	127
Тихонова И. Н.	
Электронно-микроскопическое исследование атомной структуры наночастиц сорп, богатых благородным металлом	136
Цветков В. Э.	
Сорбция ионов никеля из водных растворов бурым углем и карбонизатом на его основе	144
СЕКЦИЯ 3	
ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ И ГУМАНИТАРНЫЕ ПРОБЛЕМЫ УГЛЕДОБЫВАЮЩИХ РЕГИОНОВ	153
Молекулярная экология	154

Аверьянов А. В.	
Анализ антител класса А и G, специфичных к бензо[а]пирену и стероидным гормонам, у женщин с колоректальным раком	154
Артст К. В.	
Получение рекомбинантных антител против химических канцерогенов и стероидных гормонов для использования в диагностике рака	163
Буслаев В. Ю.	
Анализ дифференциальной экспрессии генов иммунного ответа у больных раком лёгкого	169
Ермаков В. С.	
Генетические варианты TGFB1 и восприимчивость к пневмокониозу: обзор данных литературы	181
Рожкова К. А.	
Современные генетические методы определения наследственной предрасположенности к раку молочной железы	194
Столяров А. В.	
Роль полиморфизма генов иммунного ответа в патогенезе рака легкого у больных с ишемической болезнью сердца	201
Торгунакова А. В.	
Изучение полиморфизма генов репарации ДНК в формировании предрасположенности к развитию рака молочной железы	209
Федосеев В. И.	
Изучение генотоксических эффектов воздействия производственной среды на рабочих угольных теплоэлектростанций	227
Яковлева А. А.	
Вклад вариантов генов FTO, ADRB3, LEP и LEPR в развитие ожирения: обзор литературы	242

ЭКОЛОГИЯ И БИОРАЗНООБРАЗИЕ 253

Андреев Б. Г.

Экотопологическая структура флоры города Кемерово 253

Круглая К. А.

Оценка содержания суммы фенольных соединений
в генеративных органах рябины сибирской (*Sorbus sibirica* hedl.)
в условиях с различной антропогенной нагрузкой 262

АРХЕОЛОГИЯ И ИСТОРИЯ ЮЖНОЙ СИБИРИ 270

Абрашина М. Е.

Керамика бронзового века стоянки Генералова
(Северное Приангарье) 270

Беляева Ю. С.

Находки предметов досуга из костей животных
в материалах раскопок деревни Кемерово:
проблемы интерпретации 287

Егорченко С. Е.

Археологическая разведка в Назаровском районе
Красноярского края в 2021 году 296

Зырянова К. А.

Отражение стахановского движения
угольной промышленности в периодической печати
в 1935-1941 гг. на примере газеты
«В бой за уголь» (г. Киселевск) 306

Калинская А. В.

Об одной категории глиняных изделий с поселений
раннего железного века Кия-Чулымского междуречья 316

Ковзунова П. В.

Антропологические коллекции
из Тагарских курганных могильников Мариинской лесостепи:
история формирования и изучения 328

Плац И. А.

Свод археологических памятников северо-востока Кузбасса:
опыт пространственного анализа в ГИС 339

СЕКЦИЯ 1

ДОБЫЧА И ОБОГАЩЕНИЕ УГЛЯ

**ГЕОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ВЫЗОВЫ
КАК ФАКТОР ФОРМИРОВАНИЯ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ
СОЗДАНИЯ НОВЫХ ГОРНЫХ МАШИН**

**GEOTECHNOLOGICAL CHALLENGES AS A FACTOR
IN THE FORMATION OF NEW MINING MACHINES
CREATION PATTERNS**

*Королев Михаил Константинович,
Лаборатория угольного машиноведения
Института угля ФИЦ УУХ СО РАН*

*Mikhail K. Korolev, coal engineering laboratory
of Coal Institute FRC CCC SB RAS
E-mail: m.korolev.gm@gmail.com*

Аннотация: В современной добывающей промышленности можно отследить тенденцию к увеличению глубины добычи полезных ископаемых, вместе с чем усугубляются геотехнологические условия, представленные в данной статье как геотехнологические вызовы, предопределяющие закономерности создания новых горных машин. В статье представлены результаты применения методологии патентного ландшафта для анализа зарегистрированных технологий изготовления буровых резцов, на основе чего был получен результат в виде тенденций использования новых материалов и сплавов при изготовлении новых типов буровых резцов, как закономерная реакция на увеличение глубины добычи и возникающие геотехнологические вызовы. По результатам исследования сделан вывод о том, что патентный ландшафт может быть использован в качестве инструмента для определения тенденций развития технологий и сфер их применения.

Abstract: In the modern mining industry, one can trace a trend towards an increase in the depth of mining, along with aggravating geo technological conditions that are presented in this article as geo technological challenges that

predetermine the new mining machines creation patterns. The article presents the results of applying the patent landscape methodology for the analysis of patented drilling cutters manufacturing technologies. On the basis of that was obtained the result in the form of trends in the new materials and alloys use in new types of drill cutters manufacturing, as a natural response to an increase in the depth of production and emerging geo technological challenges. Based on the results of the study, it was concluded that a patent landscape might be used as a tool for predetermining trends in the development of technologies and their application areas.

Ключевые слова: горные машины, буровые резцы, геотехнологии, факторы внешней среды, патентная аналитика, патентный ландшафт.

Keywords: mining machines, drill cutters, geo technologies, environmental factors, patent analytics, patent landscape.

Добыча полезных ископаемых в мире производится на все больших глубинах и, поскольку на добывающую промышленность приходится существенная доля российской экономики, вопросы трудностей, возникающих при добыче глубокозалегающих полезных ископаемых, являются перспективными для их изучения [1-4].

Целью данного исследования является апробация патентного ландшафта как инструмента для выявления тенденций и направлений развития технологий в горнодобывающей отрасли [5-6].

Первым вопросом, решение которого необходимо для развития добывающей промышленности в новых условиях, является понимание строения земных недр на большой глубине. Текущее представление о строении Земли основывается на теориях и предположениях, в то время как из более чем 6000 км радиуса планеты человечеству удалось разведать лишь 12 км, что составляет менее 0,2% от всего расстояния от поверхности до центра Земли. Дальнейшее изучение строения земных недр осложняется рядом геотехнологических и экономических факторов.

Глубина добычи полезного ископаемого определяется одним решающим фактором – экономической целесообразностью. По этой причине, что можно отметить в таблице 1, на сегодняшний день на больших глубинах добываются преимущественно драгоценные металлы и редкоземельные ископаемые. В России самая большая глубина добычи полезных ископаемых осуществляется на руднике «Скалистый» на глубине 2 км, где добываются богатые руды. Добыча угля на больших глубинах на сегодняш-

ний день не является экономически целесообразной ввиду его низкой стоимости, относительно драгоценных металлов, руд и редкоземельных ископаемых, а также разведанным и доступным запасам угля, находящихся ближе к поверхности.

Таблица 1

Самые глубокие действующие шахты мира по состоянию на 2020 год

Наименование	Глубина (км)	Страна	Полезное ископаемое
MPONENG GOLD MINE	4,00	ЮАР	Золото
DRIEFONTEIN GOLD MINE	3,42	ЮАР	Золото
KUSASALETHU GOLD MINE	3,38	ЮАР	Золото
MOAB KHOTSONG GOLD MINE	3,05	ЮАР	Золото, уран
LARONDE GOLD MINE	3,01	Канада	Золото, серебро, медь, цинк
KIDD GREEK MINE	3,00	Канада	Серебро, медь, цинк
SOUTH DEEP GOLD MINE	3,00	ЮАР	Золото
LUCKY FRIDAY MINE	2,60	США	Серебро, цинк, свинец
CREIGHTON MINE	2,42	Канада	Никель, медь
KOPANANG GOLD MINE	2,24	ЮАР	Золото, уран

Для безопасной и эффективной добычи полезных ископаемых на больших глубинах необходимо адаптироваться к ряду усугубляющихся по мере углубления в земную толщу факторов внешней среды, включающих:

- повышение концентрации газов и их движение;
- усложнение процесса откачки подземных и грунтовых вод;
- неоднородность и пористость горных пород;
- перераспределение горного давления (с кровли, с бортов, со стороны почвы) и движение горных пород;
- геотермический градиент.

При проведении экспериментов по бурению сверхглубоких скважин было обнаружено, что фактическое строение пород отличается от теоретических представлений: иногда твердая, сложная для бурения порода сменялась мягкой и пористой, в которую бур буквально проваливался. При бурении Кольской сверхглубокой скважины изначально ожидалось, что будет обнаружена ярко выраженная граница между гранитами и базальтами, однако, в керне по всей глубине обнаруживались только граниты. При этом, за счёт высокого давления и повышенной температуры у гранитов сильно менялись физические свойства.

Горное давление оказывает влияние на процесс добычи полезных ископаемых уже на малых глубинах, создавая необходимость установки крепей, что замедляет скорость проходческих работ и, в последствии, всего процесса добычи в целом. На больших глубинах движение горных пород оказывает более существенное влияние, например, на той же Кольской СГС из-за высокого подземного давления началось искривление ствола, что особенно заметно с девятого километра глубины [7].

Наиболее критичной проблемой, по мнению автора, для добычи полезных ископаемых на больших глубинах является геотермический градиент – величина, описывающая прирост температуры горных пород при углублении и выражающаяся изменением температуры, приходящейся на единицу глубины. В среднем геотермический градиент составляет 3°C на 100 метров глубины, однако, он имеет свойство колебаться. Так, наименьший геотермический градиент зафиксирован в ЮАР ($0,6^{\circ}\text{C}$ на 100 метров глубины), а наибольший в США (15°C на 100 метров глубины) [8].

Высокая температура на глубине не только создает потребность в охлаждении самой шахты для безопасной добычи полезных ископаемых, но, также, она влияет и на температуру в месте соприкосновения рабочего органа горной машины с породой. При перегреве резцов снижается срок их эксплуатации и эффективность процесса добычи полезных ископаемых или проходческих работ. Для решения этой проблемы применяются следующие подходы:

- орошение забоя водой для охлаждения резцов и пылеподавления;
- использование специальных буровых растворов (при бурении скважин);
- применение современных композитных материалов и новых сплавов в конструкции резцов.

Для решения задачи по выявлению уже существующих технических решений, оценки их актуальности, сравнения и выбора наиболее подходящего варианта может быть применена патентная аналитика. В рамках проведенного исследования, на основе отчета о патентных исследованиях «Разработка экспериментальных конструкций комбинированного инструмента с применением сверхтвердых композитных материалов для эффективного разрушения горных пород» была проведена углубленная патентная аналитика с применением методологии и подходов формирования патентного ландшафта.

В отчете о патентных исследованиях были представлены 397 охраняемых документов на резцы за период в 11 лет. После проведения «очистки от информационного шума» список был сокращен до 358 патентов и был проведен их анализ по сущности на основе Международной патентной классификации (МПК). В таблице 2 представлены наиболее распространенные подклассы МПК в результатах патентного поиска по резцам.

Так, в соответствии с МПК, в разделе «Е» класс «E21» (бурение; горное дело) применяется к техническим решениям, относящимся к горнодобывающей промышленности; раздел «В» – к различным технологическим процессам, в данном случае, связанных с технологическими особенностями изготовления резцов, а раздел «С», в частности подкласс «C22C», применяется к техническим решениям, использующими различные сплавы и композитные материалы [9].

Среди 11 патентов, относящихся к подклассу «C22C», были выделены следующие используемые материалы и сплавы:

- различные виды (типы) карбида (цементированный карбид, металлический карбид, макрокристаллический карбид, карбид вольфрама);
- алмазные материалы (поликристаллические алмазные материалы, материалы с алмазным зерном);
- композитные материалы в виде соединений в различных пропорциях различных материалов (в т.ч. кремния, хрома, железа, никеля, кобальта, кубического нитрида бора (CBN) и др.).

Например, в формуле патента RU 2647519 «Буровой резец для вращательного бурения шпуров» указано, что твердосплавные вставки резца в зонах высоких концентраций напряжений армированы элементами из сверхтвердых материалов – нитрида бора, технических алмазов [10].

Наиболее распространенные подклассы МПК в патентах на резцы

Подкласс	Количество патентов в подклассе	Описание подкласса
E21B	199	Бурение грунта или горных пород
E21C	145	Эксплуатация шахт и карьеров
B23B	17	Токарная обработка; сверление
B22F	15	Порошковая металлургия; производство изделий из металлических порошков; изготовление металлических порошков
B23C	15	Фрезерование
C22C	11	C22: Металлургия; сплавы черных или цветных металлов; обработка сплавов или цветных металлов / C22C: Сплавы

Таким образом, в рамках данной работы были определены геотехнологические факторы внешней среды, влияющие на процесс добычи полезных ископаемых на больших глубинах и, с применением подходов, используемых при разработке патентных ландшафтов, была проведена патентная аналитика зарегистрированных технологий изготовления резцов для разрушения горных пород, на основе которой были выявлены новые материалы и сплавы, используемые при изготовлении резцов для бурения в условиях высокой температуры, что связано с тенденцией увеличения глубины добычи полезных ископаемых.

На основе этого можно утверждать, что посредством патентной аналитики, а именно с применением методологии патентного ландшафта, возможно предопределить направления изменения конструкций корпусов горного инструмента, а также режущих вставок из новых, в том числе – композитных материалов.

Список литературы

1. Выбор формы армирующих вставок для тангенциальных резцов горных машин / П.Д. Крестовоздвиженский, В.И. Клишин, С.М. Никитенко, П.Б. Герике // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2014. – № 6. – С. 107-115.
2. Properties of large-size super hard composite blanks acetone cubic boron nitride / A.S. Anokhin, S.S. Strel'nikova, E.V. Kukueva, A.N. Shipkov, V.V. Tkachenko, S.M. Nikitenko // Glass and Ceramics. – 2015. – Т. 72. – № 7-8. – С. 290-293.
3. Selecting shape of reinforcement insertions for tangential swivel cutters of mining machines / P.D. Krestovozdvizhensky, V.I. Klishin, S.M. Nikitenko, P.B. Gerike // Journal of Mining Science. – 2015. – Т. 51. – № 2. – С. 323-329.
4. Новые армирующие вставки для тангенциальных поворотных резцов / В.И. Клишин, С.М. Никитенко, Б.Л. Герике, П.Д. Крестовоздвиженский // Горный журнал. – 2014. – № 12. – С. 89-92.
5. Никитенко, С.М. Технологические инновации: спрос рождает предложение // Инновации. – 2006. – № 4 (91). – С. 3-5.
6. Nikitenko, S.M. Objects industrial property as an instrument for introducing innovations in machine building / S.M. Nikitenko, M.A. Mesyats // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Сер. «International Scientific-Practical Conference: Innovations in Fuel and Energy Complex and Mechanical Engineering, FEC 2017». – 2017. – С. 12-24.
7. Лобанов, К.В. Пятидесятилетняя годовщина начала бурения Кольской сверхглубокой скважины / К.В. Лобанов, М.В. Чичеров, Н.В. Шаров // Арктика и Север. – 2021. – С. 267-283.
8. Короновский, Н. В. Планета Земля. Физико-химический состав и агрегатное состояние вещества Земли / Н. В. Короновский, Н. А. Ясаманов // Геология: учебник для студ. учреждений высш. проф. образования. – 9-е, испр. и доп. – М.: Издательский центр «Академия», 2014. – С. 52–53.
9. International Patent Classification (IPC) [Электронный ресурс]: [база данных]. – World Intellectual Property Organization. – 2022. – Режим доступа: <https://www.wipo.int/classifications/ipc/en/>, свободный. – Дата обращения: 12.05.2022
10. Пат. 2647519, РФ, МПК E21B 10/43, E21B 10/54. Буровой резец для вращательного бурения шпуров / Л.Е. Дворников, С.М. Никитенко, В.А. Корнеев, П.А. Корнеев; заявитель и патентообладатель Федеральное

государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный исследовательский центр угля и углехимии Сибирского отделения Российской академии наук» (ФИЦ УУХ СО РАН). – № 2016145026; заявл. 16.11.2016; опубл. 16.03.2018, Бюл. № 8.

Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта Российского научного фонда (проект № 22-28-20513) и бюджета Кемеровской области – Кузбасса.

Работа выполнена в Лаборатории угольного машиноведения Института угля ФИЦ УУХ СО РАН под руководством доктора экономических наук С.М. Никитенко.

РАЗУБОЖЕННЫЙ УГОЛЬ КАК ОДНА ИЗ ОСНОВНЫХ ПРОБЛЕМ ПЕРЕРАБОТКИ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

DISMANTLED COAL AS ONE OF THE MAIN PROBLEMS OF MINERAL PROCESSING

*Костенюк Анастасия Игоревна, аспирант, Институт угля
ФИЦ УУХ СО РАН*

*Kostenyuk Anastasia Igorevna, post-graduate student, Institute of Coal
FRC CCC SB RAS
E-mail: kostenyukai@kuzstu.ru*

Аннотация: Развитие рыночных отношений в угледобывающей промышленности предопределяет необходимость поиска резервов производства, позволяющих обеспечить дополнительный прирост прибыли. В настоящее время для большинства угольных разрезов одним из таких резервов является увеличение объемов добычи разубоженного угля с последующей его переработкой. Эффективность этого направления связана в первую очередь с улучшением экономических показателей. Вторичный эффект обусловлен сокращением отчуждаемых площадей и снижением количества возгораний угля на отвалах [1].

Однако, если на переработку направлять уголь, не содержащий минеральных примесей, то в результате переработки не произойдет прироста стоимости, но будет иметь место ущерб за счет затрат на переработку.

При разработке сложноструктурных месторождений остаются актуальными вопросы совершенствования технологий открытой угледобычи, позволяющей снизить, а в отдельных случаях практически исключить разубоживание полезного ископаемого.

В данной статье рассмотрено влияние разубоживания угля при добыче открытым способом на гранулометрический и фракционный составы рядового угля, поступающего на переработку, и, как следствие, влияние на технологические показатели получаемого концентрата. Также приведен

пример возможности прогнозирования и контроля ситового и фракционного составов разубоженных углей.

Annotation: Development of market relations in the coal-mining industry predetermines the necessity to search for production reserves, allowing to provide an additional profit growth. At present one of such reserves for the majority of coal mines is an increase in the volume of production of broken coal with its subsequent processing. Efficiency of this direction is connected, first of all, with improvement of economic indicators. The secondary effect is conditioned by reduction of the alienated areas and decrease of the quantity of coal ignitions at the dumps.

However, if coal containing no mineral impurities is sent for processing, then as a result of processing there will be no increase in value, but there will be damage at the expense of processing costs.

During the development of complex deposits are relevant issues of improving technology of open-cast mining, allowing to reduce, and in some cases almost eliminate dilution of minerals.

This article discusses the impact of coal dilution during open-pit mining on the grain-size and fractional composition of raw coal delivered to the pulp and paper mill and, consequently, the impact on the technological performance of the produced concentrate. There is also an example of the possibility of prediction and control of sieve and fractional composition of demineralized coal.

Ключевые слова: переработка полезных ископаемых, угольная промышленность, открытая угледобыча, селективная технология разработки, валовый способ отработки.

Key words: mineral processing, coal industry, surface coal mining, selective mining technology, bulk mining.

На сегодняшний день угольная отрасль Кузбасса прошла путь формирования от начала до конца с позитивным результатом. Она стала полностью частной, а самое главное – впервые за все время ее существования – рентабельной. Очень большое внимание выделяется безопасности шахтерского труда, принимаются комплексные целевые программы по обеспечению безопасности и противоаварийной устойчивости. Именно в Кузбассе чаще всего зарождаются новые инициативы, опыт которых может быть полезен в других угледобывающих регионах.

Добыча и переработка углей – довольно объемные и сложные процессы, которые тесно взаимосвязаны между собой. И порой решение задач с одной стороны может привести к проблемам в другой.

Открытый или карьерный способ добычи применяется, если угольные пласты залегают неглубоко (до 100 м), и их мощность сравнительно не велика. Сейчас это самый используемый способ добычи в Кузбассе, так как у него есть ряд преимуществ: меньшие удельные капиталовложения на одну тонну добытого угля, более высокая производительность труда, скорость добычи, меньшие расходы строительных материалов, более низкие потери угля при разработке месторождений.

Параллельно с этим у данного способа имеются и недостатки. Открытый способ добычи предопределяет несравненно большие потери лучших сельскохозяйственных земель. Кроме того, нарушается режим подземных и поверхностных вод, происходит иссушение земель за счёт формирования депрессионных воронок, более интенсивное загрязнение атмосферы за счёт работы транспортных средств, применения буровзрывных работ. Зачастую о выравнивании карьеров и отвалов пород забывается. Поэтому процесс работ должен находиться под строгим контролем.

Самым главным недостатком, влияющим на дальнейшую переработку, является то, что уголь, залегающий близко к поверхности, часто содержит нежелательные примеси (породы).

При валовом способе отработки упрощается технология выемки полезного ископаемого, но одновременно усложняются процессы последующей его переработки. Количество обрушаемой породы, попадающей в пласт, колеблется от 0 до 70%. В зависимости от количества этой породы меняются гранулометрический и фракционный составы рядового угля, поступающего на переработку. При увеличении разубоженности возрастает зольность угля и ухудшаются технологические показатели получаемого концентрата [2].

При проведении исследования поставлена задача: рассмотреть влияние разубоженности рядового угля на технологические показатели товарного продукта, отгружаемого обогатительной фабрикой на примере ОФ «Северная».

Для решения задачи разработана математическая модель и блок-схема подпрограммы прогнозирования ситового и фракционного составов разубоженных углей. Процедура входит в состав программного комплекса, проходящего пробную эксплуатацию в лаборатории научных основ технологий обогащения угля Института угля ФИЦ УУХ СО РАН.

Назначение программного комплекса – компьютерное моделирование процессов и технологий обогащения ОФ «Северная» для определения

плотностей разделения при которых достигается наибольший выход концентрата требуемой зольности в зависимости от степени разубоженности рядового угля.

Блок-схема подпрограммы прогнозирования ситового и фракционного составов разубоженных углей при валовой выемке представлена на рисунке 1.

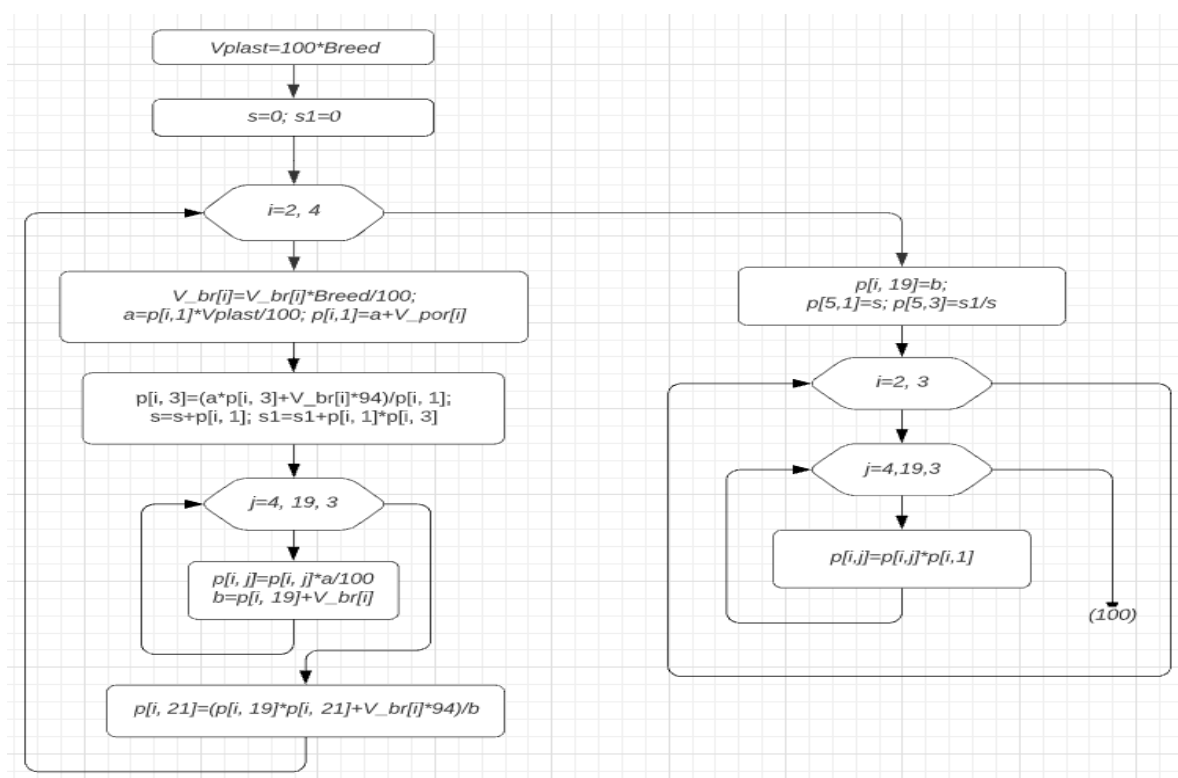


Рисунок 1. Блок-схема подпрограммы прогнозирования ситового и фракционного составов разубоженных углей при валовой выемке

Базовый вариант программного комплекса рассчитывает качественно-количественную и водно-шламовую схемы ОФ «Северная» в соответствии действующими временными нормами технологического проектирования обогатительных фабрик ВНТП-3.92.

1. Результаты расчета программным комплексом технологических показателей переработки неразубоженного угля

Исходными данными для расчета служат ситовый и фракционный составы пробы *неразубоженного* угля шахтопласта № 5 зольностью 30,9% (рис. 2).

C:\Users\VLADIM~1\Desktop\1DBC~1\SEV_62.EXE

Укажите номер 1 пласта по Каталогу ... 5
Доля его участия в относит. ед. 1

Количественная характеристика 5 пласта

Размер класса, мм	Ситовый состав		Фракционный состав											
	U	Ad	<1.3		1.3-1.4		1.4-1.5		1.5-1.6		1.6-1.8		>1.8	
>100	4.3	22.2												
50 - 100	8.9	34.5	13.1	6.4	36.7	10.2	9.8	17.2	1.3	41.0	3.5	52.3	35.6	73.2
25 - 50	8.9	35.9	4.8	5.9	43.9	11.3	9.7	17.8	1.7	27.4	4.6	42.7	35.3	74.9
13 - 25	15.4	32.1	4.4	6.4	44.7	10.8	16.3	17.0	2.5	28.1	4.6	44.3	27.5	78.1
6 - 13	13.4	29.7	6.3	6.3	43.5	10.8	18.1	16.8	3.3	29.5	4.6	42.7	24.2	77.0
3 - 6	13.8	31.1	11.3	5.5	33.2	10.3	20.3	16.6	3.9	28.7	4.5	42.2	26.8	77.2
2 - 3	4.7	31.5	18.3	5.1	23.7	9.9	22.3	15.5	3.0	27.9	3.3	41.3	29.4	76.7
1 - 2	8.4	30.9	12.3	3.2	28.3	9.3	22.3	15.9	4.4	28.2	5.4	42.6	27.3	76.3
.5 - 1	7.8	29.1	17.1	2.6	24.5	9.0	22.4	15.4	5.2	27.4	4.9	42.7	25.9	75.3
.3 - 0.5	3.2	25.5	25.2	2.5	26.5	9.0	19.2	16.1	2.6	29.7	4.0	42.2	22.5	75.2
.15 - 0.3	4.4	27.3	23.8	2.4	25.6	8.8	17.5	16.2	4.6	27.8	2.9	41.6	25.6	74.9
.05 - 0.15	2.3	31.0	22.9	2.2	21.0	7.4	17.2	18.4	3.8	26.9	3.8	39.8	31.3	74.3
0 - 0.05	4.5	31.8												
Итого	100.0	30.9												

Рисунок 2. Ситовый и фракционный состав *неразубоженного* угля шахтопласта 5 зольностью 30,9%

Далее программный комплекс рассчитывает количественный состав шихты по машинным классам 25-100, 2-25, 0,15-2 и 0-0,15 мм с учетом дробления и измельчения угля в процессе транспортировки (рис. 3).

C:\Users\VLADIM~1\Desktop\1DBC~1\SEV_62.EXE

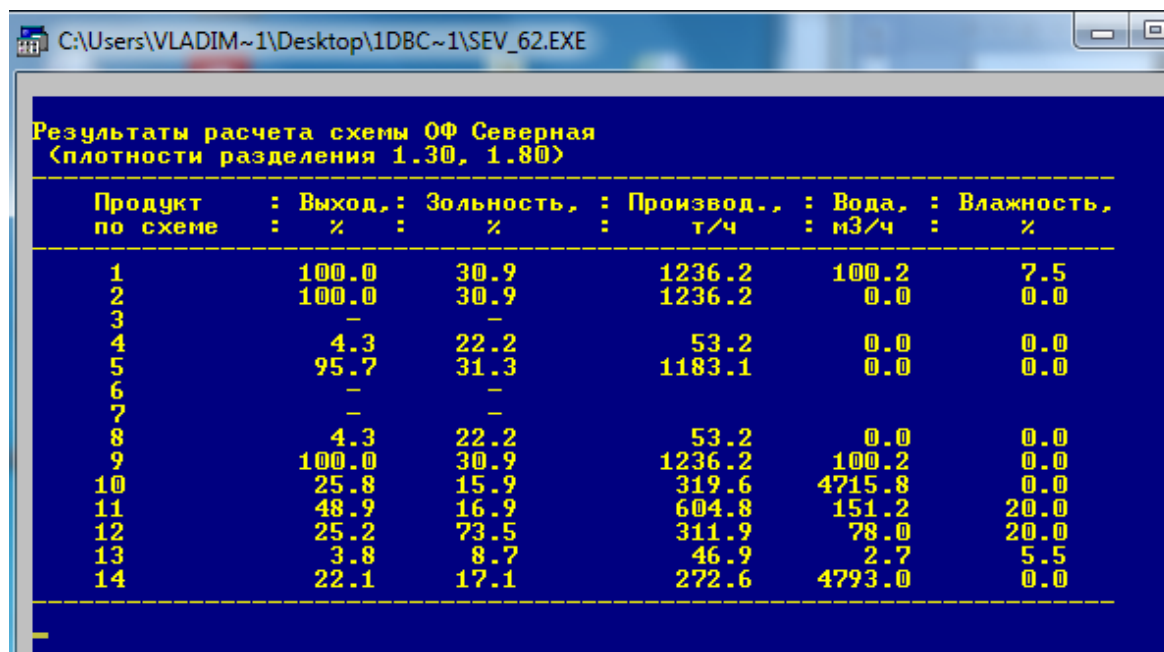
Характеристика шихты после истирания

Размер класса, мм	Ситовый состав		Фракционный состав											
	U	Ad	<1.3		1.3-1.4		1.4-1.5		1.5-1.6		1.6-1.8		>1.8	
25 - 100	18.2	34.6	1.8	6.3	7.3	10.8	1.8	17.5	0.3	33.3	0.7	46.8	6.3	74.0
2 - 25	48.4	30.7	4.3	5.7	18.8	10.6	9.0	16.6	1.5	28.7	2.1	43.0	12.6	77.4
.15 - 2	24.3	28.6	4.4	2.7	6.4	9.1	5.1	15.8	1.1	27.9	1.1	42.5	6.2	75.6
0 - 0.15	9.1	31.1												
Итого	100.0	30.9												

Рисунок 3. Ситовый и фракционный состав машинных классов *неразубоженного* угля шахтопласта 5 зольностью 30,9% после дробления и истирания

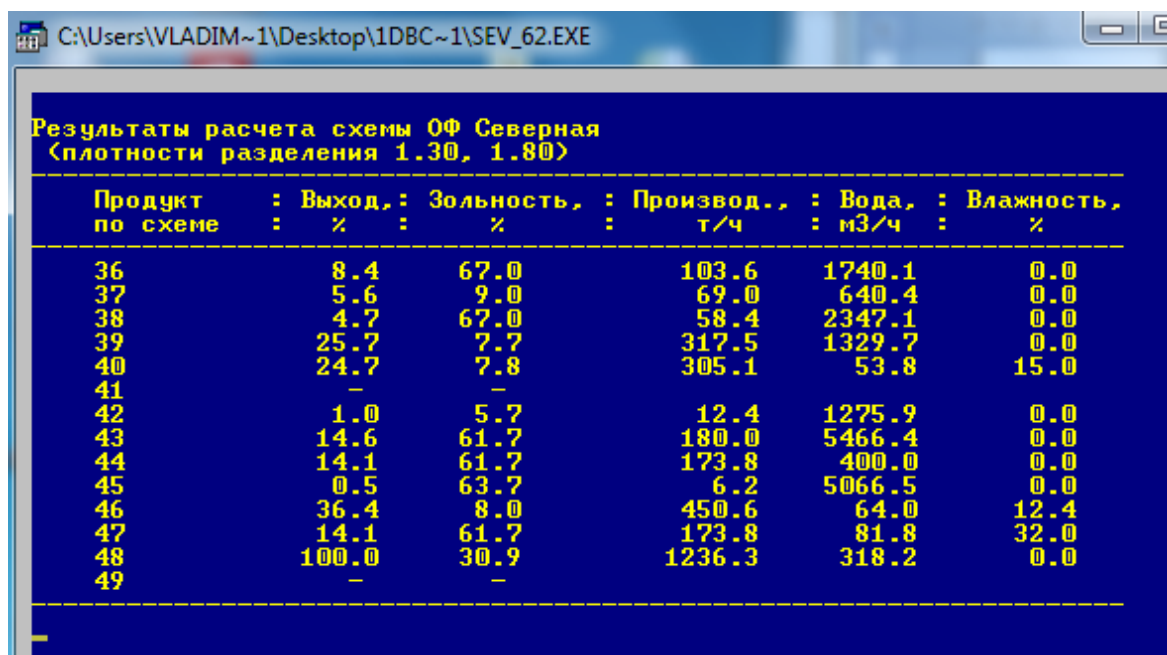
На рисунках 4 и 5 показаны окна работы программы, в которых представлены результаты расчетов качественно-количественных показателей продуктов переработки с 1 по 14 и с 36 по 48 технологической схемы для часовой производительности 1236,2 т/ч и плотностей разделения в от-

садовой машине 1,3 и 1,8 г/см³. Программный комплекс рассчитывает также объем воды и влажность продуктов переработки.



Продукт по схеме	Выход, %	Зольность, %	Производ., т/ч	Вода, м³/ч	Влажность, %
1	100.0	30.9	1236.2	100.2	7.5
2	100.0	30.9	1236.2	0.0	0.0
3	—	—	—	—	—
4	4.3	22.2	53.2	0.0	0.0
5	95.7	31.3	1183.1	0.0	0.0
6	—	—	—	—	—
7	—	—	—	—	—
8	4.3	22.2	53.2	0.0	0.0
9	100.0	30.9	1236.2	100.2	0.0
10	25.8	15.9	319.6	4715.8	0.0
11	48.9	16.9	604.8	151.2	20.0
12	25.2	73.5	311.9	78.0	20.0
13	3.8	8.7	46.9	2.7	5.5
14	22.1	17.1	272.6	4793.0	0.0

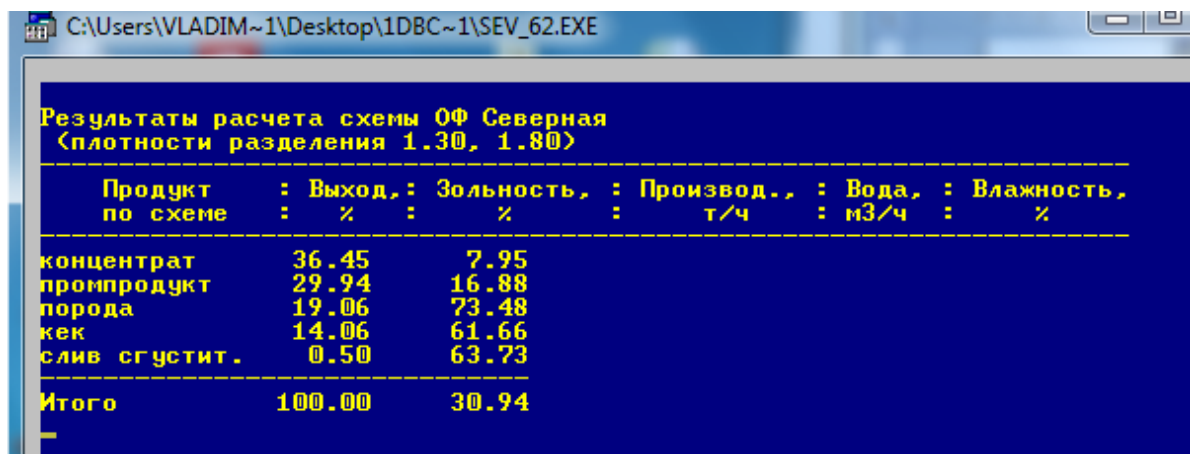
Рисунок 4. Результаты расчета показателей продуктов переработки с 1 по 14, получаемых по схеме ОФ «Северная» для *неразубоженного* угля при плотностях разделения 1,3 и 1,8 г/см³



Продукт по схеме	Выход, %	Зольность, %	Производ., т/ч	Вода, м³/ч	Влажность, %
36	8.4	67.0	103.6	1740.1	0.0
37	5.6	9.0	69.0	640.4	0.0
38	4.7	67.0	58.4	2347.1	0.0
39	25.7	7.7	317.5	1329.7	0.0
40	24.7	7.8	305.1	53.8	15.0
41	—	—	—	—	—
42	1.0	5.7	12.4	1275.9	0.0
43	14.6	61.7	180.0	5466.4	0.0
44	14.1	61.7	173.8	400.0	0.0
45	0.5	63.7	6.2	5066.5	0.0
46	36.4	8.0	450.6	64.0	12.4
47	14.1	61.7	173.8	81.8	32.0
48	100.0	30.9	1236.3	318.2	0.0
49	—	—	—	—	—

Рисунок 5. Результаты расчета показателей продуктов переработки с 36 по 48, получаемых по схеме ОФ «Северная» для *неразубоженного* угля при плотностях разделения 1,3 и 1,8 г/см³

На рисунке 6 показан фрагмент работы программного комплекса, на котором представлены технологические показатели конечных продуктов переработки, полученных из *неразубоженного* угля.



Результаты расчета схемы ОФ Северная
(плотности разделения 1.30, 1.80)

Продукт по схеме	Выход, %	Зольность, %	Производ., т/ч	Вода, м3/ч	Влажность, %
концентрат	36.45	7.95			
промпродукт	29.94	16.88			
порода	19.06	73.48			
жк	14.06	61.66			
слив сгустит.	0.50	63.73			
Итого	100.00	30.94			

Рисунок 6. Практический баланс конечных продуктов переработки, получаемых по схеме ОФ «Северная» из *неразубоженного* угля при плотностях разделения 1,3 и 1,8 г/см³

2. Результаты расчета программным комплексом технологических показателей переработки *разубоженного* угля до зольности 35,0%

Сначала на запрос программы вводится с клавиатуры значение зольности *разубоженного* угля 35,0%, для которой рассчитываются ситовый и фракционный составы для 13 классов угля шахтопласта 5 (рис. 7) и количественный состав шихты по машинным классам 25-100, 2-25, 0,15-2 и 0-0,15 мм с учетом дробления и измельчения угля в процессе транспортировки (рис. 8).

Фактическая зольность пласта ... 35														
Количественная характеристика 5 пласта (скорректированная)														
Размер класса, мм	Ситовый состав U Ad		Фракционный состав											
			<1.3 U Ad		1.3-1.4 U Ad		1.4-1.5 U Ad		1.5-1.6 U Ad		1.6-1.8 U Ad		>1.8 U Ad	
>100	4.7	32.0												
50 - 100	9.0	38.7	12.2	6.4	34.1	10.2	9.1	17.2	1.2	41.0	3.3	52.3	40.2	76.9
25 - 50	9.0	40.0	4.5	5.9	40.8	11.3	9.0	17.8	1.6	27.4	4.3	42.7	39.9	78.3
13 - 25	15.1	34.7	4.2	6.4	42.8	10.8	15.6	17.0	2.4	28.1	4.4	44.3	30.6	80.3
6 - 13	13.2	32.8	6.0	6.3	41.4	10.8	17.2	16.8	3.1	29.5	4.4	42.7	27.9	79.9
3 - 6	13.6	34.1	10.8	5.5	31.6	10.3	19.3	16.6	3.7	28.7	4.3	42.2	30.2	79.8
2 - 3	5.0	39.4	16.0	5.1	20.7	9.9	19.5	15.5	2.6	27.9	2.9	41.3	38.3	82.4
1 - 2	8.5	35.6	11.4	3.2	26.2	9.3	20.6	15.9	4.1	28.2	5.0	42.6	32.7	80.3
.5 - 1	7.6	31.8	16.4	2.6	23.5	9.0	21.5	15.4	5.0	27.4	4.7	42.7	29.0	78.0
.3 - 0.5	3.3	32.1	22.8	2.5	24.0	9.0	17.4	16.1	2.4	29.7	3.6	42.2	29.9	81.2
.15-0.3	4.4	32.1	22.1	2.4	23.8	8.8	16.2	16.2	4.3	27.8	2.7	41.6	30.9	79.3
.05-0.15	2.3	36.1	21.0	2.2	19.3	7.4	15.8	18.4	3.5	26.9	3.5	39.8	36.9	78.6
0 -0.05	4.3	33.6												
Итого	100.0	35.0												

Рисунок 7. Ситовый и фракционный состав *разубоженного* угля шахтопласта 5 зольностью 35,0%

C:\Users\VLADIM~1\Desktop\1DBC~1\SEV_62.EXE

Характеристика шихты после истирания

Размер класса, мм	Ситовый состав		Фракционный состав											
	U	Ad	<1.3		1.3-1.4		1.4-1.5		1.5-1.6		1.6-1.8		>1.8	
25 - 100	18.4	39.0	1.6	6.3	6.9	10.8	1.7	17.5	0.3	33.3	0.7	46.8	7.3	77.6
2 - 25	48.1	34.4	3.9	5.7	17.7	10.6	8.4	16.6	1.4	28.7	2.0	43.0	14.6	80.3
.15- 2	24.5	33.2	4.1	2.7	6.0	9.1	4.8	15.8	1.0	27.9	1.0	42.5	7.5	79.6
0 -0.15	9.0	34.5												
Итого	100.0	35.0												

Рисунок 8. Ситовый и фракционный состав машинных классов *разубоженного* угля шахтопласта 5 зольностью 35,0% после дробления и истирания

Практический баланс продуктов обогащения, полученных из *разубоженного* угля показан на рисунке 9.

C:\Users\VLADIM~1\Desktop\1DBC~1\SEV_62.EXE

Результаты расчета схемы ОФ Северная
(плотности разделения 1.30, 1.80)

Продукт по схеме	Выход, %	Зольность, %	Производ., т/ч	Вода, м3/ч	Влажность, %
концентрат	32.38	7.74			
промпродукт	28.29	17.40			
порода	22.31	75.64			
кек	16.51	62.51			
слив сгустит.	0.50	64.57			
Итого	100.00	34.95			

Рисунок 9. Практический баланс конечных продуктов переработки, получаемых из *разубоженного* угля по схеме ОФ «Северная» из *разубоженного* угля при плотностях разделения 1,3 и 1,8 г/см³

В результате вычислительного эксперимента получены результаты технологических показателей концентратов, полученные при плотностях разделения 1300, 1400, 1500, 1600 и 1700 кг/м³, представленные в таблице и на рисунке 10 для *неразубоженной* пробы ($A^d=30,9\%$), а также для *разубоженных* до $A^d=35,0\%$ и $A^d=41,0\%$.

Показатель разделения, кг/м ³	Зольность пробы, %					
	30,9		35,0		41,0	
	Показатель концентрата, %					
	Выход	Зольность	Выход	Зольность	Выход	Зольность
1300	35,45	7,95	32,38	7,74	26,33	7,31
1400	50,07	9,12	45,15	9,02	37,81	8,83
1500	58,98	10,14	53,53	10,09	45,37	10,00
1600	63,31	10,96	57,61	10,95	49,08	10,95
1700	65,67	11,80	59,89	11,91	51,25	12,12

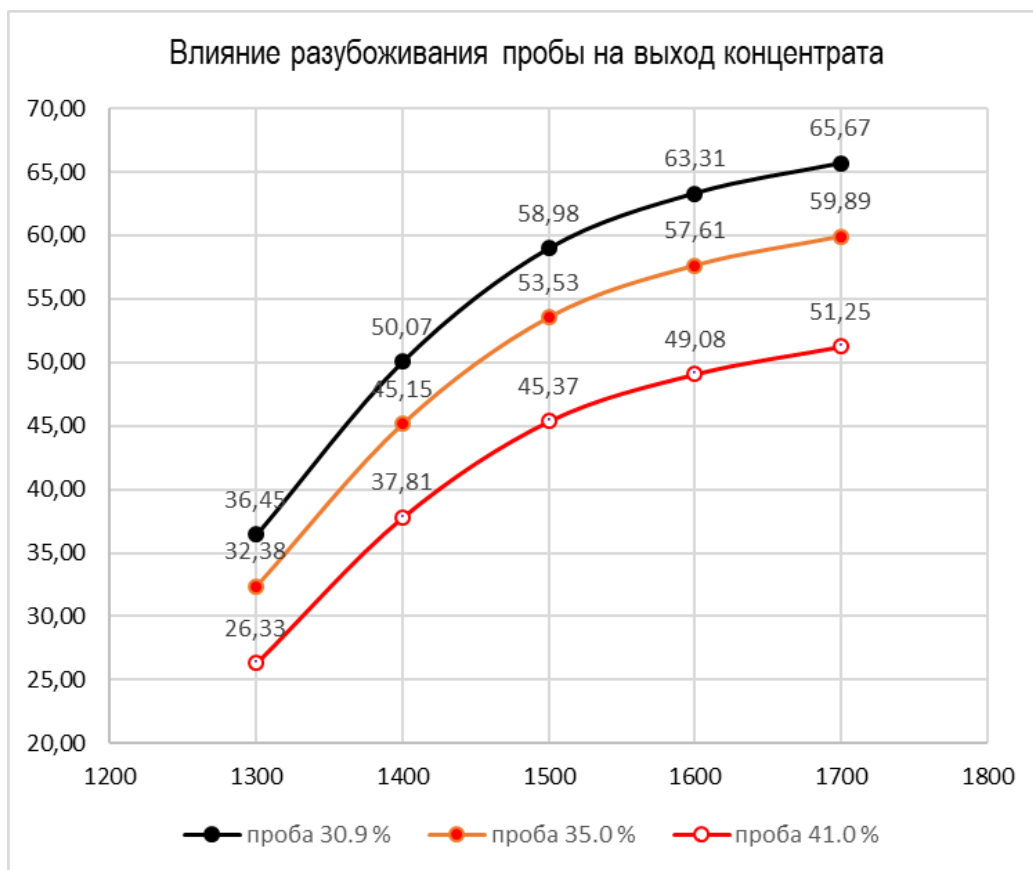


Рисунок 10. Влияние разубоживания пробы угля на выход концентрата при различных плотностях разделения в отсадочной машине

Опытная эксплуатация проблемно-ориентированного программного комплекса расчета технологических показателей концентрата, полученного из разубоженного угля по технологической схеме ОФ «Северная», позволила установить:

- зольность концентрата по плотностям разделения колеблется незначительно, т.к. за критерий оптимальности принималась ее заданная величина;
- повышение зольности разубоженной пробы угля до 10%, приводит к снижению выхода концентрата более, чем на 10% (чем выше плотность разделения, тем больше эта разница);
- уменьшая потери при валовой выемке пластов за счет разубоживания приходится терять горючую массу с отходами переработки на обогачительных фабриках.

Список литературы

1. Сысоев, А.А. Обоснование рациональных показателей извлечения разубоженного угля на разрезах: дис. на соискание ученой степени докт. техн. наук. – КузГТУ, Кемерово, 1998.
2. Паначев, И.А. Особенности открытой добычи и переработки углей сложноструктурных месторождений Кузбасса / И.А. Паначев, А.Г. Нецветаев, И.И. Цепилов, В.И. Удовицкий. – Кемерово: Кузбассвузиздат, 1997. – 215 с.
3. Кандинская, И.В. Математическое моделирование технологических процессов на обогатительной фабрике «Распадская» / И.В. Кандинская, В.И. Удовицкий, А.Н. Сывороткин // Горный информационно-аналитический бюллетень. Отдельный выпуск № 7. – 2009. – С. 96-100.
4. Удовицкий, В.И. Моделирование подготовительных и основных процессов переработки каменных углей / В.И. Удовицкий. – Кемерово: Кузбассвузиздат, 1998. – 500 с.
5. Удовицкий, В.И. Основы имитационного проектирования на ПЭВМ сырьевой базы и схем гравитационной переработки каменных углей: учеб. пособие / В.И. Удовицкий; Кузбасс. гос. тех. ун-т. – Кемерово, 1997. – 215 с.
6. Влияние зольности обогащаемого угля на технологические показатели концентрата / Удовицкий, В.И., Л.Н. Меркушева, В.А. Кандинский, А.И. Костенюк // Современные тенденции и инновации в науке и производстве: Материалы VI Международной научно-практической конференции – КузГТУ. – Междуреченск, 2017. – С. 56-57.

Работа выполнена в Лаборатории научных основ технологий обогащения угля Института угля ФИЦ УУХ СО РАН под руководством доктора технических наук, профессора В.И. Удовицкого.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЛЬТРАЦИОННОГО ТЕЧЕНИЯ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СУСПЕНЗИЙ
ПРИ ЗАПОЛНЕНИИ ТРЕЩИН ГОРНЫХ ПОРОД**

**INVESTIGATION OF THE FILTRATION FLOW
OF TECHNOLOGICAL SUSPENSIONS
WHEN FILLING CRACKS IN ROCKS**

*Кулик Денис Петрович, ведущий инженер, Лаборатория геомеханики
и геометризации угольных месторождений Института угля
ФИЦ УУХ СО РАН*

*Denis.P.Kulik, lead engineer, geomechanics and geometrization
of coal deposits laboratory of Coal Institute FRC CCC SB RAS
E-mail: kdp-sbras@mail.ru*

Аннотация: Предложен подход для исследования реологических и качественных характеристик технологических суспензий (ТС) на реологическом стенде. Проведена оценка основных характеристик течения ТС на примере водной смеси шлакопортландцемента по искусственной горизонтальной трещине. Установлена количественная нелинейная зависимость между массовым расходом и концентрацией ТС. Выявлены три режима течения, связанных со скоростью потока и седиментацией частиц шлакопортландцемента, в плоском потоке.

Abstract: An approach is proposed for the study of rheological and qualitative characteristics of technological suspensions (TS) on a rheological stand. The assessment of the main characteristics of the flow of the TS on the example of an aqueous mixture of slag-Portland cement on an artificial horizontal crack was carried out. A quantitative nonlinear relationship between the mass flow rate and the concentration of the TS has been established. 3 flow modes associated with the flow rate and sedimentation of slag-Portland cement particles in a flat flow have been identified.

Введение

Проблема управления физическим состоянием массива горных пород при ведении строительных подземных работ является актуальной. Одним из эффективных способов управления физическим состоянием массива горных пород с целью повышения герметичности и устойчивости, а также уплотнения и упрочнения породных обнажений, является инъекционный тампонаж технологическими суспензиями (ТС) [1, 2, 3]. Технология заключается в создании облицовочно-изоляционного слоя и нагнетании под его защитой в шпуровые ТС под давлением для заполнения трещин горных пород. Данная технология получила широкое применение в направлении добычи полезных ископаемых, нефтегазодобычи и подземном строительстве [4, 5, 6, 7, 8].

Рациональный режим инъекционного тампонажа связан с физико-механическими характеристиками ТС. Возведённая изоляционная завеса должна обеспечивать полноценную герметичность и изолированность контура, а также его высокую устойчивость на заданный период эксплуатации.

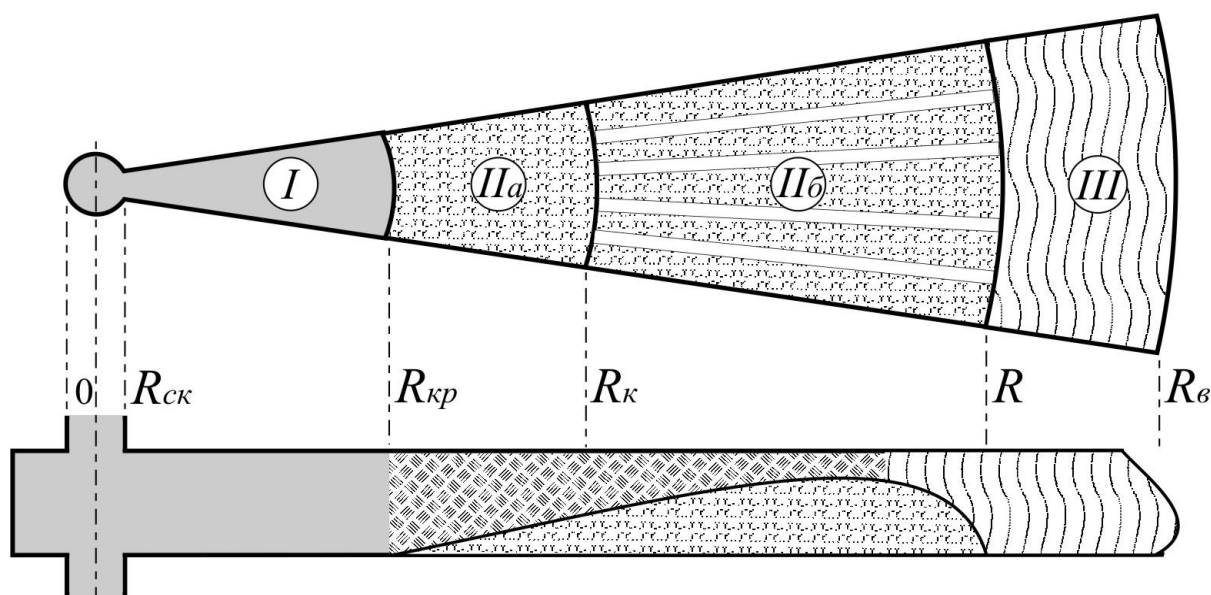
Однако, существующие технологии не учитывают особенности фильтрационного течения ТС в трещиновато-пористой среде; применяемые ТС нестабильны, имеют ограниченную проникающую способность и несбалансированный состав, что не обеспечивает ожидаемого качества заполнения трещин [9].

Аналитический обзор

После приготовления ТС начинается процесс седиментации твердых частиц на дно емкости, а жидкая фаза поднимается вверх. На процесс седиментации и водоотделения оказывают влияние концентрация твердых частиц, их размер и вязкость жидкой фазы. Распределение воды в осевшей твердой массе неравномерно. Плотность осевшей твердой массы в нижней части емкости больше, чем в верхней [10].

Основными характеристиками движения раствора по трещине являются его скорость v и радиус распространения R . Перенос цементных частиц в трещине возможен только при скорости течения ТС v больше критической (минимальной безосадочной) $v_{кр}$, ниже которой начинается осаждение твердой фазы. При достижении раствором радиуса равному $R_{кр}$, который соответствует скорости $v_{кр}$, седиментация твердой фазы происходит в достаточно малой окрестности. В результате седиментации твердых частиц

в процессе течения потока раствора в пространстве трещины происходит отфильтровывание жидкой фазы с непрерывным повышением концентрации и изменением структурно-реологических характеристик ТС, тем самым снижая её проникающую способность и радиус распространения. При этом пропускная способность трещины для твердых частиц ограничена и при постоянном повышении концентрации ТС настанет момент полной остановки потока, т.е. массовый (объемный) расход становится равным нулю. Таким образом, при фильтрации ТС по длине потока выделяются зоны: безосадочной фильтрации, осадкообразования и распространения отфильтровываемой жидкой фазы раствора (рис. 1) [11, 12, 13, 14].



I – зона безосадочной фильтрации; IIa – зона осадкообразования с осесимметричным течением раствора; IIб – зона осадкообразования с плоскопараллельным течением раствора по отдельным каналам; III – зона распространения отфильтровываемой жидкой фазы раствора; $R_{ск}$ – радиус скважины, м; R_k – радиус контура зоны распространения раствора, м; R_v – радиус границы удаления отфильтровываемой жидкой фазы, м

Рисунок 1. Схема фильтрации

Также известно, что в двухфазном течении, при наличии зависимости между расходом и концентрацией, всегда наблюдаются волновые процессы при массопереносе частиц [15].

Для оценки скорости движения и расхода твердых частиц в плоско-параллельном потоке раствора используется формула линейной плотности потока раствора χ , кг/м [10]:

$$\chi = \frac{M_{\text{ц}}}{V_{\text{р}}/S_{\text{тр}}} = \frac{Ц}{(Ц/\rho_{\text{ц}} + В/\rho_{\text{в}})/S_{\text{тр}}}, \quad (1)$$

где $M_{\text{ц}}$ – масса цемента в трещине, кг; $V_{\text{р}}$ – объем раствора в трещине, м³; $S_{\text{тр}}$ – площадь трещины, м²; Ц и В – относительное массовое содержание твердых частиц и воды в растворе концентрацией $\alpha = Ц:В$; $\rho_{\text{ц}}$ и $\rho_{\text{в}}$ – плотность соответственно твердой частицы и воды, $\rho_{\text{ц}} = 3000$ кг/м³, $\rho_{\text{в}} = 1000$ кг/м³.

Для исследования процессов фильтрации ТС широкое применение получили капиллярные вискозиметры [16, 17, 18, 19]. Метод капиллярной вискозиметрии заключается в измерении времени протекания определенного количества (объема) жидкости или газа из резервуара через каналы различной геометрической формы, под действием перепада давлений или только силы тяжести, что моделирует реальные условия проведения инъекционных работ. Для макрообъемов в виде трещины рационально производить исследования с помощью капилляра прямоугольной формы, т.е. на щелевом вискозиметре.

Для моделирования фильтрационных течений в пористых средах с однородной проницаемостью широкое применение получила ячейка Хеле-Шоу. Ячейка состоит из двух параллельных пластин с небольшим зазором, существенно меньшим, чем ширина пластин. При протекании жидкости под давлением через пористую среду и при протекании менее вязкой жидкости через более вязкую на границе раздела сред образуются структуры, называемые «вязкими пальцами». Они возникают в результате морфологической неустойчивости границы раздела между двумя жидкостями. В таком случае, градиент давления между концом пальца менее вязкой жидкости и внешней границей более вязкой жидкости больше, чем между вогнутостью и внешней границей, поэтому по закону Дарси скорость течения в конце пальца больше, чем в вогнутости, таким образом, палец начинает расти, вытягиваясь вдоль наиболее удаленных частей [20, 21].

Цель исследования: исследование процесса движения потока ТС в пространстве трещины для выявления оптимальных параметров процесса инъекционного тампонажа и процессов массопереноса при фильтрации вдоль плоской трещины.

Задачи исследования:

- разработать методику исследования фильтрационного течения технологических суспензий при заполнении трещин горных пород;
- установить зависимость между расходом и концентрацией потока активной технологической водотвердой суспензии при фильтрации через трещину;
- качественно оценить основные режимы фильтрации ТС по длине потока в плоской трещине.

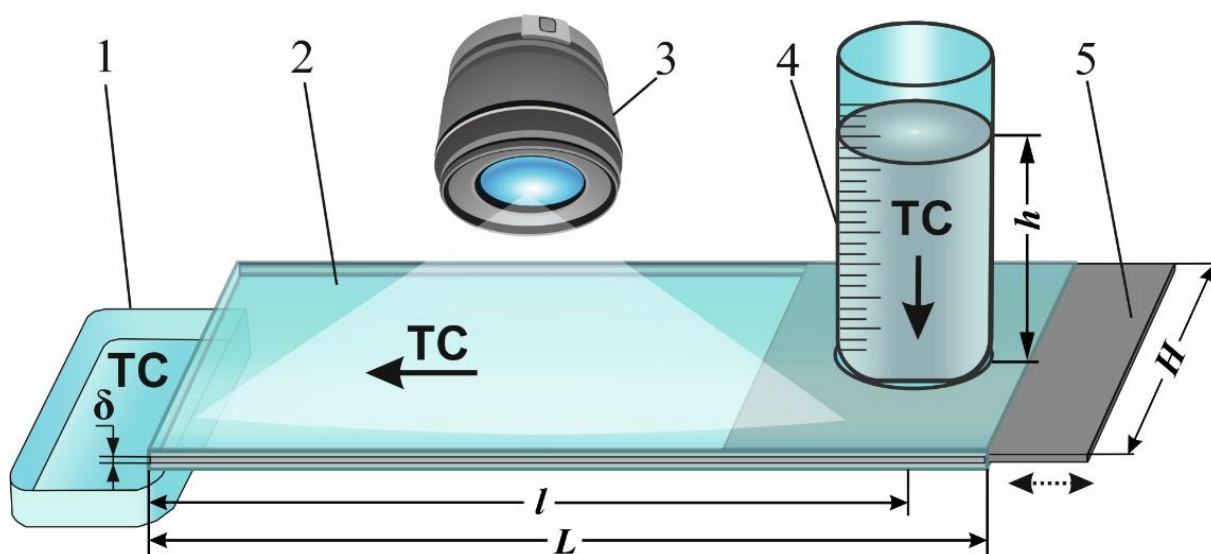
Методика исследования

Для исследования процесса движения потока ТС в пространстве трещины разработан реологический стенд, основанный на принципе щелевого вискозиметра.

Стенд состоит из: подающей емкости 4, в которой смесителем перемешивается ТС, для исключения явления седиментации; рабочей камеры (трещины) 2, по которой должен проходить раствор, поступающий в приемную емкость 1; шиберной заслонки 5, при открытии которой раствор из подающей емкости поступает в рабочую камеру и устройства с функцией записи фото/видео 3. Рабочая камера выполнена в виде искусственной трещины, состоящей из двух параллельных стеклянных пластин с наведенной шероховатостью, где L – длина модели трещины, м; H – ширина модели трещины, м; l – расстояние до центра спускового отверстия до конца модели трещины, м; δ – ширина раскрытия трещины, м; h – высота столба ТС, м (рис. 2).

Перед проведением эксперимента подготавливается стенд. Шиберная заслонка перемещается в закрытое положение. Подготавливается устройство для записи фото/видео. Далее для проверки перед испытаниями герметичности стенда и работы шиберной заслонки подающую емкость заполняют чистой водой.

Образцы ТС для исследований готовим следующим образом. Необходимое количество минерального наполнителя затворить в водопроводной воде, достигая нужного для исследования массового водоцементного отношения. Объем полученного раствора не должен превышать объем подающей емкости. С помощью смесителя раствор перемешивается до полного смешения. Замеряется объем раствора и его масса.



- 1 – сливная емкость; 2 – модель трещины с наведенной шероховатостью;
 3 – устройство записи фото/видео; 4 – подающая емкость;
 5 – шиберная заслонка

Рисунок 2. Реологический стенд для исследования процесса движения ТС по плоскопараллельной трещине

Исследования необходимо проводить в следующем порядке. В подающую емкость заливается заданное количество исследуемой ТС. Шиберная заслонка находится в закрытом положении, при этом сообщение между подающей и сливной емкостями отсутствует. Устройство записи фото/видео устанавливается в режим ожидания видеозаписи. После открытия шиберной заслонки ТС поступает из подающей емкости в рабочую камеру. После истечения заданного объема ТС в принимающую емкость эксперимент останавливается.

После проведения эксперимента необходимо выполнить промывку стенда чистой водой.

Обработка полученных данных проводится путем их визуального и графического анализа. Строится график зависимости между концентрацией раствора α и расходом при фиксированном объеме истечения и давлении. По формуле (1) рассчитывается линейная плотность потока раствора χ . При анализе результатов исследований строится зависимость массового расхода по цементу Q_m (кг/с) от линейной плотности потока частиц цемента χ . Полученные изображения позволяют оценить особенности фильтрационного течения ТС в пространстве трещины.

Исходные данные и используемое оборудование

Для приготовления раствора использовался шлакопортландцемент ЦЕМ II/A-Ш 32.5 Б (ООО «Топкинский цемент», г. Топки). Измерение массы воды и цемента осуществлялось с помощью лабораторных весов М-ER 122ACFJR-300.005. Достигнув необходимого массового водоцементного отношения раствор перемешивался до полного смешения с помощью лабораторного смесителя с 1450 об/мин.

Стенд выполнен по следующим размерам: $L = 0,27$ м; $H = 0,07$ м, мм; $l = 0,23$ м; $\delta = 0,001$ м и $h = 100$ мм. Объем подающей емкости составляет 500 мл. Начальное давление нагнетания составляло 100 Па, которое падало до 40 Па в процессе естественного гидростатического истечения ТС, объемом 300 мл, через крупное отверстие диаметром 26 мм, при комнатной температуре 22 °С. Для записи фото/видео использовалась камера с разрешением 3840×2160 пикселей и частотой 60 кадров/с.

Результаты и анализ исследования

Полученные результаты исследований фильтрационного течения ТС в пространстве трещины представлены в таблице 1.

Таблица 1

Результаты исследований фильтрационного течения ТС
в пространстве трещины

Ц/В, кг/кг	α	$M_{ц}$, кг	χ , кг/м	Q_m , кг/с	t , с
1/1	1	0,012	0,048	0,037	130
1/1,25	0,8	0,010	0,040	0,067	72
1/1,5	0,67	0,009	0,035	0,102	43
1/1,75	0,57	0,008	0,030	0,119	35
1/2	0,5	0,006	0,026	0,157	25

На основании полученных результатов построен график зависимости между концентрацией раствора и временем его истечения из щели при фиксированном объеме истечения и давлении (рис. 3).

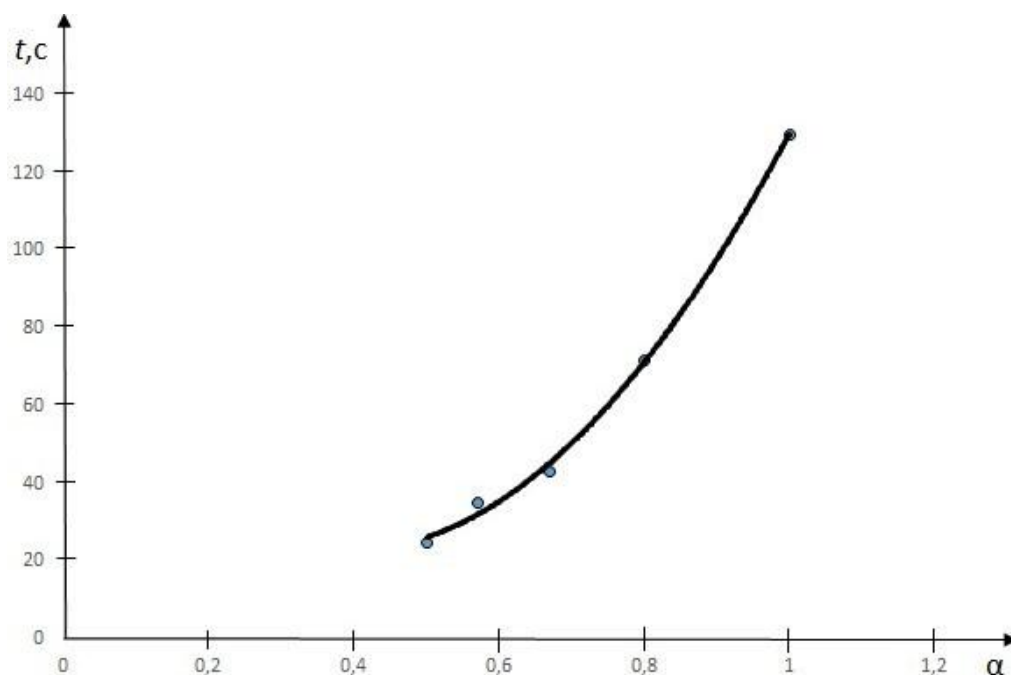


Рисунок 3. Зависимость между концентрацией раствора α и временем его истечения из щели при фиксированном объеме истечения и давлении

При анализе результатов исследований получена зависимость массового расхода по цементу Q_m (кг/с) от линейной плотности потока частиц цемента χ (рис. 4).

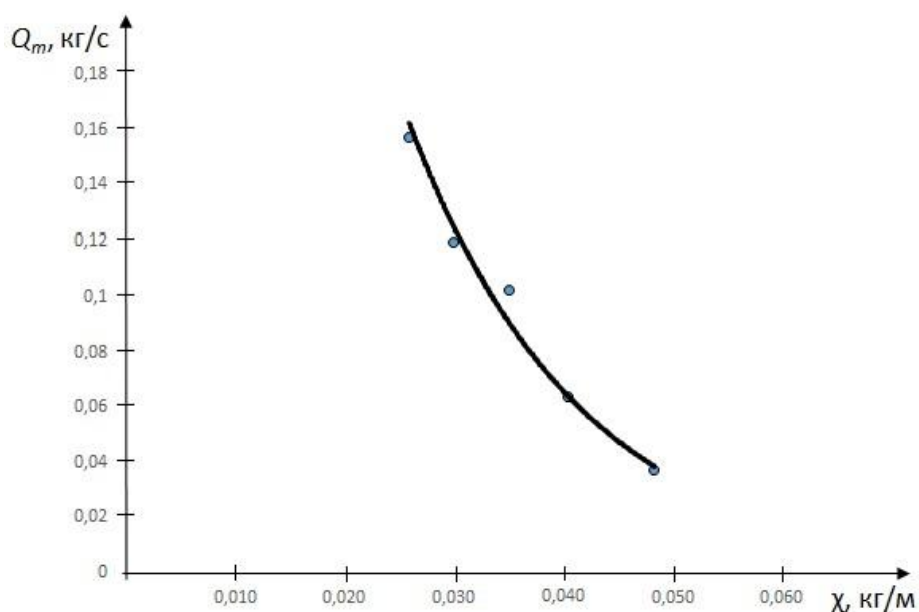


Рисунок 4. Зависимость изменения массового расхода по цементу от линейной плотности потока частиц цемента при его истечении из щели

На рисунках 5-9 представлены изображения течения ТС при различных отношениях Ц/В, полученные в результате эксперимента. В результате анализа полученных изображений выделены следующие стадии фильтрационного течения ТС при движении по трещине:

I стадия – выход на установившийся режим течения – начало заполнения трещины, фронт движения неоднородный;

II стадия – установившееся течение ($v \geq v_{кр}$) – однородный поток. На данном этапе движения ТС преобладают реологические характеристики самой ТС;

III стадия — установившееся течение ($v < v_{кр}$) при снижении давления нагнетания снижается и скорость потока $v < v_{кр}$, начинается процесс седиментации и отфильтровывания жидкой фазы раствора, более крупные частицы создают сопротивление для движения мелких частиц, мелкие частицы выносятся на поверхность и формируется фронт движения более мелких частиц с меньшим объемным весом при фильтрационном течении потока – магистральный поток, от которого отделяются русловые потоки в сторону боковых стенок трещины. На данном этапе начинают проявляться структурные характеристики твердых частиц и механические процессы массопереноса, что и влияет на развитие магистрального потока и русловых течений. Наблюдается некоторая сродность характера формирования магистральных потоков и русловых течений с явлением «вязких пальцев».

Таким образом, проведенные опыты показывают нелинейную зависимость между массовым расходом и концентрацией ТС, а также качественное различие стадий фильтрации ТС вдоль плоской трещины с явным выделением 3 основных режимов фильтрационного течения по горизонтальной трещине.

Выводы

1. Разработана методика исследования фильтрационного течения технологических суспензий (ТС) при заполнении трещин горных пород. Данная методика позволяет оценить качественные и количественные характеристики при фильтрационном течении ТС вдоль плоской трещины, моделирующей поведение трещины в реальном массиве горных пород.

2. Установлена нелинейная зависимость изменения массового расхода по цементу от линейной плотности потока частиц цемента при фильтрационном течении ТС в пространстве плоской трещины.

3. Выделены три основные стадии фильтрационного течения ТС при движении по трещине. Понимание режимов течения поможет обосно-

вать технологические характеристики инъекционного тампонажа трещин горных пород.

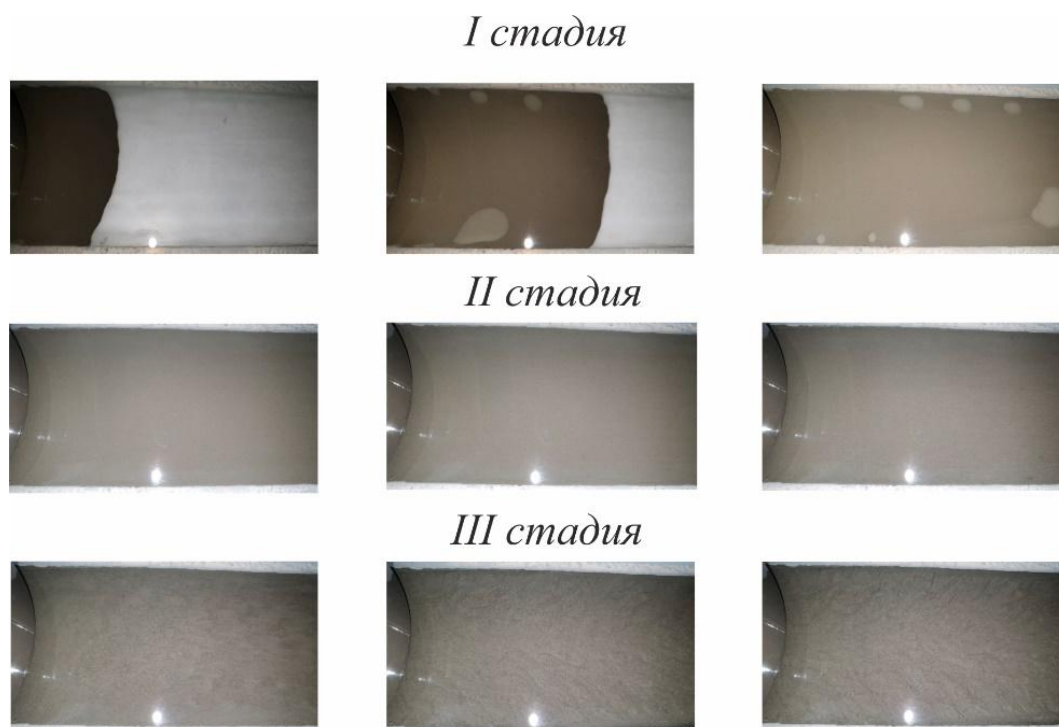


Рисунок 5. Фотоизображения выявленных стадий течения ТС в плоской трещине при исходной концентрации Ц/В = 1/1

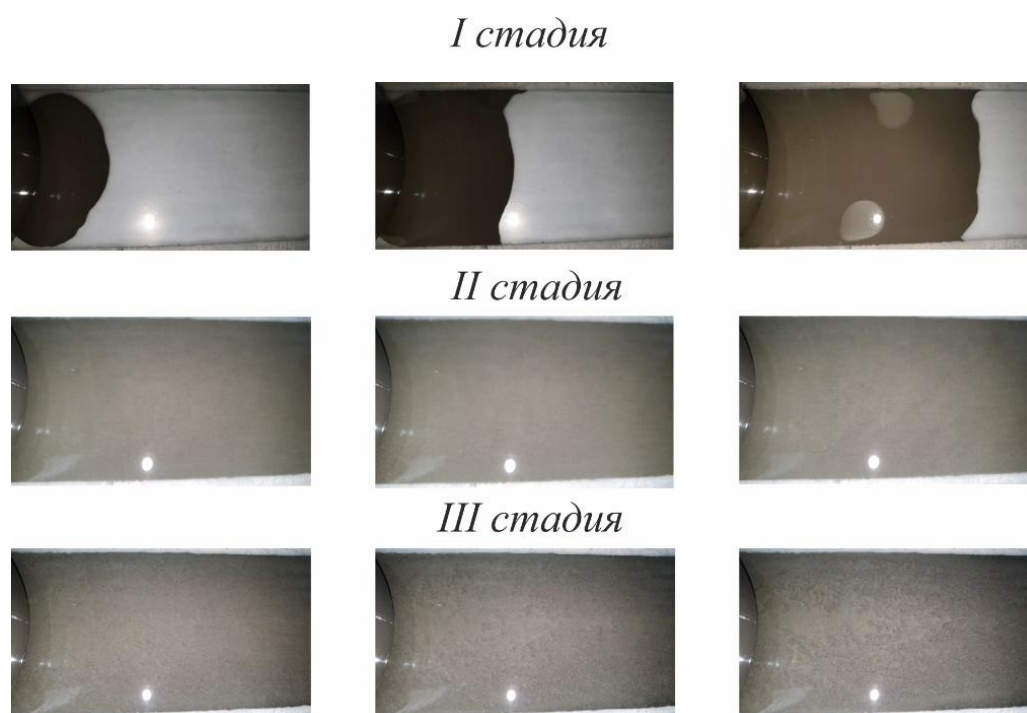


Рисунок 6. Фотоизображения выявленных стадий течения ТС в плоской трещине при исходной концентрации Ц/В = 1/1,25

I стадия



II стадия



III стадия



Рисунок 7. Фотоизображения выявленных стадий течения ТС в плоской трещине при исходной концентрации $C/V = 1/1,5$

I стадия



II стадия



III стадия



Рисунок 8. Фотоизображения выявленных стадий течения ТС в плоской трещине при исходной концентрации $C/V = 1/1,75$

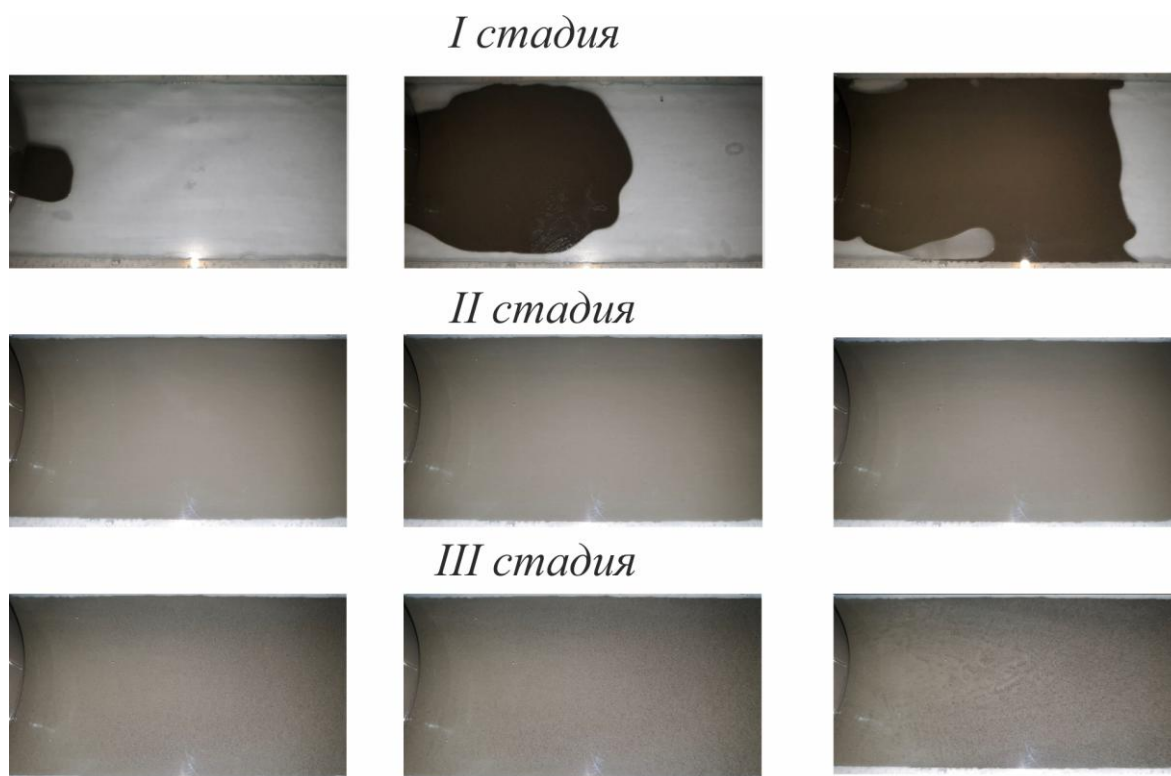


Рисунок 9. Фотоизображения выявленных стадий течения ТС в плоской трещине при исходной концентрации Ц/В = 1/2

Заключение

Таким образом, разработанная методика позволит исследовать особенности фильтрационного течения ТС при заполнении трещин горных пород. Установленные закономерности и явления при фильтрационном течении ТС по длине потока позволяют оценить их влияние на качество инъекционного тампонажа массива горных пород, основываясь на опытных данных их течения.

Изучение процесса фильтрационного течения ТС по трещине на реологическом стенде имеет большое практическое значение для разработки технологии инъекционного тампонажа с учетом особенностей течения ТС.

В рамках дальнейших исследований рациональным представляется провести стендовые исследования фильтрационного течения ТС в трещиновато-пористой среде для оценки влияния физико-механических характеристик горных пород на особенности их течения.

Список литературы

1. Беляев, В.Ф. Укрепление горных пород / В.Ф. Беляев, М.Е. Певзнер, А.В. Пястолов и др. – Москва: Недра, 1973. – 97 с.

2. Заславский, Ю.З. Инъекционное упрочнение горных пород / Ю.З. Заславский, Е.А. Лопухин, Е.Б. Дружко, И.В. Качан. – Москва: Недра, 1984. – 176 с.
3. Максимов, А.П. Тампонаж горных пород / А.П. Максимов, В.В. Евтушенко. – Москва: Недра, 1978. – 180 с.
4. Заславский, И.Ю. Повышение устойчивости подготовительных выработок угольных шахт / И.Ю. Заславский, В.Ф. Компанец, А.Г. Файвишенко, В.М. Клещенко. – Москва: Недра, 1991. – 235 с.
5. Угляница, А.В. Цементация трещиноватых пород в условиях подготовительных горных выработок / А. В. Угляница, В. В. Першин. – Кемерово, 1998. – 220 с.
6. Бочко, Э.А. Упрочнение неустойчивых горных пород при бурении скважин / Бочко Э.А., Никитин В.А. – Москва: Недра, 1979. – 168 с.
7. Титков, Н.И. Технология цементирования нефтяных скважин / Титков Н.И., Дон Н.С. – Москва: Гостоптехиздат, 1960. – 230 с.
8. Дорман, Я.А. Специальные способы работ при строительстве метрополитенов. – Москва: Транспорт, 1981. – 302 с.
9. Кулик, Д.П. Обоснование технологических схем инъекционной изоляции краевой части угольного пласта // Развитие – 2021. – Кемерово. – 2021. – С. 22-36.
10. Майоров, А. Е. Консолидирующее крепление горных выработок / А.Е. Майоров, В. В. Хямяляйнен. – Новосибирск: СО РАН, 2009. – 258 с.
11. Хямяляйнен, В. А. Формирование цементационных завес вокруг капитальных горных выработок / В. В. Хямяляйнен, Ю. В. Бурков, П.С. Сыркин. – Москва: Недра, 1994. – 400 с.
12. Нигматулин, Р.И. Динамика многофазных сред / Р.И. Нигматулин. – Москва: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1987. – Ч. 1. – 464 с.
13. Нигматулин, Р.И. Динамика многофазных сред / Р.И. Нигматулин. – Москва: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1987. – Ч. 2. – 360 с.
14. Graham, B. Wallis. Одномерные двухфазные течения / Пер. с англ. – М.: Мир, 1972. – 440 с.
15. Фильтрационное течение и приливы плотности дисперсной фазы при заполнении трещин горных пород цементным раствором / А. Е. Майоров, В. А. Хямяляйнен // Изв. вузов. Горный журнал. – 2010. – № 4. – С. 105-110.
16. Hosseini, R. Application of Dynamic Grouting to Improve the Grout Spread Using Varying Aperture Long Slot (VALS): AN EXPERI-

MENTAL STUDY / R. Hosseini, Y. Steven // KTH Royal Institute of Technology. – Stockholm, 2018. – 58 с.

17. Тетельмин, В.В. Реологические основы инъекционного закрепления трещиноватых скальных пород. – Ленинград: Энергия, 1979.

18. Разработка технологии ремонта многослойных конструкций подземных сооружений на основе виброакустической диагностики их дефектности: автореферат дис. ... кандидата технических наук: 25.00.22 / Бауков Арсений Юрьевич; [Место защиты: Моск. гос. гор. ун-т]. - Москва, 2010. – 24 с.

19. Кулик, Д. П. Методика исследования реологических характеристик технологических суспензий / Д. П. Кулик, А. Е. Сафонов // Развитие – 2020. – Кемерово, 2020. – С. 41-63.

20. Федер, Е. Фракталы / Пер. с англ. – Москва: Мир, 1991. – 254 с.

21. Логинов, О.А. Особенности неустойчивого вытеснения вязкой жидкости из ячейки Хеле-Шоу при больших числах Пекле: автореф. дис. 01.02.05 канд. техн. наук. – Москва: МГУ, 2011. – 21 с.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Кемеровской области – Кузбасса в рамках научного проекта № 20-45-420011.

Работа выполнена в Лаборатории геомеханики и геометризации угольных месторождений Института угля ФИЦ УУХ СО РАН под руководством доктора технических наук, профессора РАН А.Е. Майорова.

ПРОГНОЗ КАК СПОСОБ СНИЖЕНИЯ НЕГАТИВНОГО ВЛИЯНИЯ ТЕХНОГЕННОЙ СЕЙСМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ

FORECAST AS A WAY OF REDUCING THE NEGATIVE IMPACT OF TECHNOGENIC SEISMIC ACTIVITY

*Федченко Дмитрий Владимирович, аспирант, Лаборатория угольного
машиноведения Института угля ФИЦ УУХ СО РАН*

*Dmitriy V. Fedchenko, ph.d. student, coal engineering laboratory
of Coal Institute FRC CCC SB RAS
E-mail: fedfromsib@gmail.com*

Аннотация: Ввиду постоянного увеличения объемов добычи полезных ископаемых и, соответственно, объемов буровзрывных работ, увеличивается воздействие человека на природные массивы и приводит к повышению опасности возникновения техногенных землетрясений. В статье рассмотрен новый подход к прогнозированию и контролю за сейсмической активностью региона, с целью уменьшения ее негативного влияния на здания и сооружения.

Abstract: Human impact on natural massifs constantly growing due to the constant increase in the volume of mining and, accordingly, the volume of drilling and blasting. This leads to an increase in the risk of man-made earthquakes. The article considers a new approach to forecasting and monitoring the seismic activity of the region, in order to reduce its negative impact on buildings and structures.

Ключевые слова: техногенная сейсмичность, буровзрывные работы, сейсмическая активность, взрывчатые вещества, прогнозирование сейсмичности, мониторинг, магнитуда.

Keywords: technogenic seismicity, drilling and blasting operations, seismic activity, explosives, seismicity forecasting, monitoring, magnitude.

Техногенное преобразование природной среды возникает в результате широкого спектра воздействий, включающих промышленные,

горнодобывающие, агротехнические, водохозяйственные и другие аспекты, формирующие техногенные эколого-геохимические поля, как правило, патогенного характера. Также на территории Кузнецкого угольного бассейна продолжают расти объемы добычи полезных ископаемых, увеличиваются объемы взрывчатых веществ и объемы бурения, применяемых при производстве буровзрывных работ, и, как следствие, все это приводит к увеличению влияния техногенной сейсмичности, включая сейсмичность взрывных работ и наведенную сейсмичность [1, 2, 3, 4].

Негативные последствия техногенной сейсмической активности, вызванной проведением массовых взрывов на крупных добычных предприятиях Кузбасса, производящихся под землей или на дневной поверхности, зачастую получают большой общественный резонанс и широкое обсуждение в прессе и социальных сетях [5].

Определение и классификация форм техногенной сейсмической активности, были предложены А. В. Николаевым и В. В. Адушкиным [6, 7, 8].

Техногенной сейсмичностью называют микроколебания, сейсмические толчки и землетрясения, возникающие в земной коре при любых антропогенных воздействиях на окружающую среду либо появляющиеся и развивающиеся вслед за воздействием уже с участием собственных энергетических запасов в самих структурах земной коры [9, 10].

Понятие массовый взрыв подразумевает под собой взрыв смонтированных в общую взрывную сеть двух и более скважинных, котловых или камерных зарядов, независимо от протяженности заряжаемой выработки, а также единичных зарядов в выработках протяженностью более 10 м [11]. Проанализировав свыше 100 промышленных массовых взрывов, проводимых на предприятиях Кузбасса, а также местные и далекие землетрясения, зафиксированные локальными сейсмостанциями, была составлена таблица параметров и построены графики зависимости.

Данные были отсортированы по следующим критериям:

1. Наименованию события (промышленный взрыв, местное землетрясение, далекое землетрясение).
2. Местное время фиксации сейсмособытия, широте и долготе.
3. Энергетический класс сейсмособытия (характеристика величины землетрясения, эквивалентная магнитуде).

4. Магнитуда сейсмособытия (магнитуда землетрясения является условной мерой энергии, выделившейся из очага землетрясения в виде сейсмических волн. Амплитуда сейсмической волны означает смещение почвы, и чем сильнее размах волны, тем больше магнитуда землетрясения) [12].

5. Местоположение проводимого массового взрыва.

6. Организация, производящая массовый взрыв.

7. Наименование разреза или участка, на котором производился массовый взрыв.

8. Ближайший к сейсмособытию населенный пункт и расстояние до него.

9. Количество взрывчатого вещества, взрываемого на блоке.

10. Количество взрывчатого вещества в рассматриваемую серию [13].

11. Максимальный объем взрывчатого вещества, принятый в спецификациях предприятия или в его типовом проекте.

12. Тип инициирующего устройства (неэлектрические системы инициирования, электронные системы инициирования, детонирующий шнур и т.д.).

Соотнеся выходные данные и проведя анализ результатов замера сейсмической активности после проведения взрывных работ на предприятиях Кузбасса, мы не видим прямой зависимости показателя магнитуды от показателя максимальной массы заряда в серии или от общего количества взрывчатого вещества, взрываемого на блоке, как было принято считать ранее. Для более точной визуализации результатов были построены зависимости магнитуды от общего количества ВВ, данные в которых были приведены к одному порядку (рис. 1, 2).

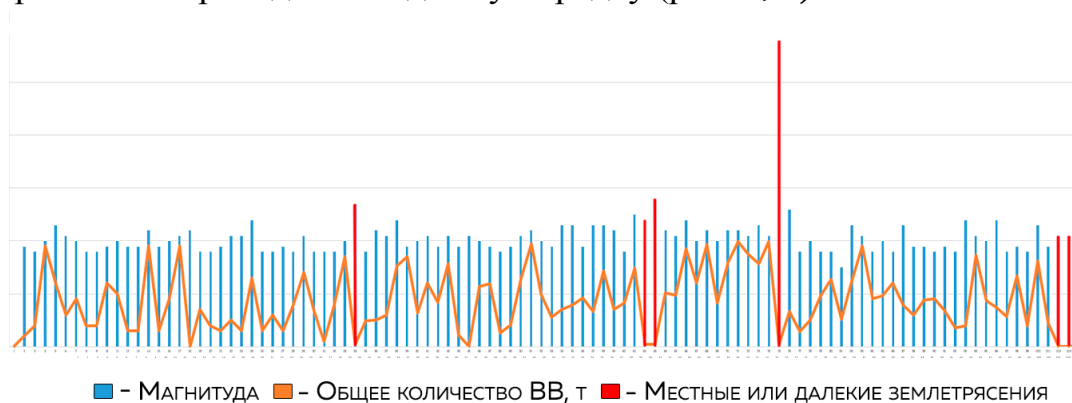


Рисунок 1. Зависимость магнитуды от общего количества ВВ на взрываемом блоке

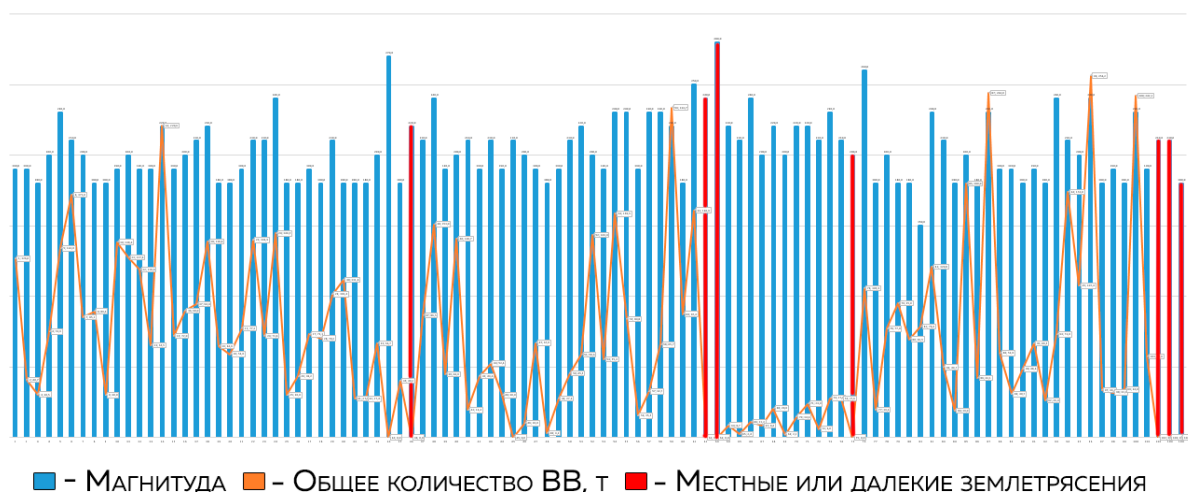


Рисунок 2. Зависимость магнитуды от количества ВВ,
взрывающегося за одну серию

На графиках мы видим, что при взрывании с соблюдением всех параметров БВР, а также при относительно небольшом количестве взрывчатого вещества на блоке, мы получаем сравнительно большое значение параметра магнитуды. Это может указывать нам на наложение друг-на-друга сейсмических волн соседних промышленных взрывов, а также далеких или местных землетрясений, сейсмоактивность которых могла оказать эффект на конкретно рассматриваемый массовый взрыв. И если техногенная активность соседних предприятий регламентируется и учитывается при планировке производства массового взрыва, то далекие и местные землетрясения никак не учитываются.

Исходя из этого мы можем сказать, что понимание происхождения техногенной сейсмичности не совсем соответствует фактическому состоянию вопроса, в связи с чем была выдвинута гипотеза о необходимости непрерывного мониторинга состояния горного массива, особенно выделяя периоды до и после проведения массовых взрывов. То есть более точное соотношение влияния природной сейсмичности и техногенной сейсмичности других массовых взрывов на один конкретный массовый взрыв, для исключения возможности их наложения.

Для точного выявления данной зависимости и исключения будущих наложений, была начата разработка единой интерактивной карты

сейсмической активности региона (рис. 3). Предполагается, что при проведении массовых взрывов будет учитываться сейсмическая ситуация состояния горного массива в данный момент, а также возможен прогноз распространения сейсмических волн, для наглядного представления их движения.

По данным Федерального исследовательского центра Единой геофизической службы Российской академии наук, Алтай-Саянский филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Единая геофизическая служба Российской академии наук» в данный момент насчитывает 108 активных сейсмостанций. При синхронизации данных этих сейсмостанций с приборами других учреждений, или при установке единой сети на предприятиях региона, мы сможем визуализировать и прогнозировать поведение горных массивов на определенный момент времени.

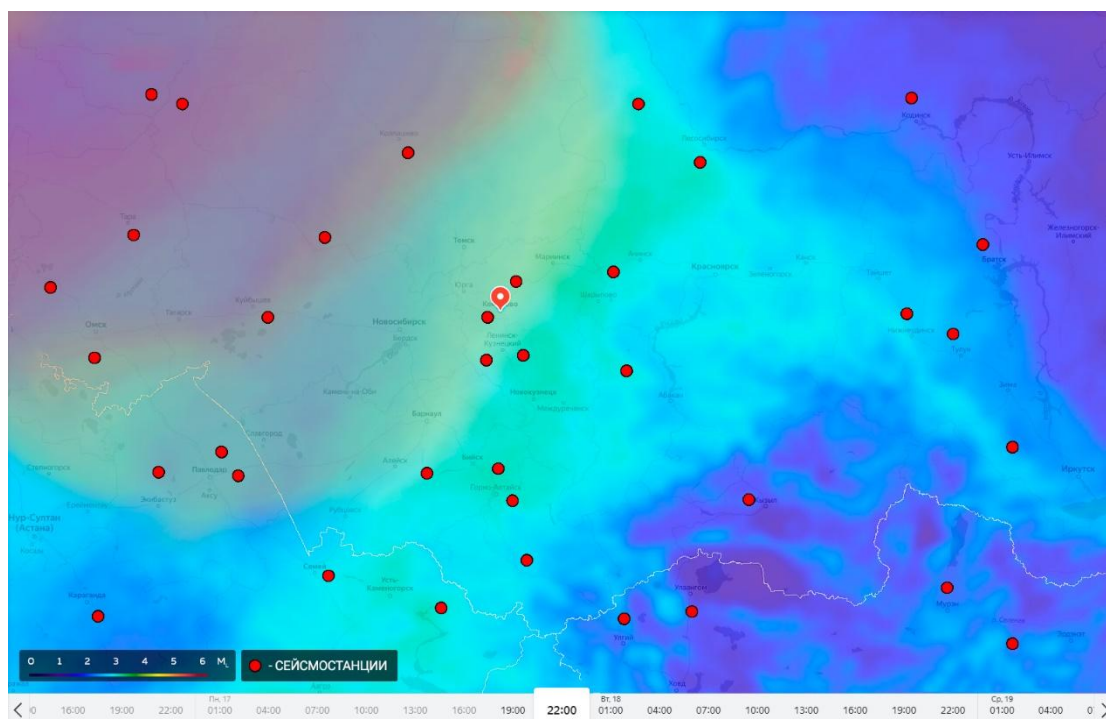


Рисунок 3. Визуальный прототип единой интерактивной карты сейсмической активности региона

Помимо уменьшения негативного влияния техногенной сейсмической активности на здания и сооружения, более точный замер сейсмической активности также может помочь в определении невзорвавшихся скважинных зарядов, так как на гистограмме точных приборов будет виден весь путь движения импульса, и по участкам

“просадки” можно будет уже на этапе проведения взрывных работ определить будущие проблемные места.

Также имеется возможность объединения работ по сейсморазведке и, предложенному в статье, контролю за сейсмичностью. Таким образом мы можем совместить контроль за сейсмической активностью в процессе взрывных работ с производством сейсморазведки, для точного обнаружения пластов полезного ископаемого и обеспечения более точных данных для их будущей интерпретации и расчетов проектов массовых взрывов [14].

Таким образом, к оптимальным параметрам буровзрывных работ добавляется новая переменная, такая, как сейсмичность региона в момент проведения массового взрыва. При учете факторов на каждом из этапов подготовки горного массива к взрыванию можно добиться значительного снижения техногенной сейсмичности, не снижая при этом параметры буровзрывных работ [15].

Список литературы

1. Лутиков, А. И. Сейсмические аспекты землетрясения на Горном Алтае 27.09.2003, $M_S = 7,3$ (результаты предварительного анализа). – Л.: Вестн. отделения наук о Земле.
2. Еманов, А. А. Сейсмические активизации при разработке угля в Кузбассе / А. А. Еманов, А. Ф. Еманов, А. В. Фатеев, Е. В. Лескова, А. Ю. Семин // Физическая мезомеханика. – № 12. – 2009. – С. 37-43.
3. Малинецкий, Г. Г. Нелинейная динамика и проблемы прогноза. – Л.: Вестн. РАН, 2001. – Т. 71. – № 3. – С. 210-232.
4. Мельников, Н. Н. Техногенная сейсмичность – опасный антропогенный фактор при ведении горных работ в высоконапряженных массивах. – Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. – 2015. – № 5. – С. 425-433.
5. Яковлев, Д. В. Природно-техногенная сейсмоактивность Кузбасса. – Л.: РАН Сибирское отделение, 2013.
6. Репина, Е. М. Техногенная сейсмичность при горнодобывающей деятельности, ее влияние на инженерные сооружения и здоровье человека. – Л.: Воронежский государственный университет, 2010.
7. Адушкин, В. В. Техногенные процессы в земной коре (опасные и катастрофические) / В.В. Адушкин, С.Б. Турунтаев. – М.: ИНЭК, 2005. – С. 252.

8. Мельников, Н. Н. Техногенная сейсмичность – опасный антропогенный фактор при ведении горных работ в высоконапряженных массивах. – Л.: Горный институт Кольского научного центра Российской академии наук, 2015. – № 5. – С. 425-433.

9. Адушкин, В. В. Техногенная сейсмичность: основные источники, причины возникновения и классификация // Горная геомеханика и маркшейдерия в III тысячелетии. – СПб.: ВНИМИ, 2004. – С. 45-57.

10. Николаев, А. В. Проблемы наведенной сейсмичности // Наведенная сейсмичность. – М.: Наука, 1994. – С. 5-15.

11. Приказ от 3 декабря 2020 года №494, Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору приказ от 25 декабря 2020 об утверждении федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Правила безопасности при взрывных работах». – п. 406.

12. Сывороткин, В. Л. Землетрясения. – М.: Пространство и Время. – 2011. – №2. – С. 124-137.

13. Машуков, И. В. Расчет безопасных расстояний по сейсмическому воздействию массовых взрывов для зданий и сооружений с учетом схемы взрывания скважинных зарядов / И. В. Машуков, В. П. Доманов, А. Г. Серг, Д. А. Егоров // Вестник научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. – 2013. – С. 16-22.

14. Детков, В. А. Импульсные невзрывные источники сейсморазведки с электромагнитным приводом // Сибирский аэрокосмический журнал. – 2009. – №3. – С. 119-122.

15. Федченко, Д.В. Техногенная сейсмичность при массовых взрывах в условиях угольных разрезов. – Развитие-2021. – 2021. – С. 68-77.

Работа выполнена в Лаборатории угольного машиноведения Института угля ФИЦ УУХ СО РАН под руководством доктора технических наук, профессора А.А. Ерёменко.

**ДИАГНОСТИКА КОРПУСА РЕДУКТОРА МОТОР-КОЛЕСА
КАРЬЕРНОГО АВТОСАМОСВАЛА**

**DIAGNOSTICS OF MOTOR-WHEEL GEARBOX HOUSING
OF A DUMP TRUCK**

*Швыдкин Сергей Анатольевич, Лаборатория угольного
машиноведения Института угля ФИЦ УУХ СО РАН*

*Shvydkin Sergey Anatolyevich, Laboratory of Coal Engineering
of Coal Institute FRC CCC SB RAS
E-mail: sergserg60@mail.ru*

Аннотация: При эксплуатации карьерных автосамосвалов происходят аварии, связанные с разрушением корпуса редуктора мотор-колеса (РМК). Такие аварии приводят не только к дорогостоящему ремонту, но и несут в себе опасность для жизни и здоровья водителя. Поэтому важно уметь своевременно обнаруживать и устранять образующиеся в ходе эксплуатации дефекты. На сегодняшний день для диагностики корпусов, в основном, используется визуальный осмотр и при необходимости подключаются другие методы неразрушающего контроля (НК).

Но проведение периодической диагностики указанными методами не гарантирует безаварийной эксплуатации автосамосвалов, потому что, особенно в конце срока эксплуатации, трудно прогнозировать развитие дефектов на очередном временном интервале. Поэтому для повышения эффективности диагностики предлагается использовать акустико-эмиссионный (АЭ) мониторинг, а уже затем на предполагаемых дефектных участках, выявленных при АЭ контроле, проводить более тщательное обследование другими методами НК.

В данной работе доказана возможность применения АЭ контроля на корпусах РМК и его эффективность. В результате проведённой диагностики, на одном из корпусов РМК автосамосвала были обнаружены дефекты, проведён ремонт и повторный проверочный контроль, подтвердивший успешное выполнение ремонта.

АЭ мониторинг позволяет выполнять диагностику непосредственно во время работы автосамосвала, без вывода его из эксплуатации, следить за развитием дефектов, планировать выполнение ремонтных работ, определять участки дорог, на которых происходит развитие дефектов.

Abstract: During the operation of dump trucks, accidents occur related to the destruction of the motor-wheel gearbox housing. Such accidents lead not only to costly repairs, but also pose a threat to the life and health of the driver. This is why it is important to be able to detect and repair any defects that occur during operation in good time. Today, visual inspection is mainly used to diagnose the bodies, and if necessary, other methods of nondestructive testing can be used.

But carrying out periodic diagnostics by these methods does not guarantee trouble-free operation of dump trucks, because, especially at the end of service life, it is difficult to predict the development of defects at the next time interval. Therefore, in order to improve diagnostic efficiency, it is proposed to use acoustic-emission monitoring, and then to conduct a more thorough examination by other methods of nondestructive testing on the alleged defective areas identified by AE control.

In this work the possibility of using the AE control on the motor-wheel gearbox housings and its effectiveness was proved. As a result of the diagnostics, defects were detected on one of the dump truck bodies, repairs were carried out and repeated inspection confirmed the successful performance of the repair.

AE monitoring makes it possible to perform diagnostics directly during the operation of the dump truck, without taking it out of service, to monitor the development of defects, to plan the performance of repair work, and to determine road sections where the development of defects takes place.

Ключевые слова: карьерный автосамосвал, диагностирование, акустическая эмиссия, корпус редуктора мотор-колеса.

Keywords: open-pit dump truck, diagnostics, acoustic emission, motor-wheel gear case.

Эксплуатация карьерных автосамосвалов на угольных предприятиях осуществляется в круглосуточном режиме с небольшими перерывами на техническое обслуживание. В процессе эксплуатации под воздействием различных факторов в корпусах РМК происходит постепенное накопление повреждений. Со временем из мелких дефектов вырастают более крупные, которые могут привести разрушению самого корпуса РМК.

Для выявления дефектов периодически проводится визуальный осмотр и применяются другие методы НК. Тем не менее, несмотря на принятые меры, иногда происходят аварийные ситуации, связанные с внезапным разрушением корпусов РМК. Поэтому, в надежде на повышение результатов обследования, было принято решение о применении метода акустической эмиссии (АЭ) [1-9] для диагностики корпусов РМК, совместно с традиционными методами неразрушающего контроля.

В нашем случае работы по диагностике проводились на автосамосвале БелАЗ 75131 (рис. 1), грузоподъемностью 130 тонн, который прежде побывал в аварии, связанной с разрушением обоих корпусов РМК (рис. 2). В результате аварии был сильно поврежден картер заднего моста, что привело к длительному и затратному ремонту.



Рисунок 1. БелАЗ 75131



Рисунок 2.
Разрушенный корпус РМК

Заказчик поставил задачу по выполнению диагностики вновь установленных корпусов РМК, так как не хотел повторения аварии. Работа проводилась с использованием акустико-эмиссионной системы Vulcan 8SM, которая на сегодняшний день хоть и является устаревшей, но для подобной задачи оказалась вполне применима. После изучения затухания сигнала в материале, нами была выбрана схема расстановки с четырьмя датчиками на каждый корпус (линейная локация), с расстоянием между соседними датчиками 1100 мм (рис. 3).

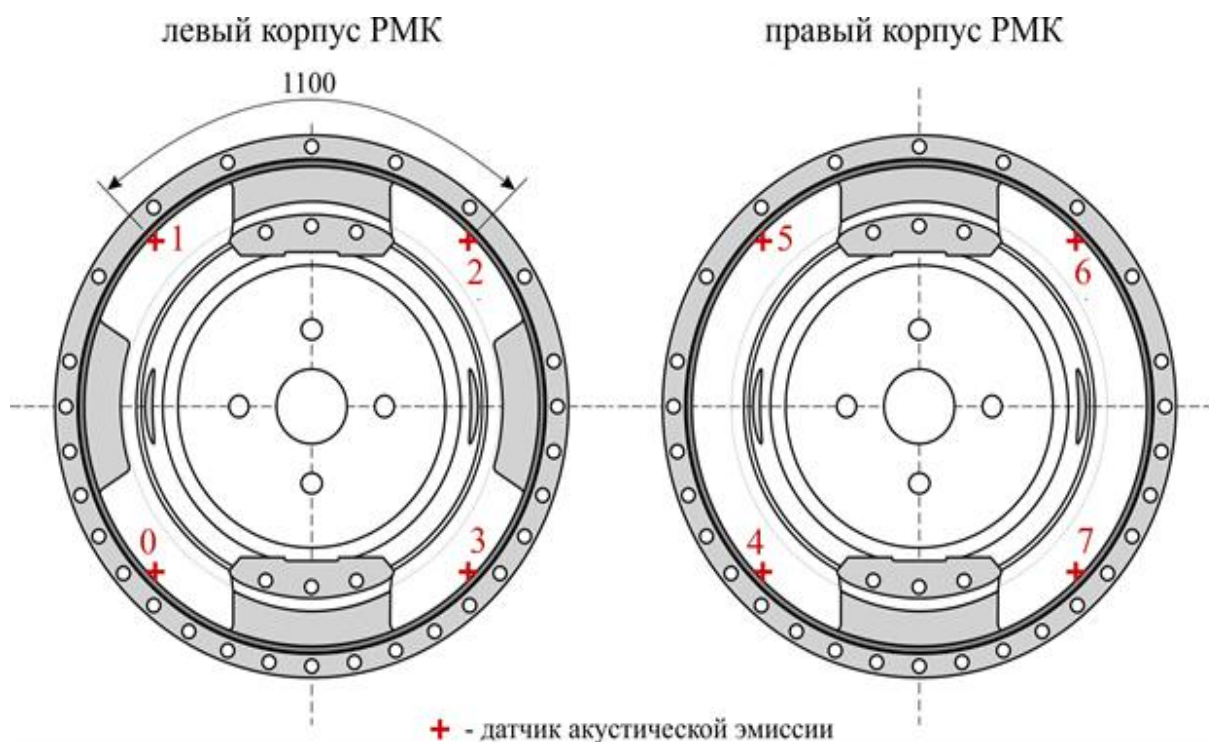


Рисунок 3. Схема расстановки датчиков АЭ на корпусах РМК

На первых этапах работы оператор присутствовал в кабине автосамосвала для настройки параметров аппаратуры, а в дальнейшем сбор данных происходил в автоматическом режиме. В результате проведенного обследования на левом корпусе РМК была обнаружена одна зона повышенной активности сигналов акустической эмиссии (Зона-1, рис. 4). Для более точного определения координат дефектов, датчики № 1 и 2 были переустановлены ближе к расположению Зоны-1, чтобы имелась возможность увидеть расположение дефекта на плоскостной локационной картине.

В результате проведенного испытания в месте расположения Зоны-1 было обнаружено большое количество поверхностных металлургических дефектов (усадочные трещины, раковины, шлаковые включения, заливки, наплывы, рыхлоты). После сплошной шлифовки большая часть дефектов была удалена, но остались глубокие дефекты типа рыхлот с отходящими от них лучами трещин. Развивающиеся трещины расположены, как видно из снимков (рис. 4), в зоне перехода от небольшой толщины галтели к усилительному приливу, то есть в наиболее опасной зоне. По результатам проведения цветной дефектоскопии дефекты оказались глубокие, так как проявлялись даже после пятикратной смывки пенетранта.

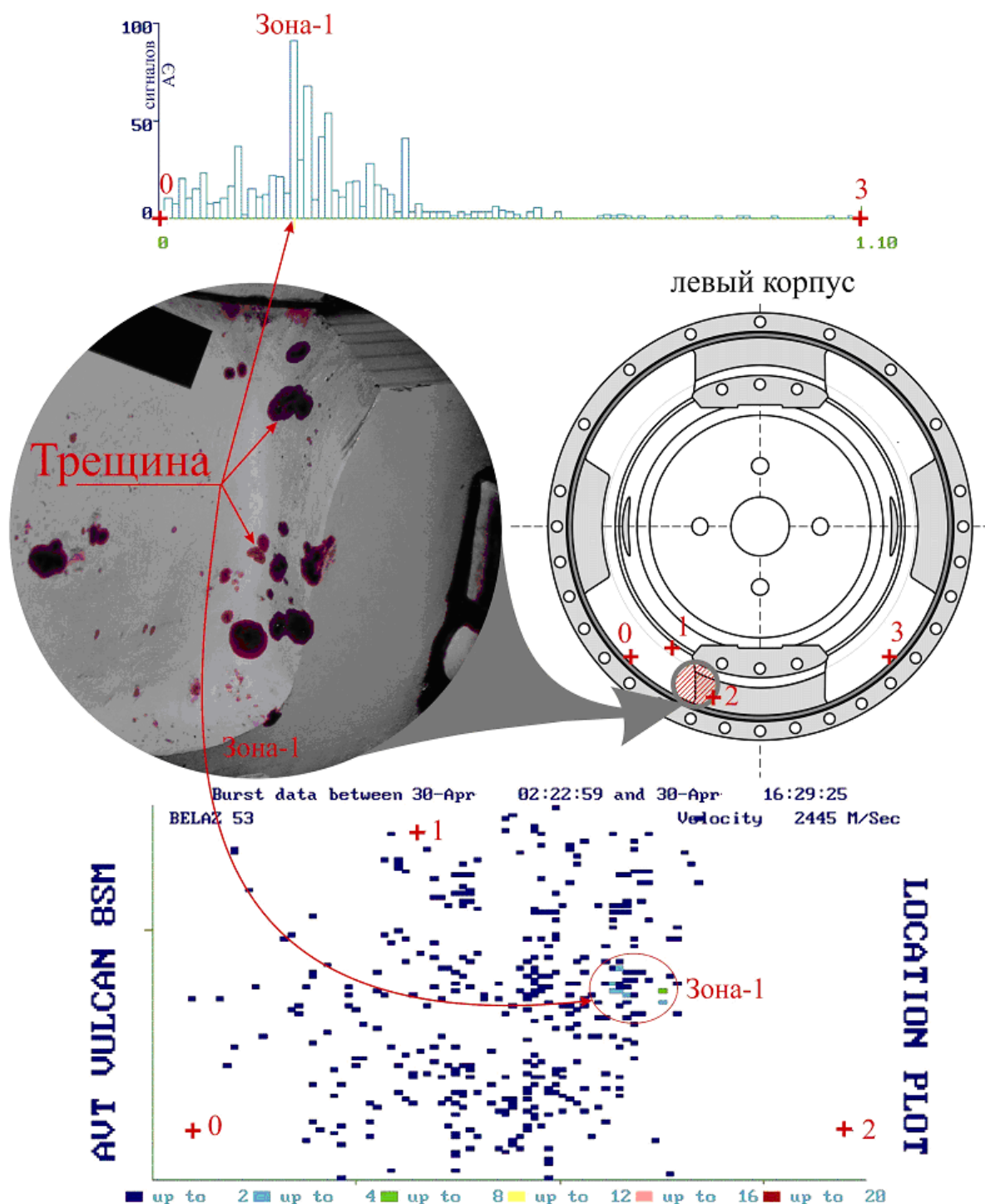


Рисунок 4. Результаты АЭ диагностики левого корпуса РМК

В течение года периодически выполнялась АЭ диагностика корпусов РМК и каждый раз результаты, полученные на первых испытаниях, подтверждались. Дефекты развивались медленно, особой необходимости в их немедленном удалении не было и, поэтому, ремонт левого корпуса был выполнен в удобный для заказчика период. Корпус РМК был демонтиро-

ван (рис. 5), произведена выборка дефектов и их заварка. При выборке были обнаружены дефекты литья – раковины (рис. 6).



Рисунок 5. Демонтированный корпус РМК



Рисунок 6. Дефекты, обнаруженные при выборке

После проведённого ремонта был выполнен повторный проверочный АЭ контроль, подтвердивший успешное проведение ремонта (рис. 7).

Таким образом, была подтверждена возможность выполнения АЭ диагностики на автосамосвалах в реальных рабочих условиях и доказана её эффективность. В дальнейшем планируется распространить применение АЭ контроля на раму автосамосвала, от состояния которой зависит срок службы машины.

Схема расположения зон повышенной активности сигналов АЭ.

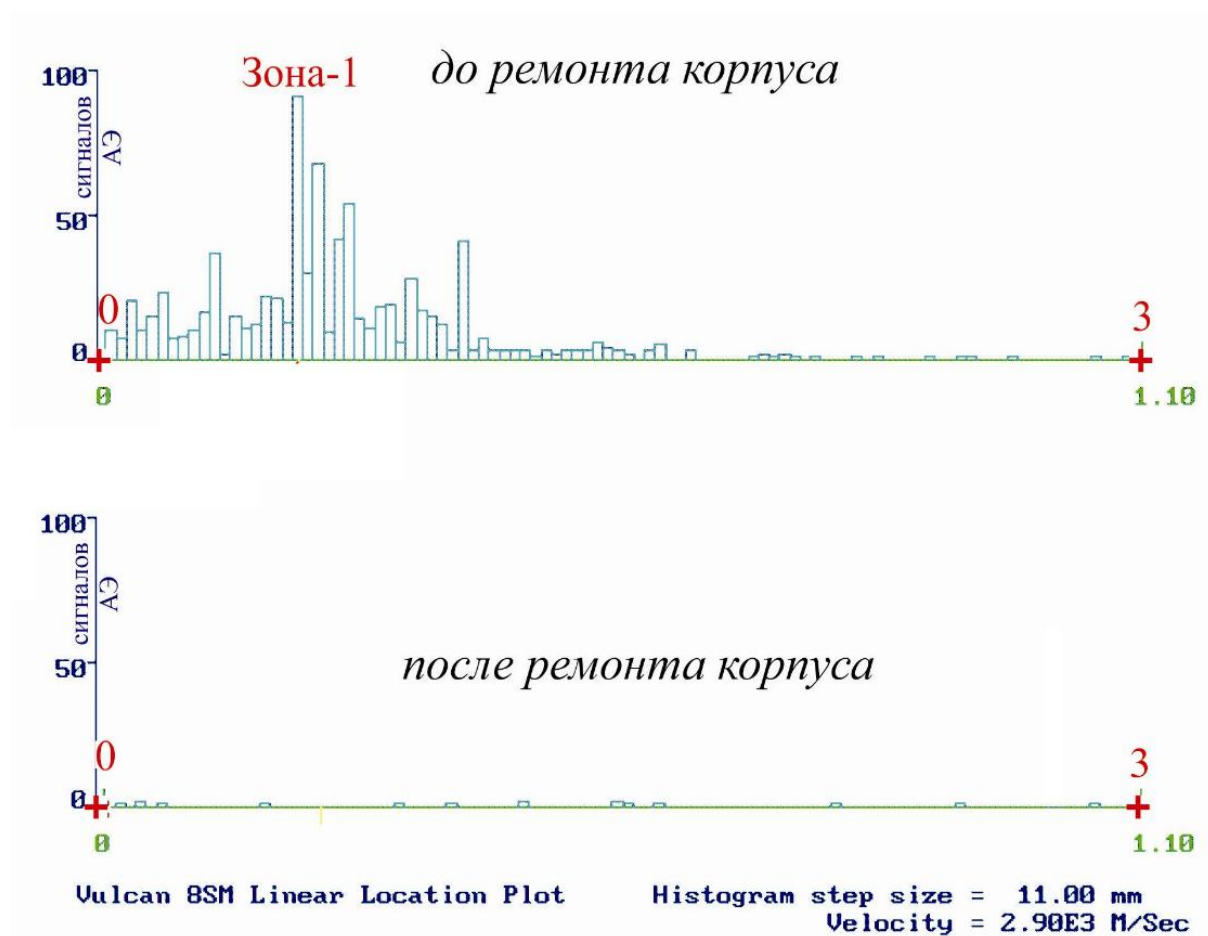


Рисунок 7. Результаты повторного проверочного АЭ контроля

В угольной отрасли есть и другие примеры успешного применения акустико-эмиссионного контроля, например, на шагающих экскаваторах [10-13]. Очевидно, что АЭ контроль имеет широкую область применения, и будет всё чаще применяться для диагностики динамического оборудования.

Список литературы

1. ГОСТ Р 55045-2012 Техническая диагностика. Акустико-эмиссионная диагностика. Термины, определения и обозначения.
2. Быков, С.П. О достоверности акустико-эмиссионного контроля / С.П. Быков, Б.Ф. Юрайдо, В.И. Иванов // Контроль. Диагностика. – 2013. № 12. – С. 53-60.
3. Грешников, В.А. Акустическая эмиссия / В.А. Грешников, Ю.И. Дробот // М.: Изд-во стандартов, 1976. – 270 с.

4. Дробот, Ю.Б. Неразрушающий контроль усталостных трещин акустико-эмиссионным методом / Ю.Б. Дробот, А.М. Лазарев // М.: Изд-во стандартов, 1987.
5. Иванов, В.И. Акустико-эмиссионная диагностика: справ. / В.И. Иванов В.А. Барат // М.: Издательский дом «Спектр», 2017. – 368 с.: ил.
6. Акустико-эмиссионная диагностика конструкций / А.Н. Серьезнов, Л.Н. Степанова, В.В. Муравьев, К.Л. Комаров, С.И. Кабанов, Е.Ю. Лебедев, В.Л. Кожемякин, А.Ф. Паньков; под редакцией Л. Н. Степановой. – Москва, 2000.
7. Pollock, A. Material brittleness and the energetics of acoustic emission. Conference Proceedings of the Society for Experimental Mechanics Series.
8. Dunegan, H.L. Fracture analysis by use of acoustic emission / H.L. Dunegan, D.O. Harris, S.A. Tatro // Engineering Fracture Mechanics. – 1968. – V1. – №1. – Pp.105-122.
9. Pollock, A. A. Acoustic emission amplitude distribution / International Advances in Nondestructive Testing. – 1981. – V.7.
10. Менчугин, А. В. Оценка технического состояния несущих металлоконструкций шагающих экскаваторов по параметрам акустико-эмиссионного сигнала. / А. В. Менчугин, Б. Л. Гери́ке, С. И. Протасов, П. В. Буянкин // Горное оборудование и электромеханика. – № 5. – 2009. – С. 25-30.
11. Менчугин, А. В. Применение методов неразрушающего контроля при проведении технического диагностирования металлоконструкций одноковшовых шагающих экскаваторов / А. В. Менчугин, И. Д. Богомолов, П. В. Буянкин.// Сборник лучших докладов студентов и аспирантов Кузбасского государственного технического университета. По результатам 51-й студенческой научно-практической конференции. – Кемерово: КузГТУ, 2006. – С.77-80.
12. Менчугин, А. В. Применение акустико-эмиссионного контроля для оценки технического состояния одноковшовых шагающих экскаваторов / А. В. Менчугин, С.И. Протасов, Г.Д. Стенин // Энергетическая безопасность России. Новые подходы к развитию угольной промышленности: Труды VII международной научно-практической конференции. – Кемерово: ННЦ ГПИГД им. А. А. Скочинского, ИУУ СО РАН, КузГТУ, ЗАО КВК «ЭкспоСибирь», 2005. – С.79-82.

13. Менчугин, А. В. Особенности оценки шумов при проведении АЭ контроля стрел карьерных экскаваторов типа драглайн / А. В. Менчугин, С. И. Протасов // Безопасность труда в промышленности. – № 3. – 2009. – С. 48-51.

Работа выполнена в Лаборатории угольного машиноведения Института угля ФИЦ УУХ СО РАН под руководством доктора технических наук, профессора Б.Л. Герике.

**ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ПОДГОТОВКИ ПРОБЫ
НА СМАЧИВАЕМОСТЬ ПОВЕРХНОСТИ УГЛЯ**

**INFLUENCE OF SAMPLE PREPARATION CONDITIONS
ON WETTABILITY OF COAL SURFACE**

*Яркова Анастасия Владимировна, ведущий инженер,
Лаборатория научных основ технологий обогащения угля
Института угля ФИЦ УУХ СО РАН*

*Anastasia V. Yarkova, leading engineer, laboratory of scientific foundations
of coal enrichment technologies of Coal Institute FRC CCC SB RAS
e-mail: nas.yarkova1998@yandex.ru*

Аннотация: Используемые стандартные методы пробоподготовки осуществляются при контакте угольных проб с воздухом. В процессе измельчения внешняя поверхность образующихся мелких частиц подвергается неизбежному окислению присутствующим в воздушной среде молекулярным кислородом. Поэтому физико-химические свойства лабораторной пробы угля не соответствуют свойствам исходного нативного угля или угля более крупноразмерных фракций. В данной работе представлены результаты сравнительного анализа образцов лабораторных проб низкометаморфизованного угля, полученных в условиях инертной атмосферы (азот) и стандартными методами на воздухе. Подготовку нативного образца угля проводили в условиях чистой инертной среды перчаточного бокса. Для характеристики изменения поверхности угольных частиц использовали аппаратные методы ИК-спектроскопии, химический функциональный анализ кислородных групп, определение удельной поверхности и ряд дополняющих друг друга методов определения смачиваемости – определение краевого угла смачивания по капле жидкости, скорости поглощения капли в угольный брикет и интенсивности фильтрации жидкости через слой угля. Показано, что способ подготовки угольных проб оказывает существенное влияние на

функциональный состав и гидрофильность внешней поверхности угольных частиц. Полученные результаты могут быть использованы для уточнения оценки свойств нативных пластовых углей, совершенствования технологий подготовки угольных проб, обогащения и переработки углей.

Abstract: The standard sample preparation methods used are carried out when coal samples come into contact with air. During the grinding process, the outer surface of the resulting fine particles undergoes inevitable oxidation by molecular oxygen present in the air. Therefore, the physicochemical properties of the laboratory sample of coal do not correspond to the properties of the original native coal or coal of larger fractions. This paper presents the results of a comparative analysis of laboratory samples of low-metamorphosed coal obtained in an inert atmosphere (nitrogen) and by standard methods in the air. The preparation of a native coal sample was carried out in a clean inert environment of a glove box. To characterize changes in the surface of coal particles, instrumental methods of IR-spectroscopy, chemical functional analysis of oxygen groups, determination of specific surface area and a number of complementary methods for determining wettability were used - determination of the wetting edge angle by a drop of liquid, the rate of absorption of a drop into a coal briquette and the intensity of liquid filtration through a coal layer. It is shown that the method of preparation of coal samples has a significant effect on the functional composition and hydrophilicity of the outer surface of coal particles. The results obtained can be used to refine the assessment of the properties of native formation coals, improve the technology of preparation of coal samples, enrichment and processing of coals.

Ключевые слова: каменный уголь, подготовка лабораторной пробы, измельчение, рассев, окисление, химический состав, смачиваемость поверхности.

Keywords: coal, laboratory sample preparation, grinding, sieving, oxidation, chemical composition, surface wettability.

При подготовке (отборе, измельчении, рассеве) и хранении угольных проб неизбежно возникают трудности с сохранением первоначальных «нативных» свойств углей. Как правило, использование стандартных методов пробоподготовки предусматривает проведение этих мероприятий в условиях лаборатории в воздушной среде (ГОСТ 10742-71, ГОСТ 33503-2015, ГОСТ ISO 589-2012, ГОСТ 11014-2001). Поэтому уже на стадии отбора, доставки угольной пробы, и последующем ее измельчении до нужного

класса крупности запускаются процессы, связанные с окислительными преобразованиями поверхностного слоя угольных частиц. Наиболее чувствительным параметром, зависящим от изменения свойств поверхности, является ее смачиваемость, определяемая гидрофобностью или, напротив, гидрофильностью поверхностных структурных фрагментов или функциональных групп [2-4].

Цель работы – установить принципиальные отличия химического состава и смачиваемости поверхности угля при подготовке пробы в инертной и воздушной средах.

В качестве образца для исследования использовался низкометаморфизованный уголь марки Д (длиннопламенный) Канско-Ачинского месторождения (Хакасия). Выбор образца обусловлен особой чувствительностью каменного угля данной стадии метаморфизма относительно окисления при хранении и транспортировке.

Отбор, доставка и разгрузка угольной пробы проводилась с использованием методов, бесконтактных с воздухом. Разделка пробы осуществлялась в инертной среде (азот особой чистоты ТУ 2114-003-05758954-2007) перчаточного бокса [5]. Часть угля откалывали с кромки кусков и производили пробоподготовку в условиях воздушной атмосферы лаборатории. Фракционный состав используемой угольной пробы < 0,1 мм.

По изменению содержания кислородсодержащих функциональных групп и значений удельной поверхности исследуемых образцов (табл. 1) можно судить, что даже стандартные процедуры пробоподготовки (измельчение, рассев) приводят к изменению этих физико-химических свойств.

Таблица 1

Характеристики образцов угля марки Д,
полученных при различных условиях подготовки проб

Способ подготовки пробы	Технический анализ, %		Содержание О-групп, мг-экв/г		Удельная поверхно- сть $S_{\text{ВЕТ}}$, см ² /г	Краевой угол смачивания Θ , град
	Золь- ность A^d	Выход летучих веществ V^{daf}	(ОН+ СООН)	C=O		
В атмосфере азота	3,51	43,25	0,39	1,88	26,57	88-92
В атмосфере воздуха	3,53	43,87	0,45	1,50	25,81	29-41

Так, количество групп кислого характера (гидроксильных и карбоксильных) возрастает на 15% отн., а количество карбонильных групп убывает на 20% отн. по сравнению с пробоподготовкой в инертной среде. Удельная поверхность контактировавших с воздухом образцов угля при этом снижается, вероятно, за счет блокировки пор, доступных газу-адсорбату азоту, сорбированным кислородом и поверхностными кислородсодержащими группами.

Среди инструментальных физико-химических методов анализа наиболее чувствительным и информативным для изучения фрагментарного состава поверхности углей является ИК-спектроскопия [6, 7]. Принципиальным отличием образцов, прошедших подготовку в воздушной среде, является наличие более интенсивного поглощения ОН-фенольных ($3300-3600$, 1100 см^{-1}), С=О-карбоксильных (1710 , 1260 см^{-1}) и эфирных ($1050-1200\text{ см}^{-1}$) групп (рис. 1). При этом углеводородные алифатические (2925 , 2850 , 1460 , 1380 см^{-1}) и ароматические (3040 , 1600 , $740-870\text{ см}^{-1}$) фрагменты органического вещества угля изменяются незначительно, что указывает на протекание процессов рекомбинации радикалов с преобразованием одних кислородсодержащих групп в другие (например, карбонильных в фенольные) [8]. Из этого следует, что пробоподготовка углей в воздушной среде приводит к изменению фрагментарного состава поверхности угольных частиц с увеличением доли кислородсодержащих групп кислого характера, или получению поверхностно окисленных углей.

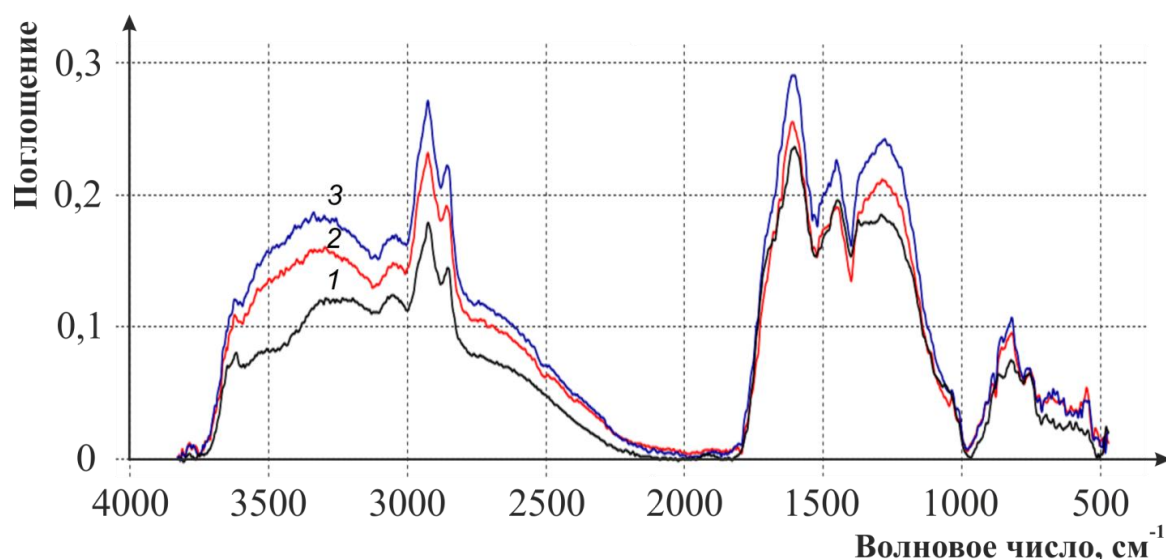


Рисунок 1. ИК-спектры образцов угля марки Д, подготовленных в инертной атмосфере (1) и воздушной среде (2, 3) с сушкой в вакууме (1, 2) и в сушильном шкафу при $105\text{ }^{\circ}\text{C}$ (3)

Вместе с тем, несмотря на изменение функционального состава угольной поверхности, на химико-технологические характеристики угля – зольность, выход летучих веществ, определяющие объемное состояние угля, измельчение в воздушной среде заметного влияния не оказывает (табл. 1). Это является доказательством, что изменения вещественного состава угля при взаимодействии с кислородом воздуха протекают на начальных этапах непосредственно в тонком приповерхностном слое без преобразования внутреннего объема угля.

Важной характеристикой трансформации химического состава поверхности угля является ее чувствительность к смачиваемости водой. По изменению профиля капли жидкости, нанесенной на прессованный угольный порошок, можно судить об интенсивности фильтрации жидкости между частицами угля и смачиваемости их поверхности [9, 10].

У образца угля, измельченного в инертной среде, форма капли воды на поверхности брикета близка к сферической, что свидетельствует о естественной гидрофобности нативных углей. Краевой угол смачивания Θ у угля, не контактировавшего ранее с кислородом (табл. 1), превышает по значениям известные численные показатели для углей подобных марок [2, 9], что может быть обусловлено как различием методик подготовки образцов, так и приготовлением пробы в воздушной среде (использование поверхностно окисленных углей). У образца, измельченного на воздухе, зафиксированный угол смачивания существенно ниже, чем у нативного угля (табл. 1). Объяснением этому также может служить повышение гидрофильности поверхности нативного угля при взаимодействии его с кислородом воздуха вследствие формирования на поверхности контакта полярных фенольных и карбоксильных групп [2, 9].

В данной работе оценка смачиваемости угля также осуществлялась с использованием фильтрационного способа [10], основанного на анализе изменения массы фиксированного объема угольного порошка, смачиваемого в условиях контролируемого давления подпора воды из сообщающейся емкости (рис. 2). Из результатов анализа следует, что динамика фильтрации воды нативным и поверхностно окисленным образцами углей марки Д принципиально различается. Наименьшая скорость поглощения воды слоем угля и, следовательно, большая гидрофобность поверхности, соответствует образцу нативного угля. За одинаковый промежуток времени (10 мин) при равных условиях подъема давления (10 мм. вод. ст./мин) она заметно уступает скорости поглощения воды образцом, контактиро-

вавшим с кислородом воздуха. Из рисунка 2 видно, что для преодоления сопротивления более гидрофобного слоя нативного угля потребовалось большее давление жидкости (около 110-120 мм вод. ст.).

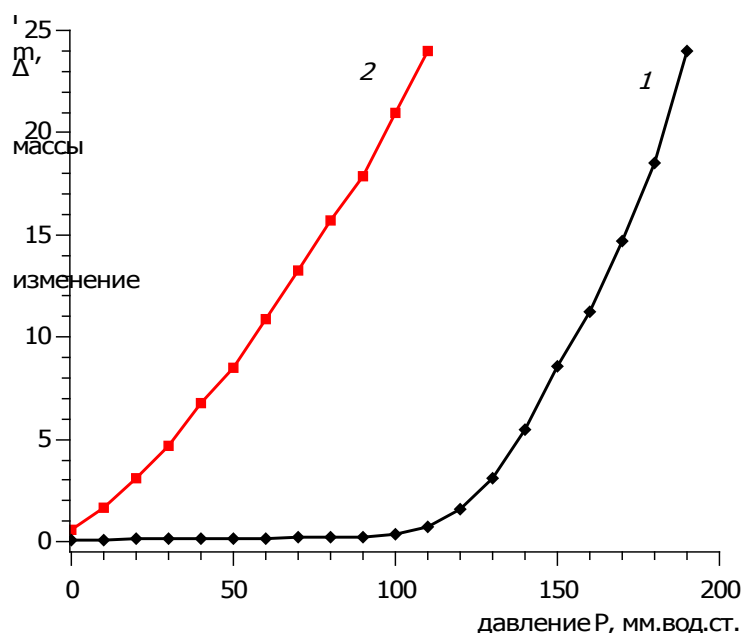


Рисунок 2. Интенсивность фильтрации воды через слой порошка угля Д, подготовленного в инертной атмосфере (1) и на воздухе (2)

Таким образом, с использованием комплекса химических и физико-химических методов исследования установлено влияние условий пробоподготовки на химический состав и смачивающие свойства угольной поверхности:

1. Изменения вещественного состава угля при его контактировании с кислородом воздуха в условиях механических воздействий пробоподготовки протекают непосредственно в тонком приповерхностном слое без преобразования внутреннего объема угольных частиц.

2. Угольные пробы, подготовленные к исследованию в инертной среде, имеют повышенное содержание карбонильных групп и меньшую суммарную кислотность относительно углей, прошедших подготовку в воздушной среде.

3. Применение физической нагрузки (удар, трение, сжатие) при измельчении и расसेве угольной массы в воздушной среде способствует раскрытию и обнажению новой активной поверхности, что влечет к развитию реакций окисления и повышению гидрофильных свойств поверхности.

Список литературы

1. Krevelen, Dirk W. van. Coal: typology, physics, chemistry, constitution. – Amsterdam et al.: Elsevier, 1993. – 979 p.
2. Laskowski, J.S. Coal flotation and fine coal utilization. – Amsterdam: Elsevier Science, 2001. – 368 p.
3. Xu Ch., Wang D., Wang H. et all. Effects of chemical properties of coal dust on its wettability // Powder Technology. – 2017. – V. 318. – Pp. 33-39. – DOI: 10.1016/j.powtec.2017.05.02.
4. Семенова, С. А. Зависимость смачиваемости поверхности углей от петрографического состава / С.А. Семенова, Ю.Ф. Патраков, С. Ю. Лырщиков // Химия твердого топлива. – 2020. – № 2. – С. 12-21. – DOI: 10.31857/S0023117720020103. DOI: 10.3103/S036152192002010X.
5. Семенова, С.А. Изменение свойств нативного низкометаморфизованного угля при контакте с воздухом / С.А. Семенова, Ю.Ф. Патраков, С. Ю. Лырщиков, Н.С. Захаров // Химия твердого топлива. – 2022. – № 3. – С. 3-11. – DOI: 10.31857/S0023117722030082.
6. Qi X., Wang D., Xin H., Qi G. In situ FTIR study of real-time changes of active groups during oxygen-free reaction of coal. – Energy Fuels. – 2013. – V. 27. – № 6. – Pp. 3130-3136. – DOI: 10.1021/ef400534f.
7. Xin H., Wang D., Dou G., Xu T., Qi G. The infrared characterization and mechanism of oxygen adsorption in coal // Spectroscopy Letters. – 2014. – V. 47. – Pp. 664-675. – DOI: 10.1080/00387010.2013.833940.
8. Кучер, Р.В. Структура ископаемых углей и их способность к окислению / Р.В. Кучер, В.А. Компанец, Л.Ф. Бутузова. – Киев: Наук. думка, 1980. – 168 с.
9. Классен, В.И. Флотация углей. – М.: Госгортехиздат, 1963. – 379 с.
10. Зимон, А.Д. Адгезия жидкости и смачивание. – М.: Химия, 1974. – 416 с.

Работа выполнена в Лаборатории научных основ технологий обогащения угля Института угля ФИЦ УУХ СО РАН под руководством доктора химических наук, профессора Ю.Ф. Патракова.

СЕКЦИЯ 2

УГЛЕХИМИЯ И ХИМИЧЕСКОЕ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

**ПЕРЕРАБОТКА УГЛЕЙ ООО «ШАХТА «ЛИСТВЯЖНАЯ»
(АО ХК «СДС-УГОЛЬ») С ЦЕЛЬЮ ПОЛУЧЕНИЯ ОПЫТНОЙ
ПАРТИИ КАРБОНИЗАТА И ИССЛЕДОВАНИЯ ЕГО СВОЙСТВ**

**COAL PROCESSING LISTVYAZHNAYA MINE LLC
(JSC HC «SDS-UGOL») TO OBTAIN A PILOT BATCH OF
CARBONIZATE AND STUDY ITS PROPERTIES**

*Брызгалов Леонид Павлович, аспирант, Институт углехимии
и химического материаловедения ФИЦ УУХ СО РАН*

*Leonid P. Bryzgalov. Graduate student, Institute of Coal Chemistry
and Chemical Materials Science of FRC CCC SD RAS
E-mail: l.beyzgalov@sds-ugol.ru*

Аннотация: Целью работы является оценка возможности получения из предоставленных видов углей с ООО «Шахта «Листвяжная» (Российская Федерация) высокомаржинальных продуктов, произведенных на пиролизной шахтной электропечи, углеродсодержащих материалов, для коммерческого использования, а именно – для применения в металлургии (ферросплавное, литейное, карбидное, фосфорное производство, агломерация руд), а также горючих газов (сопутствующий продукт) и выработки тепловой и электрической энергий.

Результатами работ является:

- образцы наработанного продукта;
- результаты исследования образцов наработанного продукта.

Abstract: The aim of the work is to assess the possibility of obtaining from the provided types of coal from LLC Mine Listvyazhnaya (Russian Federation) high-margin products produced on a pyrolysis mine electric furnace, carbon-containing materials, for commercial use, namely, for use in metallurgy (ferroalloy, foundry, carbide, phosphorus production, ore agglomeration), as well as combustible gases (a by-product) and the generation of thermal and electrical energy.

The results of the work are:

- samples of the accumulated product;
- the results of the study of samples of the developed product.

Ключевые слова: пиролиз угля, углеродный восстановитель, карбосил, газификация, синтез-газ, термообработка, угольная электропечь.

Keywords: coal pyrolysis, carbon reductant, carbosil, gasification, synthesis gas, heat treatment, coal electric furnace.

Введение. Долгосрочный прогноз спроса на энергетический уголь продолжает ухудшаться по мере того, как все больше стран объявляют о намерении полностью отказаться от угольной энергетики. Будущее угольной энергетики возлагается на Индию и Китай, являющихся крупнейшими потребителями угля. Обе страны заявляют о внедрении чистых угольных технологий и развитии угольной генерации. Для России понимание перспективного спроса на уголь и диверсификации производства угольной промышленности принципиально важно, так как от неё зависят не только крупные налоговые отчисления, сохранение рабочих мест, социальная поддержка, но и масштабные проекты топливно-энергетического комплекса России, а также его инфраструктуры. В основе технологии электропечи шахтной пиролизной (рис. 1) заложены конструкция, принципы и методы, разработанные ООО «ЭПОС-Инжиниринг» (г. Новосибирск).

Принцип переработки заключается в том, что в печи осуществляется среднетемпературный частичный пиролиз исходного угля за счёт частичного слоевого регулируемого окисления продуктов пиролиза и прямого воздействия на материал электромагнитного поля и электротока, с последующим «сухим тушением» полученного карбонизата [2].

Шихта последовательно проходит зоны: предварительного нагрева, сушки, пластификации, кристаллизации (с удалением влаги и части летучих), структурных и химических превращений, с частичной карбонизацией диоксида кремния золы первичного угля, зоны выдержки, «сухого тушения», дозированной выгрузки полученного коксового остатка. Технология отработана на опытно-промышленной установке производительностью 10 кг/час по углю (до 6 кг/час полученного продукта).

При реализации технологии в промышленных масштабах образующийся попутный горючий генераторный газ может быть

охлаждён, очищен и подан на мини-ТЭС, с последующей выработкой тепла и электроэнергии (возможно использование получаемого печного газа для других целей).



Рисунок 1. Внешний вид электропечи шахтной пиролизной
(промплощадка ООО «ЭПОС-Инжиниринг»)

Тепло от цикла сухого тушения, охлаждения карбонизата (коксового остатка) может быть использовано для генерации тепла и электроэнергии, для отопления производства, АБК, теплиц, обжига кирпича (при наличии рядом кирпичного завода) и других целей.

Электропечь шахтная пиролизная конструктивно представляет собой печь шахтного типа, имеющую цилиндрический внешний корпус и футерованный свод шатровой формы (рис. 2).

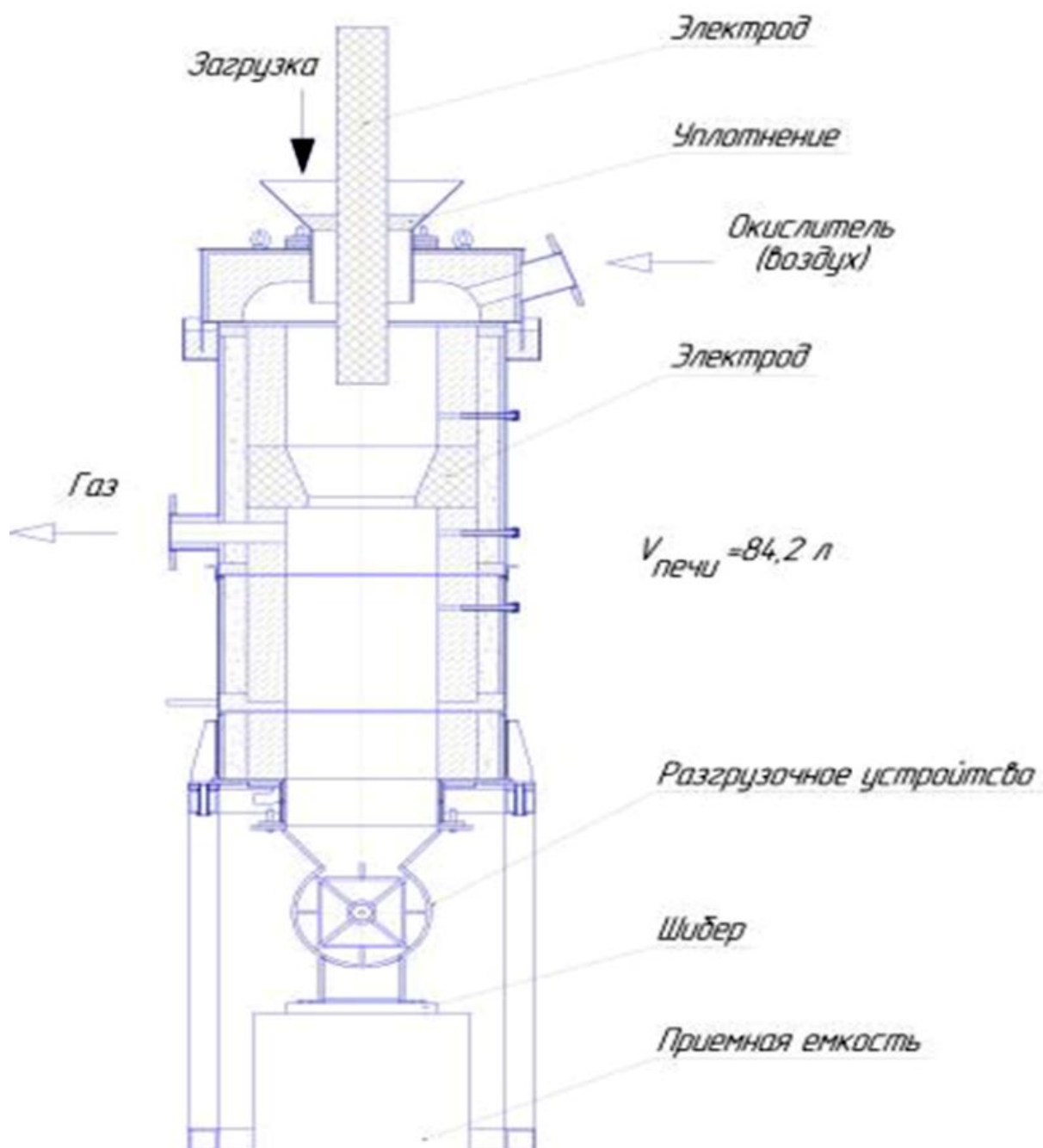


Рисунок 2. Опытно-промышленная установка
для отработки технологии производства «КарбоСил-Э»
из углей марки «Д»

Исходный материал (табл. 1), порционно поступает в пространство электропечи через зону загрузки, таким образом, чтобы обеспечивалось равномерное распределение материала по сечению на колошнике. Номинальная производительность печи составляет 10 кг/ч по углю.

Таблица 1

Исходные характеристики угля ДОМ (13-50)

	A^d , %	W_t^r , %	V^{daf} , %	Q_i^r , ккал/кг
ДОМСШ (0-50)	3,8	8,0	38	5399

Верхняя зона электропечи выполняет функцию подогрева и подготовки исходного материала к переработке. В результате подогрева и подготовки большая часть органической фазы угля переходит в газообразное состояние, из твердого куска выделяются летучие соединения, происходит выделение тяжелых фракций (смол). По мере схода материала, под слоем шихты, происходит его нагревание за счет теплопроводности материала и слоевого окисления управляемым потоком воздуха, при наличии электрического поля. В этот период происходит контролируемое испарение влаги угля и его нагрев с заданной управляемой скоростью до температуры начала пластификации. При этом слои угля прогреваются до температур не менее 750°C , что приводит к образованию на поверхности куска электропроводного слоя.

Скорость нагрева до температуры $300\div 700^\circ\text{C}$ поддерживается в интервале $25\div 50^\circ\text{C}/\text{мин}$.

Горючий газ, выделившийся в зоне подогрева материала, принудительно подается вниз, в зону дополнительного электронагрева и в зону выдержки, обеспечивая температуру карбонизата, достаточную для удаления из него остаточного количества летучих. Пары воды из угля удаляются вместе с горючим газом.

Управляемая подача воздуха на частичное окисление горючего газа осуществляется в зоне электронагрева, и обеспечивается в объеме, задающим необходимую скорость нагрева и протяженность зоны энерговыделения, совместно с нагревом за счет протекания тока в шихте.

Эффективное сечение газоотводящих патрубков и расход газа на входе должны обеспечивать необходимую скорость газового потока в непосредственной близости от колошника и на выходе в газоход.

Согласованные поддерживаемые режимы по скорости схода шихты, скорости нагрева, скорости роста проводимости, скорости газовыделения и ряда других параметров технологии, приводят к тому, что в кусковом материале, при наличии электромагнитного и электрического воздействия,

формируется новая структура, с развитой поверхностью и пористостью, элементами трещиноватости, но вместе с тем – с возросшей проводимостью материала, не достигающей проводимости кокса. (В задачу термообработки входит сохранение относительно высокого сопротивления продукта, т. к. низкое сопротивление приводит к выходу электродов при работе рудотермической печи наверх, ухудшению режимов работы печи, повышенному пылевывосу, часто – снижению производительности и ухудшению извлекаемости по основному продукту).

Для правильно выбранных типов углей формирующаяся структура не приводит и к уменьшению размеров кусков и уплотнению, приводящих к росту проводимости.

Термообработанный в зоне нагрева материал опускается через кольцевой электрод, где происходит выравнивание температурного поля за счет теплопроводности и протекания электрического тока через сечение кольцевого канала.

Из кольцевого электрода материал поступает в зону выдержки, где он находится в течение 25÷30 мин.

После прохождения нижней зоны выдержки, материал поступает в камеру сухого тушения (зона охлаждения), где под действием инертного газа охлаждается до температуры 180÷200°C, при котором окисление углерода карбонизата кислородом воздуха не происходит.

Образующийся при обработке угля горючий газ выводится из электропечи через газоотводящие патрубки и подается на утилизацию. Температура горючего газа на выходе из электропечи может достигать 1000 °C.

Охлажденный карбонизат через устройство выгрузки дозированно подается в герметичные емкости, где находится до полного остывания.

От каждого вида подготовленного к карбонизации угля был произведён отбор проб с целью определения технического анализа топлива для расчета технологического процесса.

Для определения условий процесса карбонизации углей необходимо предварительно исследовать их качественные показатели, которые являются важными критериями для проведения процесса карбонизации.

От режимов нагрева, времени обработки на разных этапах, температуры в различных зонах процесса карбонизации зависят качественные показатели получаемого карбонизата, расходы различных видов энергии.

В связи с анализом полученных сортомарок было принято решение проводить обработку в печи шахтного типа только угля марки ДОМ (13-50 мм), т.к. в печах шахтного типа не представляется оптимально обрабатывать пылевые и мелкозернистые материалы без предварительного брикетирования или получения окатышей достаточной прочности и стойкости при воздействии температур при обработке.

Результаты исследований представлены в таблицах 2 и 3.

Таблица 2

Характеристики угля ДОМ (13-50)
в сравнении с полученным восстановителем

Показатели	Обозначение	ДОМ	Карбонизат
Влага общая (рабочее состояние топлива), %	W_t^r	8,0	0,48
Зольность, %	A^d	3,8	6,0
Выход летучих веществ (сухое беззольное состояние), %	V^{daf}	38,0	0,5
Нелетучий (связанный) углерод	C	52,2	93,2
Элементный состав	C	79,48	93,2
	H	6,87	0,89
	O	11,3	-
	N	2,18	-
	S	0,17	0,18
Теплота сгорания высшая, МДж/кг (ккал/кг)	Q_s^{daf}	32,03 (7655)	32,11 (7674)
Теплота сгорания на сухое беззольное состояние, МДж/кг (ккал/кг)	Q_i^{daf}	25,75 (6154)	31,04 (7418)
Теплота сгорания низшая (рабочее состояние топлива), МДж/кг (ккал/кг)	Q_i^r	22,59 (5399)	29,02 (6935)

Таблица 3

**Сравнительные характеристики полученного восстановителя
для выплавки ферросилиция и металлургического кокса**

Контролируемые параметры	Характеристики восстановителей для выплавки ферросилиция	
	Металлургический кокс**	«КарбоСил-Э»
Фракция, мм	10-25	10-50
Нижний предел, %	2,95	не более 5
Верхний предел, %	4,18	не более 5
Ств, %	75,0	93,0
Влажность, %	3-13	1,5-3
Зольность, %	12,3	6
Летучие, %	1,5	0,5
Фосфор, %	0,078	-*
P ₂ O ₅ в золе, %	-	1,55
Al ₂ O ₃ в золе, %	30	35,5
CaO в золе, %	5	7,82
TiO ₂ в золе, %	1,5	1,97
УЭС, Ом*см	0,04	6,0

* – по содержанию фосфора требуется дополнительные исследования,

** – данные из литературы [1].

Заключение

1. На основе углей марки ДОМ шахты «Листвяжная» после процесса карбонизации возможно получать:

– качественные карбонизаты для выплавки сложных кремнистых ферросплавов, ферросилиция высоких марок, карбонизаты обладают повышенным УЭС (3,2-7,0 Ом*см при 1600 °С, вместо 0,8 Ом*м для кокса), что обеспечит более низкую посадку электродов, снижение газовой составляющей при работе ферросплавной печи, увеличение производительности печи.

2. Полученный карбонизат можно разделить на две группы: кусковой и пылевидный. Пылевидный карбонизат является идеальным топливом для вдувания в пылегазовые горелки, взамен природному газу. Максимальный

эффект от использования пылевидного карбонизата может быть получен при использовании в новых металлургических технологиях, таких, как вдувание в расплав для его науглероживания.

3. В процессе карбонизации, помимо твердого остатка (карбонизата), образуются газообразные продукты (печной синтез-газ), который может быть применен как самостоятельный продукт для выработки электрической и тепловой энергии.

Список литературы

1. Агроскин, А. А. Физические свойства угля / А. А. Агроскин // Москва: Государственное научно-техническое издательство литературы по черной и цветной металлургии, 1961. – 239 с. – Режим доступа: по подписке. – URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=222611> (дата обращения: 06.07.2021). – ISBN 978-5-4458-5431-9. – Текст: электронный.

2. Патент 2745271 Российская Федерация, МПК C10B 1/00 (2006.01). Способ и устройство для получения продуктов пиролиза угля / И.А. Безруков, С.Н. Малышев; И.А. Безруков. – № 2020106569 ; заявл. 11.02.20; опубл. 22.03.21, Бюл. № 9. – 2 с. : ил.

Работа выполнена в Институте углехимии и химического материаловедения ФИЦ УУХ СО РАН под руководством академика РАН З. Р. Исмаилова.

**АНАЛИЗ СОСТАВА ГАЗООБРАЗНЫХ ПРОДУКТОВ
ЛАЗЕРНОГО ПИРОЛИЗА УГЛЕЙ РАЗЛИЧНЫХ МАРОК**

**ANALYSIS OF THE VARIOUS COAL GRADES
LASER PYROLYSIS GASEOUS PRODUCTS COMPOSITION**

Волков Валерий Дмитриевич, аспирант, Лаборатория энергетических соединений и нанокмполитов Института углехимии и химического материаловедения ФИЦ УУХ СО РАН

*Valery D. Volkov, postgraduate of energy compounds and nanocomposites laboratory of Institute of Coal Chemistry and Materials Science
FRC CCC SB RAS
E-mail: lesinko-iuxm@yandex.ru*

Аннотация: Целью данной работы является исследование состава газообразных продуктов лазерного пиролиза углей различных марок Кузнецкого бассейна. Процесс пиролиза осуществлялся при периодическом воздействии лазерного излучения с длиной волны 1064 нм, длительностью импульса 120 мкс и частотой следования импульсов 6 Гц в инертной среде (Ar) в течение 10^4 секунд. Исследовались образцы углей марок длиннопламенного (Д), отощённо-спекающегося (ОС), слабоспекающегося (СС), тощего (Т) и антрацита (А). Состав продуктов пиролиза регистрировался при помощи газоанализатора SCR QMS 300. Из измеренных масс-спектров получены зависимости концентрации газообразных продуктов от времени воздействия лазерного излучения для всех исследованных марок углей. Были обнаружены следующие газообразные продукты: CO_2 , CO , H_2O , H_2 , CH_4 . Построены зависимости долей прореагировавших образцов углей $\Delta m/m_1$ от содержания углерода C^{daf} , показателя выхода летучих веществ V^{daf} , атомных отношений Н/С и О/С, а также индекса ароматичности углей f_a . С уменьшением показателя выхода летучих веществ V^{daf} и атомных отношений Н/С и О/С доля прореагировавших образцов углей $\Delta m/m_1$ снижается. Также, доля

прореагировавших образцов углей $\Delta m/m_1$ уменьшается с ростом химической зрелости углей, содержания углерода C^{daf} и индекса ароматичности углей f_a .

Abstract: The purpose of this work is to study the composition of gaseous products of laser pyrolysis of coals of various grades in the Kuznetsk basin. The pyrolysis process was carried out under periodic exposure to laser radiation with a wavelength of 1064 nm, a pulse duration of 120 μs and a pulse repetition rate of 6 Hz in an inert medium (Ar) for 10^4 seconds. Coal samples of long-flame (D), thin-caking (OS), low-caking (SS), lean (T) and anthracite (A) grades (in Russian coal grades system) was studied. The composition of the pyrolysis products was recorded using an SCR QMS 300 gas analyzer. From the measured mass spectra, dependences of the concentration of gaseous products on the time of exposure to laser radiation were obtained for all the studied coal grades. The following gaseous products have been detected: CO_2 , CO , H_2O , H_2 , CH_4 . The dependences of the proportions of the reacted coal samples $\Delta m/m_1$ on the carbon content C^{daf} , the yield of volatile substances V^{daf} , the atomic ratios H/C and O/C, and the aromaticity index f_a of the coals are plotted. With a decrease in the yield of volatile substances V^{daf} and the atomic ratios H/C and O/C, the proportion of the reacted coal samples $\Delta m/m_1$ decreases. Also, the proportion of the reacted coal samples $\Delta m/m_1$ decreases with the growth of the chemical maturity of the coals, the carbon content C^{daf} , and the coal aromaticity index f_a .

Ключевые слова: уголь, лазерный пиролиз, лазер, масс-спектрометрия, синтез-газ.

Keywords: coal, laser pyrolysis, laser, mass spectrometry, syngas.

Введение

Развитие науки в области поиска новых более эффективных топлив на основе угля связано с необходимостью решения таких задач, как утилизация отходов углепереработки и снижение концентраций опасных антропогенных выбросов углекислого газа [1]. Одним из способов получения газообразного или жидкого топлива из угля является лазерный пиролиз, который имеет преимущество перед традиционным использованием пиролизных печей благодаря быстрому подводу энергии. Ценным газообразным продуктом лазерного пиролиза и газификации углей является, например, синтез-газ – преимущественно смесь монооксида углерода и водорода.

В работе Хансона и др. [2] использован метод лазерно-пиролитической газовой хроматографии (LPGC) для изучения влияния состава углей на распределение газообразных продуктов. Наивысшая температура пиролиза, достигнутая в этих исследованиях, составляла 1273 К, что приводило к образованию больших количеств газов с низким молекулярным весом. Быстрый пиролиз угля достигался за счет облучения образцов импульсным рубиновым лазером. Результаты масс-спектрометрических исследований лазерного пиролиза угля согласуются с теоретическими расчетами, согласно которым в составе продуктов пиролиза должны присутствовать H_2 , CO , C_2H_2 , CH_4 , HCN , N_2 и H_2S .

В работе Вандерборга и др. [3] было изучено влияние воздействия излучения неодимового лазера (1060 нм) на пять углей различных марок в водородной среде. Измеренная длительность импульса составляла примерно 1 мс, плотность энергии 10 Дж/мм². В процессе охлаждения горячие продукты пиролиза сталкиваются с газообразным водородом. Этот процесс является из механизмов для образования ацетилена. Таким образом, газообразные продукты пиролиза, полученные при воздействии неодимовым лазером, можно объяснить реакциями, протекающими при охлаждении высокотемпературных систем.

В работе Сеитлиева и др. [4] приведен способ получения газообразного водорода из различных марок угля, кокса и графита при воздействии наносекундных лазерных импульсов с длиной волны 1064 и 532 нм в различных средах, таких как вода, воздух и аргон. Газообразные продукты, образовавшиеся в результате этого облучения, анализировали с помощью газовой хроматографии. Было обнаружено, что воздействие импульсного лазерного излучения с длиной волны 532 нм были более эффективными, чем импульсы с длиной волны 1064 нм в процессах образования водорода. Измерения газовой хроматографии показывают, что в основном образуется водород и окись углерода.

В работе Ли и др. [5] показано, что более длительное время воздействия (в течение 5 секунд) и большая мощность (до 130 Вт) лазерного облучения CO_2 -лазером (1064 нм) различных марок углей могут увеличить выход газообразных продуктов в ограниченном диапазоне. Но чрезмерное время и мощность лазерного облучения могут снизить выходы некоторых газообразных продуктов. Кроме того, характеристики марок углей оказывают большое влияние на объем выхода продуктов лазерного пиролиза. Частичная водородная среда может немного увеличить выход газообразных продуктов.

В работе [6] проведено исследования термического разложения бурого угля под воздействием импульсного лазерного излучения в инертной среде. При помощи метода масс-спектропии были зарегистрированы следующие газообразные продукты пиролиза: H_2 , CH_4 , H_2O , CO и CO_2 . Обнаружено, что концентрация водорода в составе газообразных продуктов пиролиза возрастает с увеличением плотности энергии в импульсе, а концентрация диоксида углерода и паров воды, наоборот, снижается. Концентрации CO и CH_4 остаются постоянными. Выход горючих газов линейно возрастает с ростом плотности энергии лазерного излучения. Кроме того, в работе [7] изучено воздействие лазерного излучения на образцы бурого и длиннопламенного газового углей в среде воздуха. Предложена схема образования конечных продуктов окисления углей, а также рассчитан коэффициент энерговыделения при воздействии лазерного излучения на уголь. Основными продуктами окисления углей являлись молекулы CO_2 и H_2O .

Несмотря на то, что большое количество работ направлено на исследование процесса пиролиза и газификации угля [8-10], детальные исследования состава продуктов лазерного пиролиза углей различных марок Кузнецкого бассейна не проводились. Цель данной работы – исследование молекулярного состава газообразных продуктов, образующихся при воздействии лазерного излучения микросекундной длительности на образцы углей различных марок.

Объекты и методика

В качестве объектов исследования использовались угли Кузнецкого угольного бассейна следующих марок: длиннопламенной (Д), отощённо-спекающийся (ОС), слабоспекающийся (СС), тощий (Т) и антрацит (А). Результаты технического анализа аналитических проб углей и элементного анализа образцов углей представлены в таблицах 1 и 2 (W^a – влага аналитическая, A^d – зольность, V^{daf} – показатель выхода летучих веществ).

Таблица 1

Результаты технического анализа аналитических проб углей

Проба, марка угля	Технический анализ, %		
	W ^a	A ^d	V ^{daf}
Проба № 72, марка Д, р-з «Камышанский» Северо-Талдинское м-е, пласт 73	7,6	6,2	44,5
Проба № 34, марка ОС, р-з «Томусинский»	0,1	6,7	19,8
Проба № 45, марка СС, р-з «Бачатский»	1,3	4,7	19,0
Проба № 81, марка Т, АО «Кузнецкинвестстрой», пласт 19а	0,5	6,2	14,4
Проба № 33, марка А, р-з «Бунгурский»	0,4	3,6	7,7

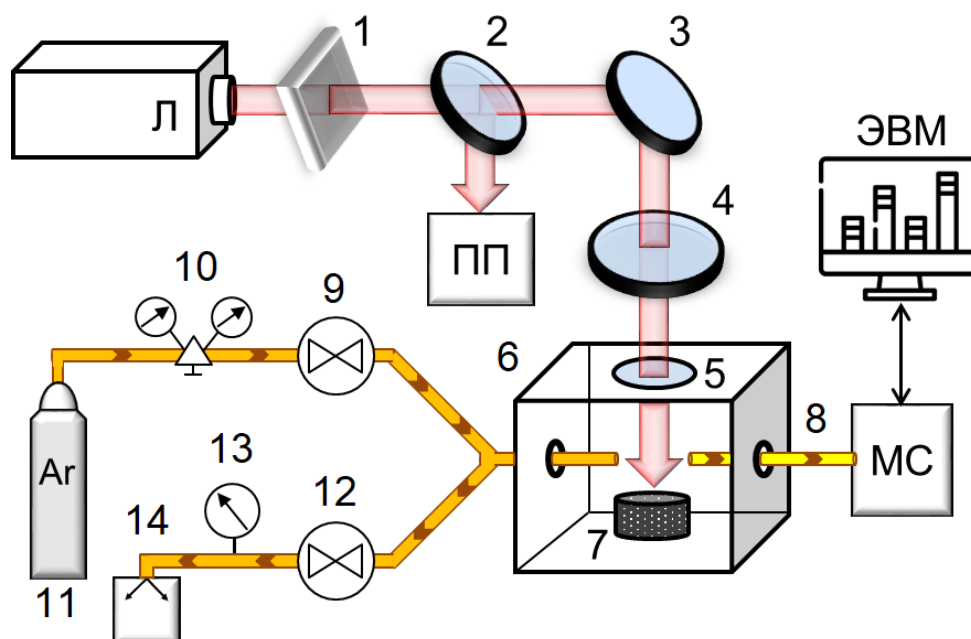
Таблица 2

Результаты элементного анализа образцов

С, %	Н, %	Н, %	С, %	О, % (по разности)
74,4	5,3	2,3	0,5	17,5
84,8	4,2	2,0	0,3	8,7
83,8	4,0	2,1	0,1	10,0
89,7	4,1	2,0	0,4	3,8
89,6	3,3	1,8	0,4	4,9

В качестве источника лазерного излучения использовался неодимовый YAG:Nd³⁺-лазер, работающий в режиме свободной генерации на длине волны 1064 нм, с длительностью импульса 120 мкс и частотой следования импульсов 6 Гц. Диаметр лазерного пучка совпадал с диаметром таблетированного образца для полного покрытия излучением поверхности образца.

Схема экспериментальной установки представлена на рисунке 1.



1 – нейтральные светофильтры, 2 – светоделительная пластина,
 3 – поворотное зеркало, 4 – линза, 5 – окно экспериментальной камеры,
 6 – экспериментальная камера, 7 – образец, 8 – капилляр газоанализатора,
 9, 12 – запорный вентиль, 10 – газовый редуктор, 11 – баллон газовый,
 13 – вакуумметр, 14 – форвакуумный насос, Л – импульсный Nd:YAG-
 лазер, ПП – пирозлектрический приемник, МС – газоанализатор,
 ЭВМ – компьютер

Рисунок 1. Функциональная схема экспериментальной установки

Регулировка энергии лазерного излучения (Л) производилась с использованием нейтральных светофильтров (1). Излучением фокусировались на образец (7) с помощью поворотного зеркала (3) и линзы (4) через окно камеры (5). Для контроля энергии лазерного импульса часть энергии лазерного излучения светоделительной пластиной (2) отводилась на пирозлектрический приемник (ПП).

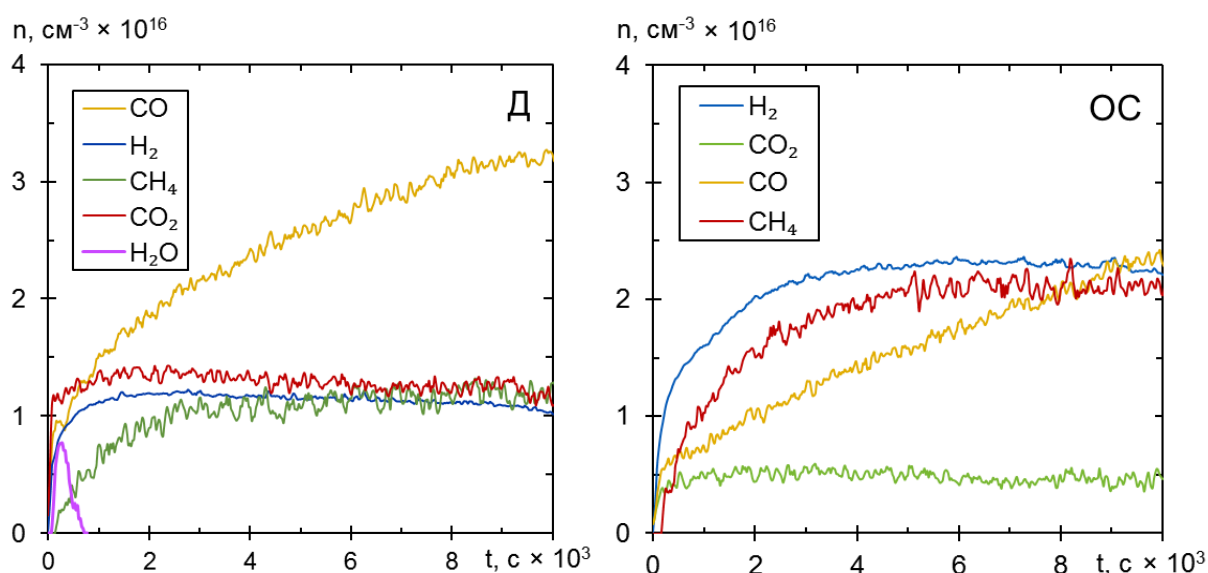
Для изготовления образцов уголь измельчался в шаровой мельнице АГО-2. Угольные частицы подвергались просеиванию через вибрационное сито с размером ячейки 63 мкм, после чего таблетировались в специальной пресс-форме. В результате получался образец в форме таблетки массой 75 мг, диаметром 6,2 мм и толщиной 2,5 мм.

Образцы помещали в экспериментальную герметичную камеру (6). С помощью системы откачки воздуха (12 – 14) и системы напуска аргона (9 – 11) в камере формировалась инертная среда. Отбор газов из камеры осуществлялся непрерывно при помощи капилляра (8), который

соединялся с анализатором газов (МС) SCR QMS 300. Перед началом воздействия лазерного излучения производилась запись фонового масс-спектра газообразной среды в камере. Далее проводилась регистрация масс-спектра продуктов лазерного пиролиза образцов углей и вычитание фонового масс-спектра при помощи компьютера (ЭВМ). Каждый образец угля подвергался воздействию лазерного излучения в течение 10^4 с.

Результаты и обсуждение

На рисунке 2 представлены зависимости изменения концентраций газообразных продуктов лазерного пиролиза образцов углей марок А, Т, СС, ОС и Д от длительности лазерного излучения. Для всех исследуемых марок углей в составе продуктов лазерного пиролиза обнаружены H_2 и CO . Наблюдается увеличение концентрации CO в процессе всего эксперимента и рост концентрации H_2 вплоть до $\sim 4 \cdot 10^3$ с. Кроме того, с увеличением химической зрелости углей упрощается компонентный состав газообразных продуктов. Для углей марок Т, СС, ОС и Д в продуктах лазерного пиролиза был обнаружен CH_4 . Его концентрации к середине экспериментов перестают расти. Для углей марок ОС и Д наблюдается образование CO_2 . Также для угля марки Д выявлена небольшая концентрация H_2O в первые 10^3 с эксперимента.



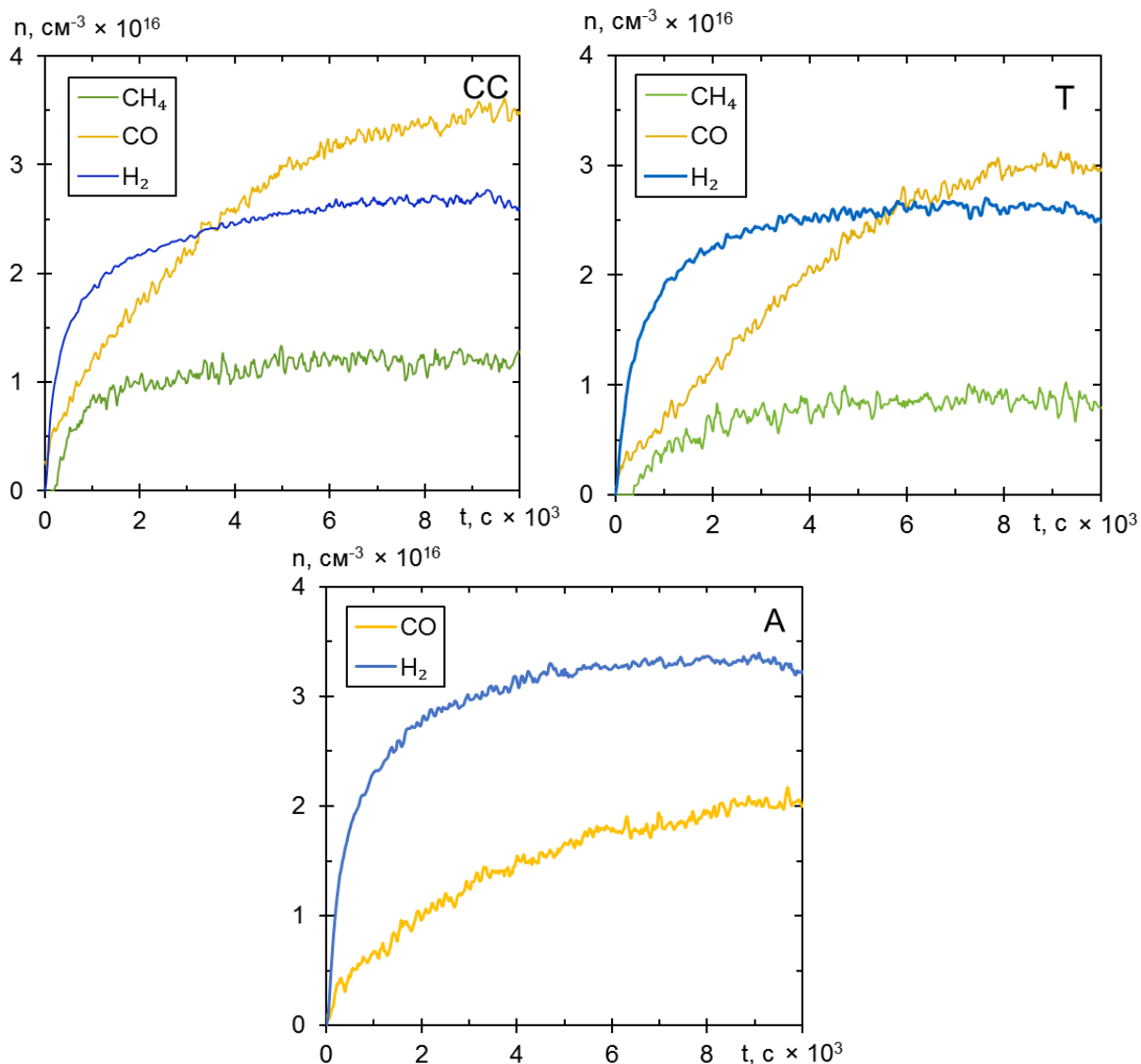


Рисунок 2. Зависимости изменения концентраций газообразных продуктов лазерного пиролиза образцов углей марок Д, ОС, СС, Т и А от длительности лазерного излучения

Объемные доли продуктов пиролиза в момент времени $t = 10^4$ с для исследуемых марок углей представлены на рисунке 3. С ростом химической зрелости углей увеличиваются объемные доли H_2 в продуктах пиролиза.

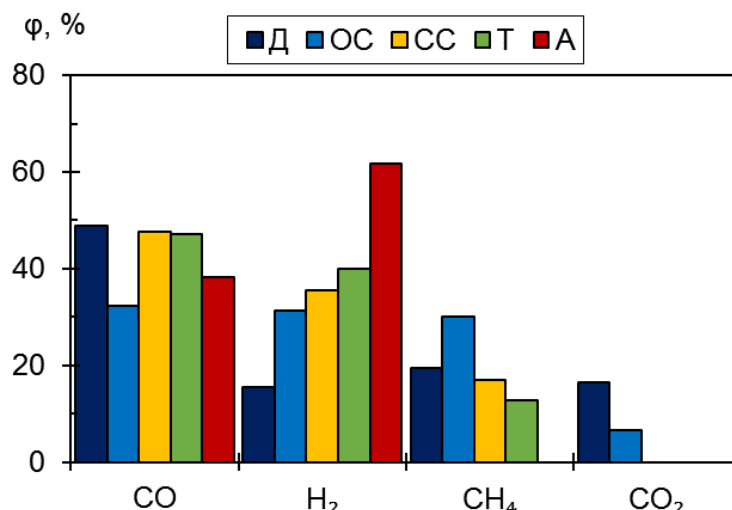
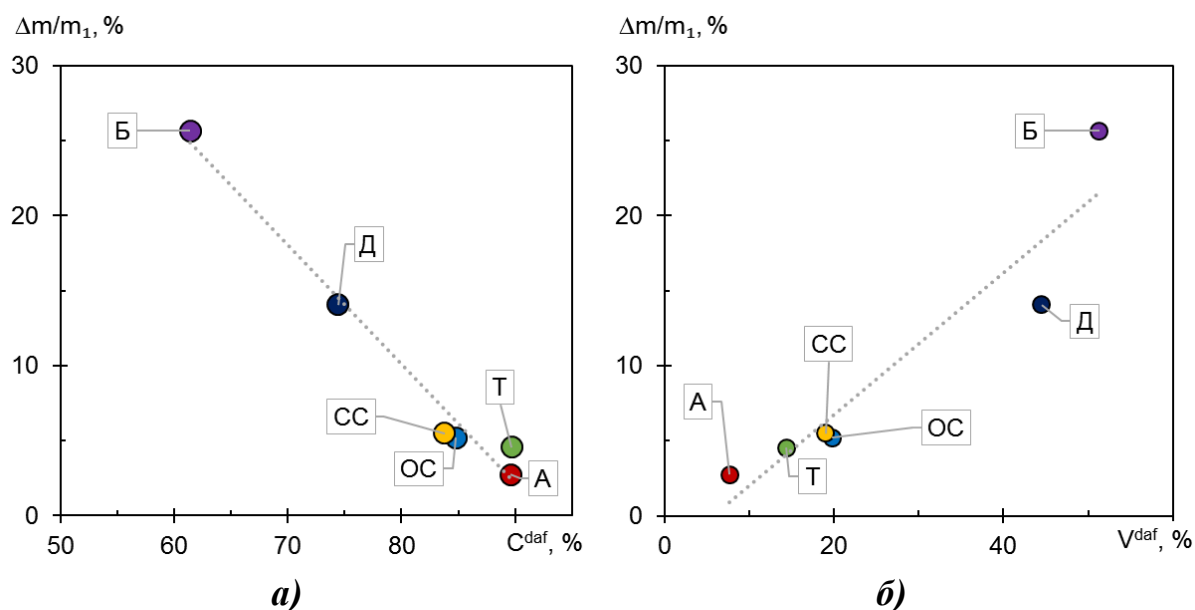


Рисунок 3. Объемные доли φ продуктов пиролиза в момент времени $t = 10^4$ с

На рисунке 4 представлены зависимости долей прореагировавших образцов углей $\Delta m/m_1$ от содержания углерода C^{daf} , показателя выхода летучих веществ V^{daf} , атомных соотношений H/C и O/C, а также от индекса ароматичности углей f_a . С увеличением химической зрелости углей, содержания углерода C^{daf} и индекса ароматичности углей f_a (расчет этой величины был проведен в работе [11]), а также уменьшением показателя выхода летучих веществ V^{daf} и атомных соотношений H/C и O/C наблюдается снижение долей прореагировавших образцов углей $\Delta m/m_1$. Данные для угля марки Б взяты из работ [6, 11].



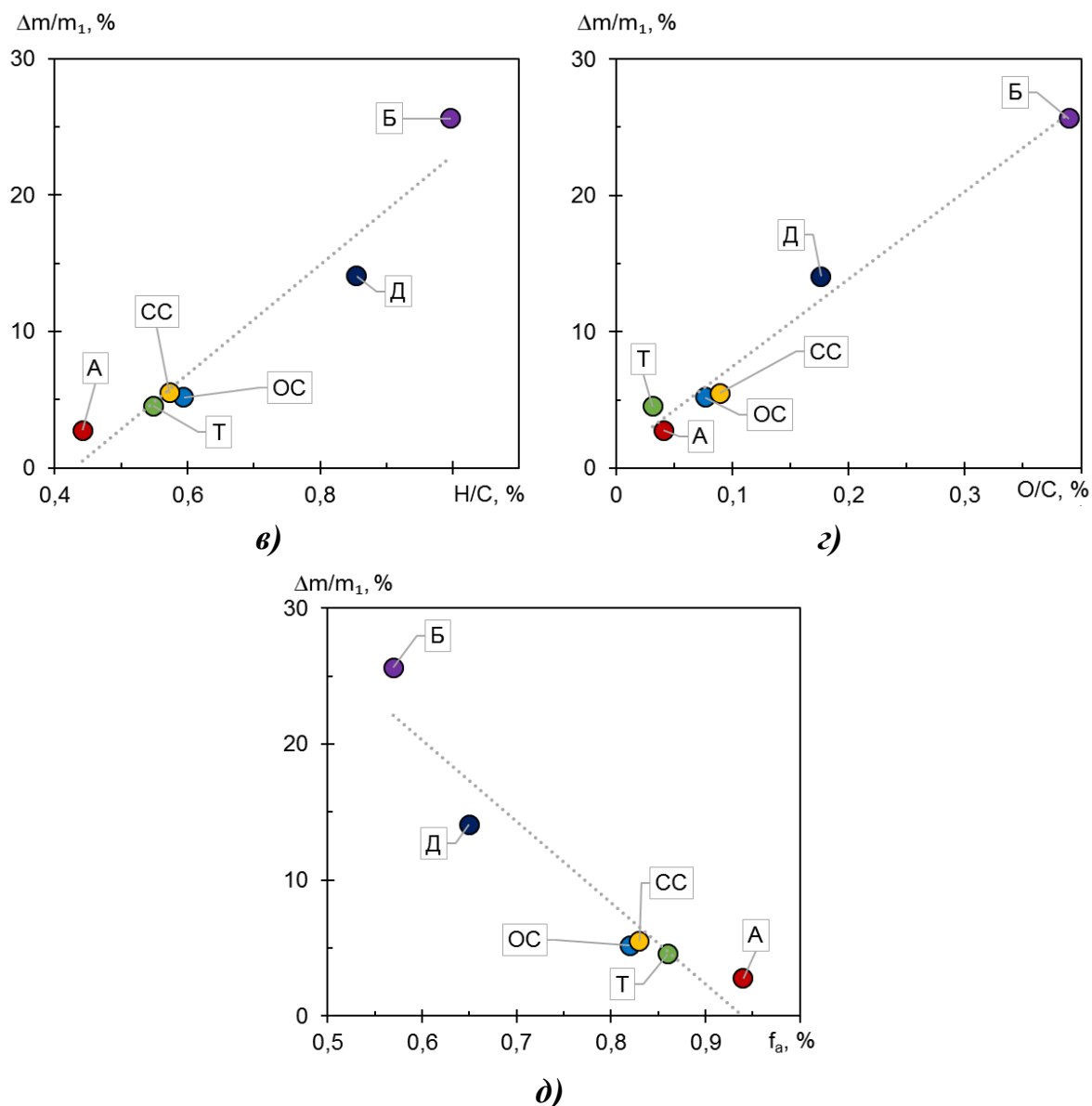


Рисунок 4. Зависимости долей прореагировавших образцов углей $\Delta m/m_1$ от показателя выхода летучих веществ V^{daf} (а), содержания углерода C^{daf} (б), атомных соотношений H/C (в) и O/C (з), индекса ароматичности углей f_a (д)

Закключение

Выполнен масс-спектрометрический анализ состава газообразных продуктов лазерного пиролиза углей Кузнецкого угольного бассейна марок Д, ОС, СС, Т и А в среде аргона.

1. Компонентный состав газообразных продуктов лазерного пиролиза углей упрощается с увеличением химической зрелости углей.

Зарегистрированы следующие газообразные продукты лазерного пиролиза углей: марка Д – H_2O , CO_2 , CH_4 , H_2 и CO , марка ОС – CO_2 , CH_4 , H_2 и CO , марка Т и СС – CH_4 , H_2 и CO , марка А – H_2 и CO .

2. С уменьшением показателя выхода летучих веществ V^{daf} и атомных отношений Н/С и О/С, а также с ростом химической зрелости углей, содержания углерода C^{daf} и индекса ароматичности углей f_a наблюдается снижение доли прореагировавших образцов углей $\Delta m/m_1$.

Полученные результаты представляют интерес в исследовании реакций образования синтез-газа в процессе лазерного пиролиза. В дальнейшем планируется варьировать параметры лазерного излучения и расширить набор исследуемых углей Кузнецкого бассейна.

Список литературы

1. Радзюк, А.Ю. Современные проблемы газификации водоугольного топлива (краткий обзор) / А.Ю. Радзюк, Е.Б. Истягина, В.А. Кулагин, А.В. Жуйков // Журн. Сиб. федер. ун-та. Техника и технологии. – 2021. – 14(5). – С. 487–506. [DOI: 10.17516/1999-494X-0328].

2. Hanson, R.L. Characterization of coal by laser pyrolysis gas chromatography / R.L. Hanson, N.E. Vanderborgh, D.G. Brookins // Analytical Chemistry. – Vol. 49. – № 3. – March 1977. – P. 390-395. – [DOI:10.1021/ac50011a016].

3. Vanderborgh, N.E. High-energy (neodymium) laser pyrolysis of U.S. coals / N.E. Vanderborgh, W.J. Verzino, M.A. Fletcher, B.A. Nichols // Journal of Analytical and Applied Pyrolysis. – № 4. – 1982. – P. 21-31.

4. Seyitliyev D. Laser-induced hydrogen generation from graphite and coal / D. Seyitliyev, Kh. Kholikov, B. Grant, O. San, A. O. Er. // International Journal of Hydrogen Energy. – Vol. 42. – Is. 42. – 2017. – P. 26277-26288. – [DOI:10.1016/j.ijhydene.2017.08.149].

5. Li Y. Experimental study of laser pyrolysis of coal and residual oil / Y. Li, F. Hua, H. An, Y. Cheng // Fuel. – Vol. 283. – 2021. – [DOI:10.1016/j.fuel.2020.119290].

6. Крафт, Я.В. Пиролиз Кайчакского бурого угля под воздействием лазерного излучения / Я.В. Крафт, Д.Р. Нурмухаметов, Б.П. Адуев, З.Р. Исмагилов // Вестник КузГТУ. – 2019. – № 3. – С. 5-15. – [DOI: 10.26730/1999-4125-2019-3-5-15].

7. Kraft, Y.V. Investigation of the Laser Radiation Effects on Lignite with the Products Analysis by Mass Spectrometry / Y. Kraft, D. Nurmukhametov,

B. Aduev, Z. Ismagilov // Eurasian Chem.-Technol. J. . – Mar. 2020. – Vol. 22. – № 1. – P. 3-10. [DOI:10.18321/ectj924].

8. Karn, F.S., Friedel, R.A., et al. Distribution of gaseous products from laser pyrolysis of coals of various ranks // Carbon. – 1967. – Vol. 5. – P. 25-32.

9. Pyatenko, A.T., Bukhman S.V., et al. Experimental investigation of single coal particle devolatilization by laser heating // Fuel. – 1992. – Vol. 71. – P. 701-704.

10. Hadjizadah, R. Laser pyrolysis of coal / R. Hadjizadah, D.L. Begley // Optics and Lasers in Engineering. – Vol. 12. – № 1. – 1990. – P. 43-54. – [DOI:10.1016/0143-8166(90)90005-T].

11. Нелюбина, Н.В. Исследование корреляционной связи между энергетическим порогом лазерного зажигания углей и степенью их ароматичности / Н.В. Нелюбина, Я.В. Крафт, С.Ю. Лырщиков, З.Р. Исмагилов // Химия в интересах устойчивого развития. – 2021. – № 5. – С. 591-596. [DOI: 10.15372/KhUR2021335].

Работа выполнена в Лаборатории энергетических соединений и нанокмполитов Института углехимии и химического материаловедения ФИЦ УУХ СО РАН под руководством доктора физико-математических наук, профессора Б.П. Адиева.

**ИЗМЕНЕНИЕ ФОРМО-РАЗМЕРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК
НАНОЧАСТИЦ Fe-Pt ПРИ НАГРЕВАНИИ**

**DEPENDENCE OF SHAPE-SIZE CHARACTERISTICS
ON TEMPERATURE**

*Захаров Никита Сергеевич, ведущий инженер
ЦКП ФИЦ УУХ СО РАН*

*Nikita S. Zakharov, lead engineer, Center of Collective Use
of FRC CCC SB RAS
E-mail: 2metil4@gmail.com*

Аннотация: В работе рассмотрены процессы, происходящие при нагревании наноструктурированной системы FePt. Методами просвечивающей электронной микроскопии и малоуглового рентгеновского рассеивания показано, что после прогрева образцов до 600 °С в высоком вакууме формируются агломерационные структуры размерами 50-70 нм, состоящие из частиц размерами 5-10 нм. В тоже время субмикронная область не претерпевает значимых изменений размерных характеристик. Было показано, что в результате прогрева образцов наблюдаемые изменения возникают за счёт трансформации внутренней агломерационной структуры вследствие спекания наименьших частиц, которые входят в состав агломератов субмикронных размеров, и (или) их слияния с более крупными частицами агломерата. В результате были предположены две модели спекания частиц в процессе термообработки.

Abstract: In the work, the processes occurring during heating of the nanostructured FePt system were considered. Transmission electron microscopy and small-angle X-ray scattering have shown that after heating the samples to 600°C in high vacuum, agglomeration structures 50-70 nm in size are formed, consisting of particles 5-10 nm in size. At the same time, the submicron region does not undergo significant changes in dimensional characteristics. It was shown that as a result of sample heating, the observed changes occur due to the

transformation of the internal agglomeration structure due to sintering of the smallest particles that are part of submicron agglomerates and (or) their merging with larger agglomerate particles. As a result, two models of particle sintering during heat treatment were proposed.

Ключевые слова: наночастицы, железо-платина, формо-размерные характеристики, малоугловое рентгеновское рассеяние, просвечивающая электронная микроскопия.

Keywords: nanoparticles, iron-platinum, shape and size characteristics, small-angle X-ray scattering, transmission electron microscopy.

Введение

Наночастицы на основе благородных металлов, таких как платина или палладий, в комбинации с переходными металлами (Fe, Co или Ni) обладают набором весьма перспективных свойств. Особое место в ряду наноструктурированных биметаллических систем занимает FePt ввиду того, что она обладает сверхвысокими значениями коэрцитивной силы в сочетании с высокой намагниченностью насыщения. В связи с этим применение этой системы возможно при создании материалов для записи информации сверхвысокой плотности, постоянных сверхминиатюрных магнитов, а также для реализации гипертермии злокачественных новообразований [1–7].

Все вышеописанные перспективные области применения исследуемой системы возможны только при получении частиц в узком размерном интервале (5–15 нм) и в упорядоченной тетрагональной фазе $L1_0$. Однако, в связи с неравномерностью процессов восстановления металлических прекурсоров, в системе формируются частицы неупорядоченного твёрдого раствора со структурой $A1$, богатые благородным компонентом [8–10]. Для перевода его в фазовое состояние $L1_0$ которого необходимо производить нагревание системы до температуры не менее 800 °C, что неминуемо приводит к общему укрупнению частиц и изменению ввиду этого их магнитных характеристик.

Целью работы является детальное рассмотрение процессов, приводящих к агрегации наночастиц FePt, богатых благородным компонентом, для установления способов торможения (исключения) этих процессов.

Основная часть

Материалы и методы исследования

Образцы получали методом совместного восстановления водных растворов гексахлораплатината (IV) водорода (ч.д.а) и сульфата железа (II) щелочным раствором гидрадин-гидрата. Синтез проводили в открытом, термостатированном реакторе при температуре 90 °С с верхнеприводной механической мешалкой. Полученные частицы промывали водой, затем изопропиловым спиртом и сушили на воздухе до постоянной массы.

В результате были синтезированы 3 образца с закладываемыми составами: Fe₇Pt₉₃, Fe₁₃Pt₈₇, Fe₁₅Pt₈₅, Fe₂₁Pt₇₉.

Элементный состав образцов определяли методом оптико-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой на спектрометре iCAP 6500 DUO (США).

Изучение фазового состава образцов выполняли методом рентгенофазового анализа (РФА) на порошковом дифрактометре Bruker D8 ADVANCE A25 (Германия), оснащённым высокотемпературной камерой Anton Paar НТК 1200N (Австрия), в которой проводили прогрев частиц до 600 °С в высоком вакууме (10⁻⁷ мбар).

Исследование размерных характеристик методом малоуглового рентгеновского рассеяния (МУРР) проводили на дифрактометре КРМ-1 (Россия).

Микрофотографии частиц получали на просвечивающем электронном микроскопе (ПЭМ) JEOL JEM 2100 (Япония).

Полученные результаты и их обсуждение

Элементный анализ частиц показал незначительное отклонение определяемого состава от закладываемого. В качестве основных примесей были обнаружены Ni, Cu, Zn и Si, общее содержание которых не превышает 0,1 масс. %.

При исследовании образцов методом РФА было показано, что в образцах формируется твёрдый раствор FePt со структурой A1 и предельным содержанием железа 11,4±0,7 ат.%. При сопоставлении данных элементного и рентгенофазового анализов было показано, что закладывание содержания железа выше его предела растворимости в Pt, помимо твёрдого раствора, формируется дифракционно невидимая фаза, богатая железом. Полученные данные согласуются с [8–9].

Сопоставление полученных на ПЭМ микрофотографий, образцов до и после прогрева до 500 °С, с выдержкой в течение 2 часов (рис. 1) показало, что происходит общее укрупнение частиц. На снимках отчётливо фиксируются агломераты сферической формы размерами от 50 до 70 нм. При этом чётко видно, что они образованы из частиц размерами от 5 до 10 нм.

При этом на снимках отсутствуют структуры, которые в работе [9] были отнесены к частицам дифракционноневидимой фазы (ДНФ). Таким образом, можно сделать вывод, что в результате прогрева происходит присоединение частиц ДНФ к более крупным (дифракционно видимым) частицам.

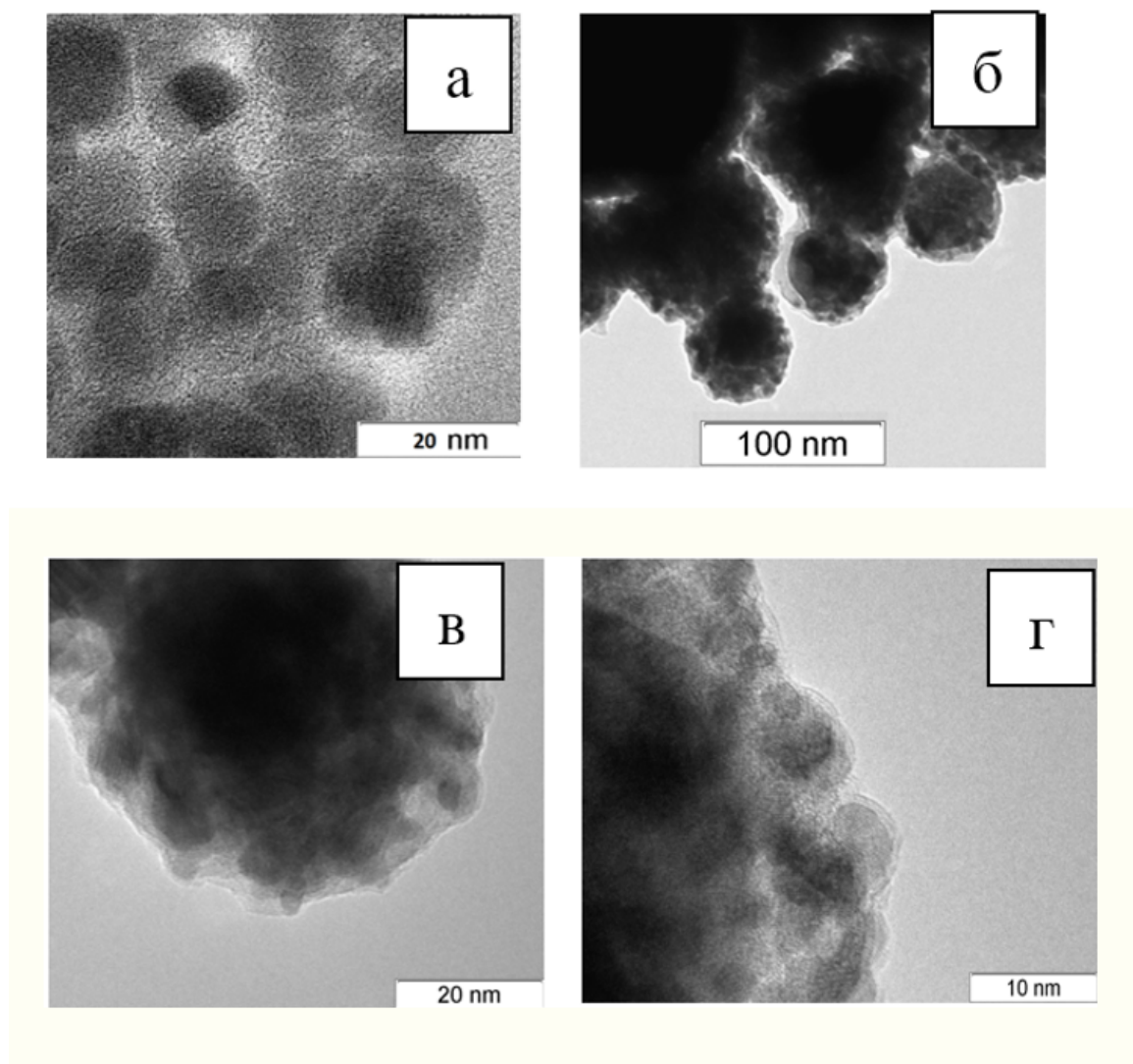


Рисунок 1. Типичные ПЭМ микрофотографии исходного (а) и прогретого до 500 °С (б-г) образца $\text{Fe}_{21}\text{Pt}_{79}$

Данные, полученные методом МУРР, представлены на рисунке 2. При сопоставлении кривых для образцов до- и после прогрева заметно только падение интенсивности наноразмерного пика (примерно в 2-4 раза по сравнению с образцами, не прошедшими процедуру прогрева).

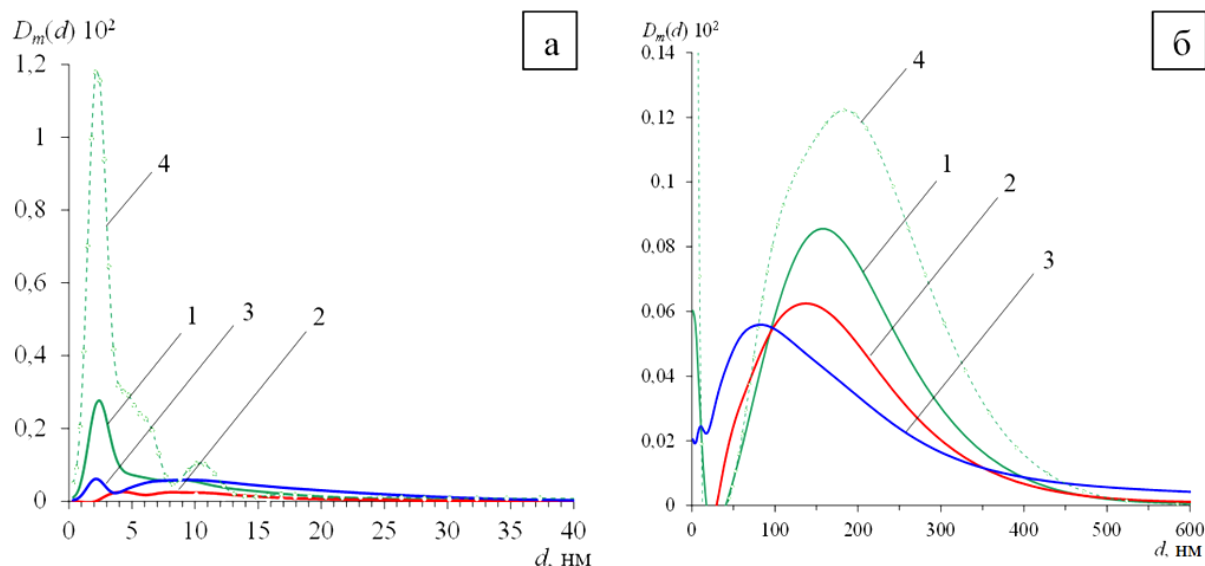


Рисунок 2. Типичные массовые функции распределения частиц (неоднородностей) по размерам, полученные методом МУРР в наноразмерной (а) и субмикронной (б) области для образцов Fe₇Pt₉₃ (прогретый до 600 °С) (1), Fe₁₃Pt₈₇ (прогретый до 600 °С) (2), Fe₁₅Pt₈₅ (прогретый до 600 °С) (3), Fe₇Pt₉₃ (исходный) (4)

Исследуя кривые МУРР и сопоставляя их со снимками ПЭМ возможно сделать вывод, что фиксируемые изменения являются результатом происходящих внутренних трансформаций в агломерационной структуре. По-видимому, в результате прогрева образцов происходит спекание частиц, из которых сложен агломерат. При этом в результате нагревания не происходит ни изменений размеров агломератов ни изменение его формы.

Таким образом, возможно выделить два вероятных процесса спекания частиц (рис. 3). В случае широкого распределения частиц по размерам, когда в основе агломератов лежат крупные частицы, окружённые мелкими, в результате прогрева мелкие частицы присоединяются (поглощаются) частицами более крупного размера.

В случае же узкого распределения частиц по размерам должно происходить спекание мелких частиц и образование крупных. Последний ва-

риант, скорее всего, реализуется в случае прогрева образцов, содержащих большое количество железа.

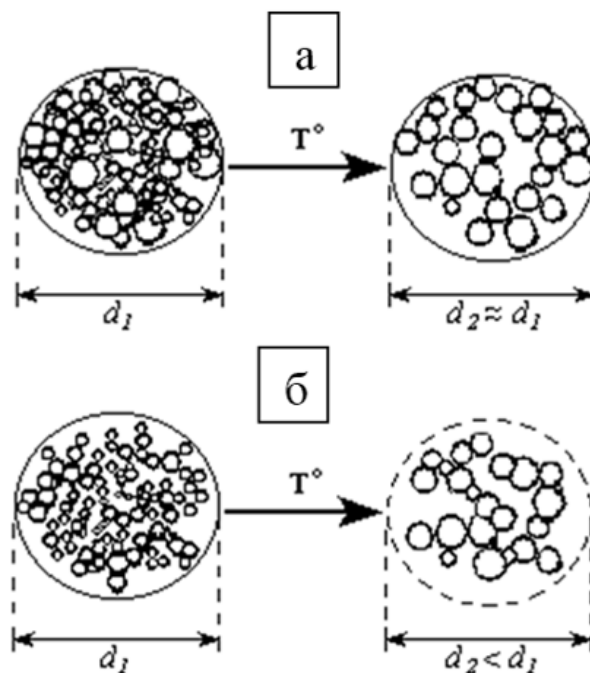


Рисунок 3. Предполагаемые варианты спекания в процессе термообработки для частиц с широким (а) и узким (б) распределением по размерам

Заключение

Таким образом, при прогреве наноструктурированной системы FePt, полученной выбранным методом синтеза, происходит общее укрупнение частиц до размеров 50-70 нм. При этом внутренняя структура полученных агломератов не претерпевает значимых изменений. Полученные результаты будут использованы для исследования фазовых трансформаций, происходящих при нагревании.

Список литературы

1. Xiao, T. Annealing condition effects on the structural properties of FePt nanoparticles embedded in MgO via pulsed laser deposition / T. Xiao, Q. Yang, J. Yu, Z. Xiong, W. Wu // *Nanomaterials*. – 2021. – V. 11. – №. 1. – P. 131.
2. Rong, C. B. Size-dependent chemical and magnetic ordering in L_{10} -FePt nanoparticles / C. B. Rong, D. Li, V Nandwana Size-dependent chemical and magnetic ordering in L_{10} -FePt nanoparticles // *Advanced Materials*. 2006.– V. 18. – №. 22. – P. 2984-2988.

3. Elkins, K. Monodisperse face-centred tetragonal FePt nanoparticles with giant coercivity / D. Li, N. Poudyal, V. Nandwana, Z. Jin, K. Chen, J. P. Liu // Journal of Physics D: Applied Physics. – 2005. – V. 38. – №. 14. – P. 2306.
4. Rellinghaus, B. Magnetic properties of FePt nanoparticles / B. Rellinghaus, S. Stappert, M. Acet, E. F. Wassermann // Journal of Magnetism and Magnetic Materials. – 2003. – V. 266. – №. 1-2. – P. 142-154.
5. Klemmer, T. G. Structural studies of L10 FePt nanoparticles / T. G. Klemmer, N. Shukla, C. Liu, X. W. Wu, E. B. Svedberg, O. Mrysov, R. W. Chantrel, D. Weller // Applied Physics Letters. – 2002. – V. 81. – №. 12. – P. 2220–2222.
6. Rellinghaus, B. Magnetic properties of FePt nanoparticles / B. Rellinghaus, S. Stappert, M. Acet., E. F. Wassermann // Journal of Magnetism and Magnetic Materials. – 2003. – V. 266. – №. 1-2. – P. 142-154.
7. Lei, W. Halide ion-mediated synthesis of L1₀-FePt nanoparticles with tunable magnetic properties / W. Lei, J. Xu, Y. Yu, W. Yang, Y. Hou, D. Chen // Nano Letters. – 2018. – T. 18. – №. 12. – C. 7839-7844.
8. Zakharov, N.S. Platinum-rich solid solution in nanostructured FePt system / N.S. Zakharov, V.M. Pugachev, Yu. A. Zakharov, A.N. Popova // Chemistry for sustainable development. – 2021. – V. 29. – №. 5. – P. 536-542.
9. Pugachev, V. M. Phase transformations of the nanostructured iron-platinum system upon heating / V. M. Pugachev, Y. A. Zakharov, A. N. Popova, D. M. Russakov, N. S. Zakharov // Journal of Physics: Conference Series. – 2021. – V. 1749. – №. 1. – P. 012036.
10. Zakharov, N. S. Transmission electron microscopy for evaluating the structural parameters of nanoparticles / N. S. Zakharov, A. N. Popova, Y. A. Zakharov, V. M. Pugachev, D. M. Russakov // Journal of Physics: Conference Series. – 2021. – V. 1749. – №. 1. – P. 012011.

Работа выполнена с привлечением оборудования ЦКП ФИЦ УУХ СО РАН в Лаборатории неорганических наноматериалов Института углерода и химического материаловедения ФИЦ УУХ СО РАН под руководством член-корреспондента РАН Ю.А. Захарова.

**ОЦЕНКА СТЕПЕНИ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ
ОРГАНИЧЕСКОЙ И МИНЕРАЛЬНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ
НА ПОВЕРХНОСТНЫЕ СВОЙСТВА УГЛЯ**

**ASSESSMENT OF THE DEGREE OF INFLUENCE OF PARAMETERS
OF ORGANIC AND MINERAL CONSTITUENTS
ON THE SURFACE PROPERTIES OF COAL**

*Камоза Екатерина Сергеевна, аспирант,
Институт углехимии и химического материаловедения
ФИЦ УУХ СО РАН*

*Ekaterina S. Kamoza, graduate student,
Institute of Coal Chemistry and Chemical Materials Science
of FRC CCC SB RAS
E-mail:ms.kamoza@mail.ru*

Аннотация: В работе представлены результаты влияния параметров органической и минеральной составляющей энергетических углей на поверхностные свойства угля. Показан системный подход к прогнозной оценке обогатимости на стадии исследования угля перед обогащением.

Abstract: In this work presents the results of relationship studies parameters of the organic and mineral components of thermal coals on the surface properties of coal. A systematic approach to predictive assessment of washability is shown at the stage of coal research before enrichment.

Ключевые слова: показатели качества углей; гранулометрический состав; петрографический состав; элементный состав, минеральный состав, гидрофильность.

Key words: coal quality indicators; coal grading; petrographic composition; ultimate composition; mineral matter; hydrophilicity.

Изучены угли «Кедровско-Крохалевского» месторождения с целью установления принципиальных характеристик, влияющих на результаты процессов переработки на отдельных стадиях.

Процессу переработки рядового угля предшествует ряд последовательных стадий: добыча, погрузка, перевозка, складирование на складе рядовых углей перед подачей на обогатительную фабрику, при прохождении которых уголь подвергается дополнительному измельчению.

В связи с этим содержание концентрата класса 0-0,2 мм в долевого участии товарной продукции имеет ключевое значение. Для обогащения мелких классов применяется метод пенной флотации, где разделения на продукты основано на различиях по смачиваемости поверхности [1]. Системный подход с расширенным перечнем качественных показателей позволит выявить закономерные связи между характеристиками исходного угля и обогатимостью.

Для описания отличительных особенностей в структуре рядовых углей использовали следующие методы исследования: гранулометрический анализ исходного угля, технический, петрографический анализы, обогащение флотацией в лабораторных условиях, элементный состав органической массы и минеральный состав золы исходных проб, а также продуктов обогащения.

Для сравнительного анализа были взяты три образца эксплуатационных проб рядового угля со схожими общими техническими характеристиками, но разными результатами при обогащении флотационным методом [2].

Согласно гранулометрического состава, содержание класса 0-0,2 мм в исходном угле по образцам № 1, 2 и 3: 4,7, 6,5 и 20% соответственно. Значительное увеличение долевого участия мелких классов влечет за собой повышенную нагрузку не только на оборудование, но и потери в процессе всего технологического процесса ввиду засорения более крупных машинных классов [3].

Проведен технический анализ проб стандартными методами: все исследуемые образцы зольные и характеризуются средним выходом летучих веществ. Однако выход флотоконцентрата по результатам лабораторной флотации составил: 65,6, 82,8 и 81,4% по первому, второму и третьему образцу соответственно, что говорит о различии в эффективности флотационного процесса.

Количественный петрографический анализ выполнен на автоматизированном комплексе оценки марочного состава углей системы «SIAMS-620» (Россия). По результатам петрографического анализа имеются отличия в количественном содержании микрокомпонентов, а именно: выход флотоконцентрата при обогащении образца № 1

с большим содержанием витринита и меньшим содержанием отошающих компонентов на 17,2% ниже, чем у образца № 2, и на 15,8% ниже образца № 3.

Важное значение для флотации имеет состояние поверхности частиц углей [3, 4]. Результаты минерального состава зол представлены в таблице 1.

Таблица 1

Минеральный состав зол

Компоненты	Условные обозначения	Содержание, %		
		1 образец	2 образец	3 образец
Оксид кремния	SiO ₂	63,20	61,7 ↓	62,19 ↓
Оксид алюминия	Al ₂ O ₃	25,75	25,5 ↓	28,7 ↑
Оксид железа	Fe ₂ O ₃	1,83	2,61 ↑	1,47 ↓
Оксид кальция	CaO	0,47	2,03	1,25
Оксид магния	MgO	1,18	1,70	0,38
Оксид натрия	Na ₂ O	+	+	+
Оксид калия	K ₂ O	4,12	4,31 ↑	5,14 ↑
Оксид фосфора	P ₂ O ₅	0,12	0,15	0,15
Оксид марганца	MnO	0,01	0,01	0,01
Сера общая	S	1,22	1,22	0,43
Оксид титана	TiO ₂	0,69	0,61	0,72
Барий	Ba	0,14	0,12	0,12
Индекс основности	Io	0,09	0,12	0,09

Основная часть породных включений представлена глинистыми сланцами (Al₂O₃·2SiO₂·2H₂O) и песчаными сланцами (SiO₂). Анализ полученных данных подтверждает преобладание глинистой породы. В

зольном остатке также присутствуют Fe_2O_3 и CaO , являющиеся продуктами от гидрофильных минеральных составляющих пирита и кальцита. Содержание данных компонентов, в пересчете на исходную массу исследуемого угля, не превышает 0,5%. Дополнительно было проведено определение минерального состава по продуктам обогащения. По полученным результатам видна однородность долевого участия минералов как в рядовых углях, так и в концентрате и отходах.

Данные минерального состава зол коррелируются с данными, полученными при помощи сканирующей электронной микроскопии. На основании спектров с помощью программного обеспечения Analysis Station рассчитаны содержания элементов по исходным образцам фракции 0-0,2 мм без озоления. По данным энергодисперсионного анализа поверхность образцов состоит преимущественно из углерода (66,11-68,66 масс.%) и кислорода (24,86-26,81 масс.%), при этом большим содержанием кислорода отличается образец № 1. В интервале содержания 1 до 5 масс.% обнаружены элементы (в порядке убывания содержания) – Si, Al, K, Ca, Fe, и в количестве менее 1 масс.% присутствуют Mg, Ti.

Для изучения фрагментарного строения поверхностных слоев угольных частиц использовали спектроскопию ядерного магнитного резонанса. Исследование химических свойств угольной поверхности на наличие кислородосодержащих гидрофильных функциональных групп показывает отличие значений групп COOH (+0,7% и + 0,5%) первых двух проб в сравнении с образцом № 3. Показатель степени ароматичности f_a , рассчитанная из относительного содержания ароматических структур, по все пробам одинаковый и составляет 0,77, что подтверждает единую стадию метаморфизма.

На рисунке 1 представлены ^{13}C -ЯМР-спектры исследуемых образцов горно-геологического участка, одной стадии метаморфизма обусловлено различиями по ряду параметров: состав по машинным классам, количество и морфология микрокомпонентов, влияющими на свойства поверхности.

Установлено, что разные результаты по обогатимости углей с одного горно-геологического участка, одной стадии метаморфизма обусловлено различиями по ряду параметров: состав по машинным классам, количество и морфология микрокомпонентов, влияющими на свойства поверхности.

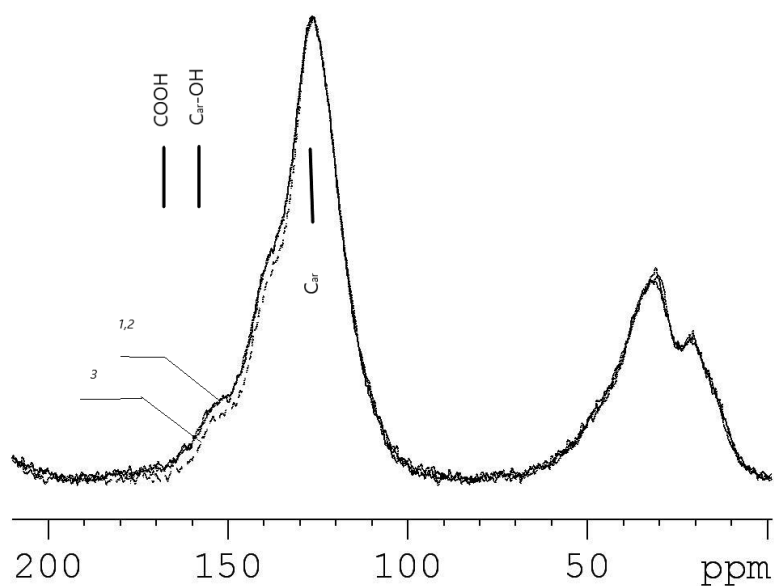


Рисунок 1. Совмещенные ^{13}C -ЯМР-спектры исследуемых образцов 1, 2, 3 углей «Кедровско-Крохалевского» месторождения

Список литературы

1. Клейн, М. С. Технология обогащения полезных ископаемых: учебное пособие / М. С. Клейн, Т. Е. Вахонина. – Кемерово: Издательский центр УИП КузГТУ. – 2017. – 193 с.
2. Камоза, Е. С. Исследование влияния физико-химических свойств органического и минерального состава рядовых углей мелких классов на эффективность обогащения / Е. С. Камоза, Е. С. Михайлова, З.Р. Исмагилов // Горный журнал. – 2021. – № 6. – С. 65-75.
3. Белов, В. В. Техника и технология обогащения углей / В. В. Белов, Ю. Н. Бочков, М. В. Давыдов; Под ред. В. А. Чантурия, А. Р. Молявко. – М.: Наука, 1995. – 622 с.
4. Шпирт, М. Я. Рациональное использование отходов углей / М. Я. Шпирт, В. А. Рубан, Ю. В. Иткин. – М.: Недра, 1990. – 224 с.
5. Семенова, С. А. Зависимость смачиваемости поверхности углей от петрографического состава / С. А. Семенова, Ю. Ф. Патраков, С. Ю. Лыршиков // Химия твердого топлива. – 2020. – № 2. – С. 12–21.

Работа выполнена в Институте углехимии и химического материаловедения ФИЦ УУХ СО РАН под руководством академика РАН З.Р. Исмагилова.

**ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ОКИСЛИТЕЛЬНОЙ СРЕДЫ
НА ПРОЦЕССЫ ОКИСЛЕНИЯ УГЛЕЙ**

**INFLUENCE OF THE PARAMETERS OF THE OXIDIZING MEDIUM
ON THE PROCESSES OF OXIDATION OF COALS**

*Кутищев Алексей Сергеевич, аспирант,
Институт углехимии и химического материаловедения
ФИЦ УУХ СО РАН*

*Alexey S. Kutischev, ph.d. student,
Institute of Coal Chemistry and Materials Science FRC CCC SB RAS
E-mail: 252aleksei@mail.ru*

Аннотация: В статье проведено теоретическое исследование механизмов самовозгорания и окисления углей при различных условиях окислительной среды. В соответствии с принятой классификацией определены четыре группы углей по склонности к окислению, три группы по причинам окисления, а также две категории их окисления. Рассматриваются различные теории, гипотезы и предположения, основанные на исследованиях процессов, происходящих при окислении углей. Проанализировано влияние следующих параметров окружающей среды на процессы окисления в углях: концентрации кислорода, азота, влажности и температуры. Определены основные методы исследования окисляемости углей.

Abstract: In this article a theoretical study of the mechanisms of spontaneous combustion and oxidation of coals under various conditions of the oxidizing environment was carried out. In accordance with the accepted classification, four groups of coals have been identified according to their propensity to oxidation, three groups for reasons of oxidation, as well as two categories of their oxidation. Various theories, hypotheses and assumptions based on studies of the processes occurring during the oxidation of coals are considered. The influence of the following environmental parameters on the

oxidation processes in coals is analyzed: oxygen concentration, nitrogen, humidity and temperature. The main methods of studying the oxidability of coals are determined.

Ключевые слова: уголь, окисление, окисляемость, самовозгорание, окислительная среда.

Keywords: coal, oxidation, oxidability, spontaneous combustion, oxidizing environment.

Введение

В процессе транспортировки и хранения уголь подвергается различным физическим, физико-химическим, химическим воздействиям, которые приводят к активизации взаимодействия органической и неорганической части угольного вещества с кислородом воздуха окружающей среды. Как следствие, в углях инициируются и развиваются процессы окисления, характеризующиеся физическими и химическими изменениями.

Физические изменения включают адсорбцию газа, десорбцию, испарение и конденсацию влаги, изменение теплопроводности, нагрев угля и ослабление структуры. Химические изменения связаны с химической адсорбцией и реакцией различных активных структур на поверхности угля с образованием кислородсодержащих групп, газов и сопровождающиеся тепловыми эффектами (экзотермическими и эндотермическими).

Результатом данных процессов является ухудшение характеристик угля, а также возникновение самовозгорания. Поэтому изучение влияния параметров окислительной среды на процессы изменения характеристик углей разных марок и оценка склонности углей к окислению имеют важное прикладное и фундаментальное значение.

1. Классификация углей по склонности к окислению

Известно, что окисление углей при добыче, хранении и транспортировке приводит к ухудшению их качества, что в свою очередь приводит к снижению теплоты сгорания, ухудшению показателя спекаемости, снижению качества кокса, изменению гранулометрического состава в пользу увеличения мелких классов и др.

Согласно нормативному документу ПБ 05-580-03 [1] угли по склонности к окислению подразделяют на 4 группы:

- 1) I группа – наиболее устойчивые к окислению, не самовозгорающиеся при хранении;
- 2) II группа – устойчивые к окислению и самовозгорающиеся в редких случаях;
- 3) III группа – угли средней устойчивости к окислению и самовозгоранию;
- 4) IV группа – угли неустойчивые, с повышенной активностью к окислению и самовозгоранию.

В статье Голынской Ф. А. [2] приводятся следующие три группы причин окисления и самовозгорания углей:

1) генетические причины, к которым отнесены условия формирования мощных угольных пластов, повышенного содержания сульфидов железа, генетической влажности, метана в углях, образования тектонической нарушенности и др.

2) физико-химические причины, к которым относятся: степень метаморфизма углей, химический состав органической и неорганической их частей, вмещающих пород и породных прослоев, прочностные свойства пород и угля, пористость, трещиноватость и т.д.

3) тектонические причины, которые связаны с тектонической и атектонической нарушенностью угольных пластов. Результатом данных процессов является разрушение и измельчение угольной массы, что приводит к облегчению доступа кислорода внутрь угольного пласта и к увеличению поверхности взаимодействия.

Somasundaran P. и др. [3] показывают, что окисление угля можно разделить на две категории: газообразное (сухое окисление) и химическое (влажное окисление). Когда уголь подвергается воздействию воздуха, он теряет влагу и происходит выветривание угля. Потеря влаги уменьшает защитный слой воды на поверхности угля, позволяя ему подвергаться воздействию атмосферного кислорода, что приводит к значительному ухудшению качества. Окисление также может происходить во влажных условиях, поскольку окислители, присутствующие в воде, способны образовывать гидрофильные группы на поверхности угля. Однако газообразное окисление более распространено.

2. Теории окисления углей

До сих пор не существует общепринятой теории, которая, удовлетворительно объясняла бы механизм окислительных процессов всех

твердых топлив. Высказаны различные гипотезы и предположения, основанные на исследованиях процессов, протекающих при окислении углей.

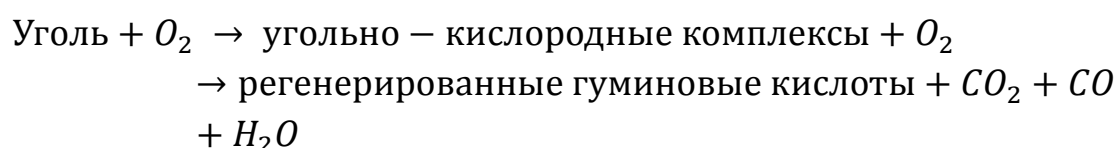
Одной из первых выдвинутых гипотез окисления углей является пиритная [4]. Ее сторонники утверждают, что первичным фактором окисления углей является взаимодействие кислорода с минеральными компонентами, пиритом и марказитом, а не с органической массой угля. Данная теория встречает много возражений, т.к. при низкой температуре пирит очень стоек к действию кислорода. Кроме того, известно много углей, содержащих 5-8% пиритной серы, при этом они оказываются значительно более стойкими к окислению по сравнению с другими, которые фактически не содержат пирита.

Стадников Г. Л. [5] убедительно показал несостоятельность пиритной гипотезы и предположил, что причину самовозгорания углей необходимо искать в примешанных к ним активным углистыми аргиллитами (глинистым веществам), которые содержат некоторое количество пирофорного железа, являющегося катализатором в окислительных процессах органической массы углей. Однако данная гипотеза не объясняет окисление и самовозгорание низкосольных углей, в том числе и тех, которые вообще не содержат угленосных аргиллитов.

В 1940 году Тронов Б. В. [6] выдвинул фенольную гипотезу, согласно которой поглощенный углем кислород реагирует, главным образом, с боковыми цепями молекул органического вещества, в местах, где находятся фенольные гидроксильные группы. В результате происходит гидроксилирование углеводородных звеньев и образование карбонильных групп. Когда связи между карбонильными группами разрываются из-за последующего окисления угля, выделяется угарный газ, а при избытке кислорода — углекислый газ.

В источниках [3, 4, 7] механизм окисления твердых горючих ископаемых объясняют с позиций перекисной теории окисления органических соединений, предложенной Бахом–Энглером и в дальнейшем развитой Семеновым Н. Н. Согласно данной теории, окисление рассматривается как радикально цепной процесс. Доказано, что при окислении органических веществ не требуется полного разрыва связи между атомами кислорода в молекуле O_2 . Достаточно разрыва одной связи и молекула превращается в бирадикал $O - O$. На это требуется значительно меньше энергии, чем на полный разрыв двух связей. Самой медленной стадией процесса являются реакции зарождения цепи, так как

для образования свободных радикалов требуется значительная затрата энергии, подводимой извне в виде тепла, УФ-излучения и т. п. Кроме того, угли обладают парамагнитными свойствами, следовательно, содержат свободные радикалы. Перекисная гипотеза не исключает фенольную, так как последняя является ее частным случаем. Орешко В. Ф., согласно Русчеву Д. Д. [4], применил основные положения теории Баха при объяснении автоокисления и самовозгорания углей. Эти процессы, по его мнению, протекают по следующей схеме:



Окисление углей в пластах происходит в присутствии влаги, которая в небольших количествах ускоряет этот процесс. Отсюда следует, что выветривание является не чисто окислительной, а окислительно-гидролитической деструкцией органической массы углей [8]. Такой механизм позволяет объяснить многие особенности процесса. Русчев Д. Д. [4] отмечает, что возможен гидролиз углерод-углерод связей в этих соединениях.

Забавин В. И. [9] считает, что окисление основной органической массы каменных углей хорошо выражается уравнениями окисления и гидролиза органического вещества каменных углей, предложенными Ван Кревеленом (рис. 1).

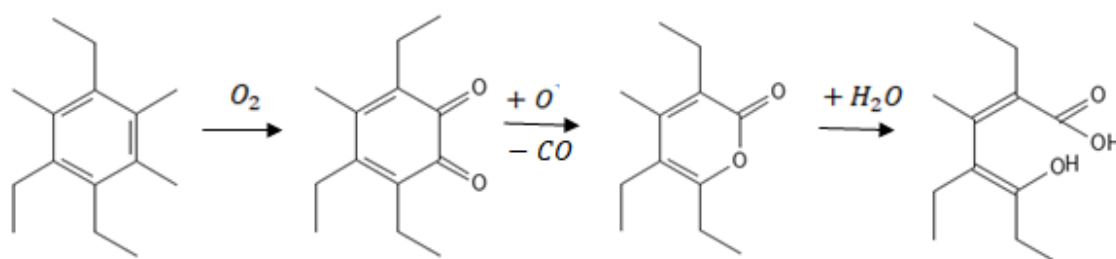


Рисунок 1. Схема окисления угля, предложенная Ван Кревеленом

3. Факторы влияющие на процесс окисления углей

Известны исследования в области изучения параметров окружающей среды на процессы окисления в углях.

Так, Ху J. С. [10] проанализировал влияние водной среды на теплоту смачивания, растворения, набухания, гидролиза, испарения и конденсации угля.

Li X. R. и др. [11] предположили, что избыточная влага играет каталитическую роль в образовании перекисно-кислородных комплексов и способствует рекомбинации угля и кислорода, тем самым способствуя самовозгоранию. При температурах порядка 80 °С в присутствии высокого содержания влаги, она оказывает ингибирующее действие на реакцию уголь-кислород.

Banerjee S. C. [12], Ren T. X. и др. [13] проанализировали кинетику окисления угля на основе экспериментальных результатов и показали, что на низкотемпературной стадии угля из-за испарения влаги, тепло трудно накапливать, и температура угля повышается очень медленно. Т. X. Ren и др. [13] подчеркнули, что испарение и поглощение тепла водой в угле препятствуют повышению температуры угля. He Q. И Wang D. [14] обнаружили, что влияние влаги на самовозгорание угля может определяться двумя аспектами: выделением тепла и поглощением кислорода.

В статье Cao N. и др. [15] исследовался механизм самовозгорания и кинетика окисления угля, выщелоченного водой. По сравнению с исходным углем образцы, обработанные водой, демонстрируют более высокую скорость окислительного нагрева и более сильную склонность к самовозгоранию.

В статьях Wen H. И др. [16], Fan J. и др. [17] оценивалось влияние параметров влаги на процессы окисления. Так было обнаружено, что при содержании влаги 1,2% антрацит и жирный уголь демонстрируют более сильную тенденцию к самовозгоранию. Длиннопламенный уголь и бурый уголь более склонны к самовозгоранию, когда содержание влаги составляет 3,4 и 5,6%. При содержании влаги 7,8% все четыре типа углей имеют низкую склонность к самовозгоранию. При более высоких температурах, свыше 100 °С, уже образцы с содержанием влаги 7,2 и 9,8% демонстрируют более высокую скорость нагрева при окислении и более высокую склонность к самовозгоранию.

Somasundaran P. и др. [18] провели эксперименты в присутствии азота в качестве инертного газа. В атмосфере азота наблюдается небольшое увеличение флотации из-за удаления влаги, что делало поверхность угля более гидрофобной. В то время как воздействие воздуха при комнатной температуре оказывает незначительное влияние. Увеличение плавучести угля наблюдалось при 90 °С, что, вероятно, связано с выделением газов из внутренней поверхности угля и

увеличением гидрофобности. В то же время кислородно-азотная смесь (21% кислорода, 79% азота) с самого начала приводит к резкому снижению флотации, вероятно, из-за усиленного окисления в результате недостатка влаги в воздухе.

Fuerstenau D. W. и Diao J. [19] провели детальное исследование окисления различных углей в контролируемых условиях. В статье авторов представлены результаты при 19-часовом окислении. При увеличении температуры, особенно выше 100 °С, результаты пленочной флотации показывают, что уголь становится более гидрофильным.

Ota H. и др. [20] оценивали влияние содержания кислорода в окислительной среде на структурные изменения битуминозного угля. Так в ходе эксперимента было обнаружено, что способность битуминозного угля к слеживанию и окислению значительно снижается при окислительной атмосфере с концентрацией кислорода в 5%.

4. Методы исследования окисляемости углей

На основе имеющихся данных основными методами исследования окисляемости углей являются:

1) дифференциальный термический анализ – метод фазового анализа конденсированных гетерогенных систем, позволяющий определять термодинамические параметры, такие как теплоёмкость и её изменение, температуру и энтальпию фазовых переходов при окислении угля;

2) дифференциальная сканирующая калориметрия используется как для определения теплоты химической реакции, так и для исследования физических изменений, происходящих в углях;

3) метод «точки пересечения» (CPT - Crossing Point Temperature) [21] позволяет определить значение температуры в точке, где начинается активное окисление углей;

4) сканирующая электронная микроскопия – метод оптической микроскопии, позволяющий определять склонность углей к окислению на основе неупорядоченности структуры или удельной трещиноватости [22], а также минералогический состав исследуемых углей;

5) электронный парамагнитный резонанс – метод спектроскопии, используемый для регистрации и изучения строения свободных радикалов и комплексов переходных металлов, имеющих неспаренный электрон.

Заключение

Таким образом, изучение склонности углей к окислению и влияния параметров окислительной среды на данный процесс является важной задачей, имеющей прикладное и фундаментальное значение. На основе полученных данных может быть разработана комплексная методика по исследованию окисляемости углей и даны рекомендации по условиям хранения углей.

Список литературы

1. Правила безопасности при обогащении и брикетировании углей (сланцев) (ПБ 05-580-03). Серия 05. Выпуск 6 / Колл. авт. – М.: Государственное унитарное предприятие «Научно-технический центр по безопасности в промышленности Госгортехнадзора России», 2003. – 256 с. – С. 144-158.
2. Голынская, Ф. А. Концептуальные положения о геологических факторах самовозгорания углей // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2009. – №. 1. – С. 35-39.
3. Somasundaran P., Roberts C. E., Ramesh R. Effects of oxidizing methods on the flotation of coal // Minerals engineering. – 1991. – Т. 4. – №. 1. – С. 43-48.
4. Русчев, Д. Д. Химия твердого топлива. – Л.: Химия, 1976. – Т. 253.
5. Стадников, Г. Л. Самовозгорающиеся угли и породы, их геохимическая характеристика и методы опознавания. – М.: Углетехиздат, 1956. – 478 с.
6. Тронов, Б. В. О механизме окисления каменного угля кислородом воздуха // Известия ТПУ. – 1940. – №3. – С. 11-36.
7. Yohe, G. R. Oxidation of coal // Illinois State Geological Survey Report of Investigations. – № 207. – 51 p. – 1958.
8. Кухаренко, Т. А. Химия и генезис ископаемых углей. – М.: Госгортехиздат, 1960. – 328 с.
9. Забавин, В. И. Каменные и бурые угли. Химический состав и структура. Свойства. Генезис. – М.: Изд-во «Наука, 1964.
10. Xu, J. C. Theory of judging the dangerous area of coal spontaneous combustion. – China Coal Industry Press. – Beijing, China, 2001.
11. Li X. R., Koseki H., Iwata Y. A study on spontaneous ignition of bituminous coal // Thermal Science. – 2009. – Т. 13. – №. 1. – С. 105-112.

12. Banerjee, S. C., Spontaneous Combustion of Coal and Mine Fire // Oxford & IBH Publishing Co.. – 1985. – Pp. 42-44.
13. Ren T. X., Edwards J. S., Clarke D. Adiabatic oxidation study on the propensity of pulverised coals to spontaneous combustion // Fuel. – 1999. – T. 78. – №. 14. – С. 1611-1620.
14. He Q., Wang D. Influence of moisture on absorbed oxygen and released heat of coal // Zhongguo Kuangye Daxue Xuebao. – 2005. – T. 34.
15. Cao N., Wang G., Liang Y. Study on the Microscopic Mechanism of Spontaneous Combustion and Oxidation Kinetics of Water-Leached Coal // Journal of Chemistry. – 2021. – T. 2021.
16. Wen H., Guo J., Jin Y.F., Zhai X.W., Wang K. Experimental study on effects of moisture on in relation to coal oxidation and spontaneous combustion characteristics of Mengba coal at high temperature environments // Chemical Engineering Transactions. – 2015. – T. 46. – С. 103-108.
17. Fan J., Wang G., Zhang J. Study on spontaneous combustion tendency of coals with different metamorphic grade at low moisture content based on TPO-DSC // Energies. – 2019. – T. 12. – №. 20. – С. 3890.
18. Somasundaran P., Roberts C. E., Ramesh R. Effects of oxidizing methods on the flotation of coal // Minerals engineering. – 1991. – T. 4. – №. 1. – С. 43-48.
19. Fuerstenau D. W., Diao J. Characterization of coal oxidation and coal wetting behavior by film flotation // Coal Preparation. – 1992. – T. 10. – №. 1-4. – С. 1-17.
20. Ota H., Takarada T., Maeno Y., Nishimura M. Oxidation behavior and caking property of coal under the atmosphere at low oxygen concentration // ISIJ international. – 2003. – T. 43. – №. 3. – С. 331-337.
21. De-ming Wang, Qi Xu-yao, Zhong Xiao-xing, Gu Jun-jie. Test method for the propensity of coal to spontaneous combustion // Procedia Earth and Planetary Science. – 2009. – Vol.1. I.1. – p. 20-26.
22. Эпштейн, С. А. Методы прогноза склонности углей к окислению и самовозгоранию / С. А. Эпштейн, М. А. Монгуш, В. Г. Нестерова // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2008. – №. 12. – С. 211-217.

Работа выполнена в Институте углехимии и химического материаловедения ФИЦ УУХ СО РАН под руководством академика РАН З. Р. Исмагилова и доктора технических наук Н. В. Журавлевой.

**СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ НАНОРАЗМЕРНЫХ СИСТЕМ
FePt/AU ТИПА ЯДРО-ОБОЛОЧКА**

**SYNTHESIS AND INVESTIGATION OF FePt/AU CORE-SHELL
NANOSIZED SYSTEMS**

*Паршкова Елена Сергеевна, аспирант,
Лаборатория неорганических наноматериалов,
Институт углехимии и химического материаловедения
ФИЦ УУХ СО РАН*

*Elena S. Parshkova, postgraduate,
Laboratory of Inorganic Nanomaterials,
Institute of Coal Chemistry and Chemical Materials Science
of FRC CCC SB RAS
E-mail: elena.somova.1010@mail.ru*

Аннотация: Система FePt из множества возможных полиметаллических комбинаций является рекордсменом по магнитным свойствам – чрезвычайно высокая коэрцитивность (до 8-9 Т) в сочетании с относительно большой намагниченностью насыщения и значительной температурой Кюри, что и определяет актуальность работ в области синтеза и изучения физико-химических свойств объекта. В работе была получена наноразмерная система FePt/Au в виде устойчивого в водной среде золя. Для ее получения использовался метод восстановления из водных растворов прекурсоров. Спектрофотометрический анализ показал пик поглощения при 526 нм, природа которого – поверхностный плазмонный резонанс, характерный для сферических нанокристаллов золота. Однако, полученный результат еще не позволяет говорить о том, что сформированы наночастицы ядро-оболочка. На дифрактограмме оба рефлекса соответствуют ГЦК решетке золота при дифракции от плоскостей {111} и {200}. Наблюдаемая асимметрия рефлексов дает основание считать покрытие частиц FePt золотой оболочкой. При более детальном рассмотрении первого пика, разло-

жением его на составляющие, видно, что он связан с дифракцией от системы, состоящей из двух фаз. Первый рефлекс соответствует золоту с ГЦК решеткой, а второму рефлексу могут соответствовать твердые растворы Au-Pt, Fe-Pt.

Abstract: The FePt system from a variety of possible polymetallic combinations holds the record for magnetic properties - an extremely high coercivity (up to 8-9 T) in combination with a relatively high saturation magnetization and a significant Curie temperature, which determines the relevance of work in the field of synthesis and study of the physicochemical properties of the object. In this work, a nanosized FePt/Au system was obtained in the form of a sol stable in an aqueous medium. To obtain it, the method of recovery from aqueous solutions of precursors was used. Spectrophotometric analysis showed an absorption peak at 526 nm, the nature of which is surface plasmon resonance, which is characteristic of spherical gold nanocrystals. However, the obtained result does not yet allow us to say that core-shell nanoparticles have been formed. In the diffraction pattern, both reflections correspond to the fcc lattice of gold upon diffraction from the {111} and {200} planes. The observed asymmetry of reflections gives grounds to consider the coating of FePt particles with a gold shell. A more detailed examination of the first peak, decomposing it into components, shows that it is associated with diffraction from a system consisting of two phases. The first reflection corresponds to gold with the fcc lattice, and the second reflection can correspond to Au-Pt, Fe-Pt solid solutions.

Ключевые слова: наноразмерные системы, наночастицы FePt, ядро-оболочка, плазмонный резонанс, ГЦК решетка.

Keywords: nanosized systems, FePt nanoparticles, core-shell, plasmon resonance, FCC lattice.

Введение

Высокая перспективность использования наноразмерных систем высокомагнитное ядро-оболочка для создания сред с высокой плотностью информации, в медицине (гипертермия) в магнитотехнике, является общепризнанной. Система FePt из множества возможных полиметаллических комбинаций является рекордсменом по магнитным свойствам – чрезвычайно высокая коэрцитивность (до 8-9 Тл) в сочетании с относительно большой намагниченностью насыщения и значительной температурой Кюри, что и определяет актуальность работ в области синтеза и изучения физико-химических свойств объекта. Магнитные характеристики нанораз-

мерных систем ядро-оболочка зависят от их состава и морфологии, синтезированных наночастиц – размеры, форма, атомная структура, фазовое состояние, в котором находятся частицы ядра, состояний межфазной границы ядро оболочка, а также толщина и целостность оболочки. Основная функция оболочки в рассматриваемых системах – защитная, так как внешняя среда оказывает огромное влияние на высокореакционноспособное незащищенное ядро, прежде всего в виде его окисления. При рассмотрении систем ядро-оболочка необходимо учитывать влияние структурных особенностей оболочки и ядра, а также их магнитное взаимодействие.

Эти частицы представляют интерес, поскольку они могут проявлять уникальные свойства, обусловленные сочетанием наноразмерных ядра и оболочки с индивидуальными морфологией и атомной структурой. Кроме того, они разрабатываются таким образом, чтобы материал оболочки мог улучшить реакционную способность, термическую стабильность или устойчивость к окислению ядра или давал возможность использовать недорогой материал ядра и более дорогой материал тонкой оболочки, с общим удешевлением системы [1].

Железо-платиновые наночастицы актуального состава представляют собой трехмерные сверхрешетки, состоящие из примерно равного атомного соотношения Fe и Pt. Важным свойством наночастиц FePt ниже ≈ 10 нм является их суперпарамагнитный характер в области вблизи 300 К.

Различные магнитные свойства железа и платины позволяют функционировать частицам FePt в разных режимах. В стандартных условиях полученные в гидрофазных Red-ox реакциях наночастицы $\text{Fe}_{0,5}\text{Pt}_{0,5}$ существуют в гранецентрированной кубической фазе, но могут переходить в упорядоченную гранецентрированную тетрагональную фазу в результате, например, термического отжига. Наночастицы становятся суперпарамагнитными, при этом обогащаются железом [2, 3].

Несмотря на кристаллографическую простоту упорядоченной тетрагональной фазы и хорошо известные магнитные свойства, ее формирование, а также достижение полного дальнего порядка требуют сложных процедур подготовки и до конца не изучены.

Целью работы является получение и изучение физико-химических свойств наноразмерных систем FePt/Au типа ядро-оболочка.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

1. определить условия получения наноразмерной системы FePt/Au в виде устойчивого в водной среде золя;

2. синтезировать систему, используя метод восстановления из водных растворов прекурсоров;

3. исследовать полученную систему FePt/Au методами спектрофотометрии и РСА.

Механизмы образования и упорядочения фаз и, следовательно, конечные магнитные свойства различаются в зависимости от подхода, используемого для получения тетрагональной фазы. В настоящее время существует несколько синтетических методов, таких как синтез в мицеллах типа «вода в масле» [4], одностадийный термический синтез с предшественниками металлов [5] и сборка с обменной связью для получения наночастиц FePt [6].

Один из методов синтеза железо-платинового ядра включает совместное восстановление платинохлористоводородной кислоты (H_2PtCl_6) и хлорида железа (II) в микроэмульсиях вода-в-масле [4]. В этом процессе обычная гранецентрированная кубическая структура преобразуется в гранецентрированную тетрагональную конфигурацию, предлагая продукт с более высокой плотностью.

В работах [7, 8] описана процедура синтеза, основанная на стандартном безвоздушном получении в атмосфере аргона. В методиках приготовления наночастиц FePt использовали ацетилацетонат платины, ацетилацетоната железа, 1,2-гексадекандиол и смешивали с октиловым эфиром. Затем наночастицы FePt использовали в качестве затравочных материалов для восстановления ацетата золота, с образованием покрытых золотом наночастиц FePt/Au.

В результате получены наночастицы с монодисперсностью и контролируемыми поверхностными свойствами. Размеры наночастиц порядка 2-2,5 нм, с золотой оболочкой толщиной приблизительно 0,15 нм.

Наночастицы FePt, полученные в работе [9] с составом, близким к 50-50%, имеют сферическую форму и размер 4 нм. Они были синтезированы комбинацией восстановления $\text{Pt}(\text{acac})_2$ и разложения $\text{Fe}(\text{CO})_5$ в октиловом эфире. Затем эти наночастицы FePt использовали в качестве затравки для восстановления ацетата золота на поверхности наночастиц. Однако, покрытые золотом наночастицы имеют неправильную форму и средний диаметр около 10 нм с широким распределением по размерам.

Получение наночастиц ядро-оболочка FePt/Au в работе [10] началось с синтеза затравок в высококипящих органических растворителях с последующим фазовым переносом в воду с использованием катионного поверх-

ностно-активного вещества – цетилтриметиламмония бромида (ЦТАБ) – и наращиванием оболочки восстановлением HAuCl_4 слабым восстановителем (аскорбиновой кислотой). Звездообразные нанокристаллы сплава FePt были синтезированы с использованием комбинации олеиновой кислоты и олеиламина в качестве закрывающих агентов.

В результате синтеза получены звездообразные наночастицы FePt размерами 14 нм. После восстановления соли золота, средний размер образовавшихся более сферических композитных частиц составил $37,3 \pm 4,6$ нм. Полученные наноструктуры были помещены в магнитное поле, после чего частицы FePt/Au организовались в одномерные структуры вдоль силовых линий магнитного поля. Эти линии образованы отдельными наночастицами со средней шириной линии ~ 160 нм, что указывает на магнитную природу частиц и позволяет предположить полное включение FePt в сфероиды Au.

Для получения триметаллических наночастиц типа ядро-оболочка FePt/Au авторы [11] использовали двухэтапную процедуру. Первоначально формировались наночастицы FePt определенного диаметра. Затем получали наночастицы FePt/Au ядро-оболочка восстановлением HAuCl_4 с помощью NaBH_4 и $\text{N}_2\text{H}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ вокруг затравок FePt. Были получены частицы FePt среднего размера 3,05 нм, а частицы FePt/Au – 6,6 нм.

Методы исследования

Спектрофотометрический анализ

Спектрофотометрия – физико-химический метод исследования растворов и твёрдых веществ, основанный на изучении спектров поглощения в ультрафиолетовой (200-400 нм), видимой (400-760 нм) или инфракрасной (>760 нм) области спектра. В основе спектрофотометрии лежат зависимости интенсивности поглощения падающего света от длины волны, и концентрации поглощающего вещества. Спектрофотометрия широко применяется при изучении строения и состава различных соединений, для качественного и количественного определения веществ.

Рентгенодифракционный анализ

Рентгеноструктурный анализ (рентгенодифракционный анализ) – один из дифракционных методов исследования структуры вещества. В основе данного метода лежит явление дифракции рентгеновских лучей на трехмерной кристаллической решетке.

В основе метода рентгеновской дифракции лежит взаимодействие рентгеновского излучения с электронами вещества, в результате которого возникает дифракция рентгеновских лучей. Дифракционная картина зависит от длины волны используемых рентгеновских лучей и строения объекта.

Метод позволяет определять атомную структуру вещества, включающую в себя пространственную группу элементарной ячейки, ее размеры и форму, а также определить группу симметрии кристалла.

Методика синтеза

К 20 мл воды, при температуре 10 ± 2 °С, добавляли 0,05 мл 0,1 М сульфата железа и 0,18 мл 0,028 М гексахлороплатината (IV) водорода. При интенсивном перемешивании добавляли 2 мл 0,1 М стабилизатора – цитрата натрия и 1 мл 0,1 М восстановителя – боргидрида натрия. В течение 30-40 минут перемешивали, и наблюдали за изменением цвета от прозрачного к темно-серому. Далее добавляли 0,17 мл 0,057 М золотохлористой кислоты, и перемешивали в течение 10-15 минут, при этом раствор изменяет цвет на темно-фиолетовый.

Результаты и обсуждение

На рисунке 1 представлены спектры поглощения частицами FePt и FePt/Au, снятые во время процедуры их приготовления в диапазоне длин волн 400-700 нм. Частицы железа или платины не имеют специфического пика поглощения в этой области длин волн. После добавления в систему золотохлористой кислоты происходит восстановление золота и на спектре возникает пик поглощения, наблюдаемый при 526 нм, природа которого – поверхностный плазмонный резонанс, характерный для сферических нанокристаллов золота (сдвиг в красную область, характерен для укрупнения кристаллов или отклонения их от сферической формы). Однако, полученный результат еще не позволяет говорить о том, что сформированы наночастицы ядро-оболочка, поскольку подобный оптический эффект можно получить при образовании индивидуальных наночастиц золота в растворе, или образовании гибридных наночастиц.

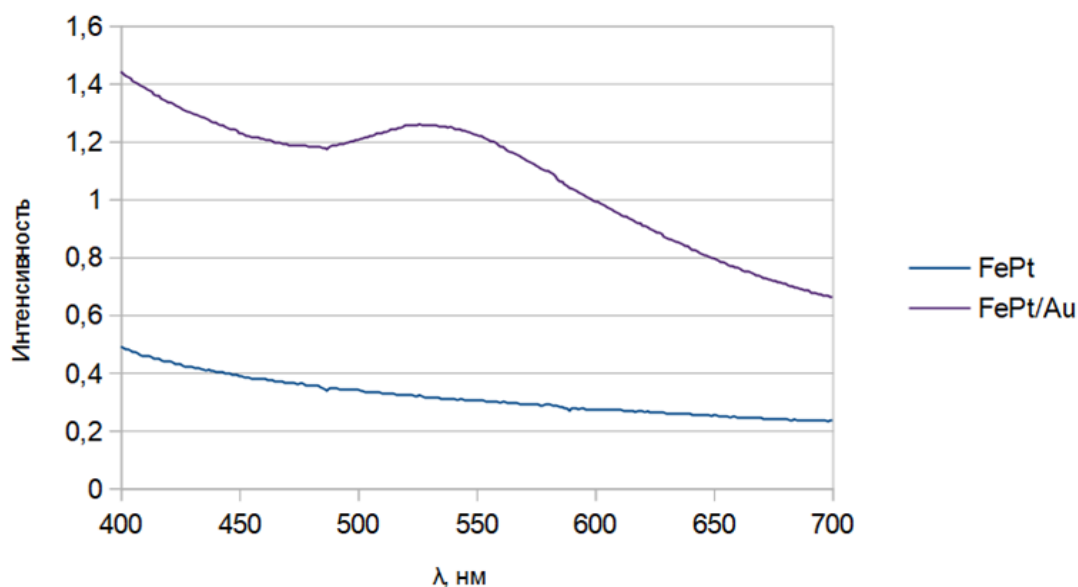


Рисунок 1. Спектры поглощения растворов

Рентгеновская дифрактограмма представлена на рисунке 2. Оба рефлекса соответствуют ГЦК решетке золота при дифракции от плоскостей $\{111\}$ и $\{200\}$. Наблюдаемая асимметрия рефлексов дает основание считать покрытие частиц FePt золотой оболочкой.

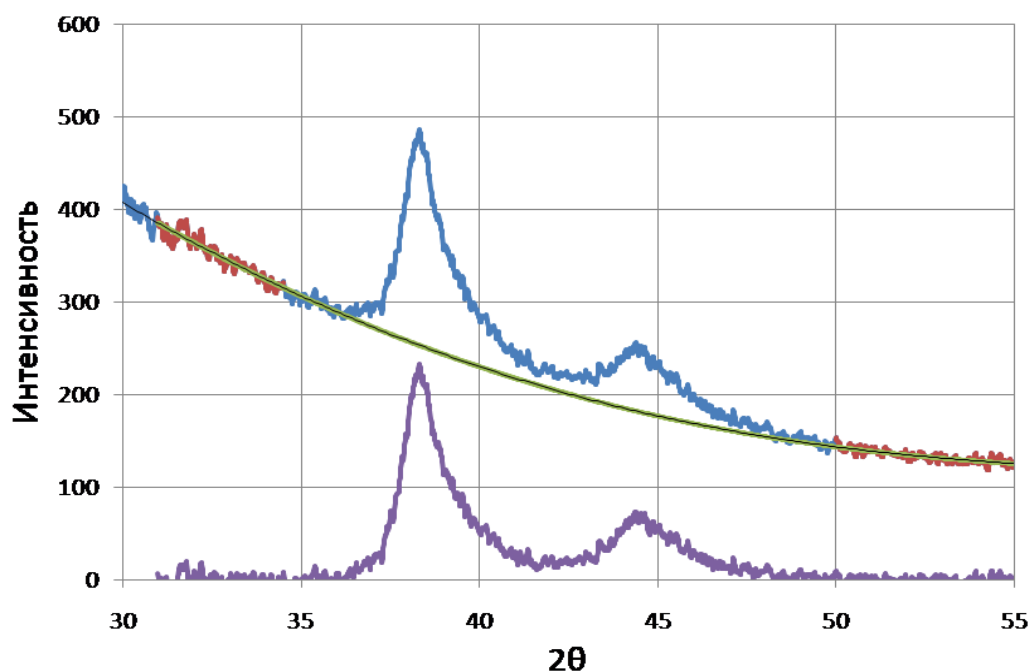


Рисунок 2. FePt/Au, осажденный на Si-подложку, с вычитанием фона

При более детальном рассмотрении первого пика, разложением его на составляющие (рис. 3), видно, что он связан с дифракцией от системы,

состоящей из двух фаз. Первый рефлекс соответствует золоту с ГЦК решеткой, а второй рефлекс, в приближении 111-ГЦК, расположен в области больших, чем у платины углов 2θ . Ему могут соответствовать твердые растворы Au-Pt, Fe-Pt, если первый вариант, то оценивая по закону Вегарда можно сказать, что это платина с 29% золотом. Полученное межплоскостное расстояние немного больше, чем у тетрагонального FePt и это делает сделанное предположение верным.

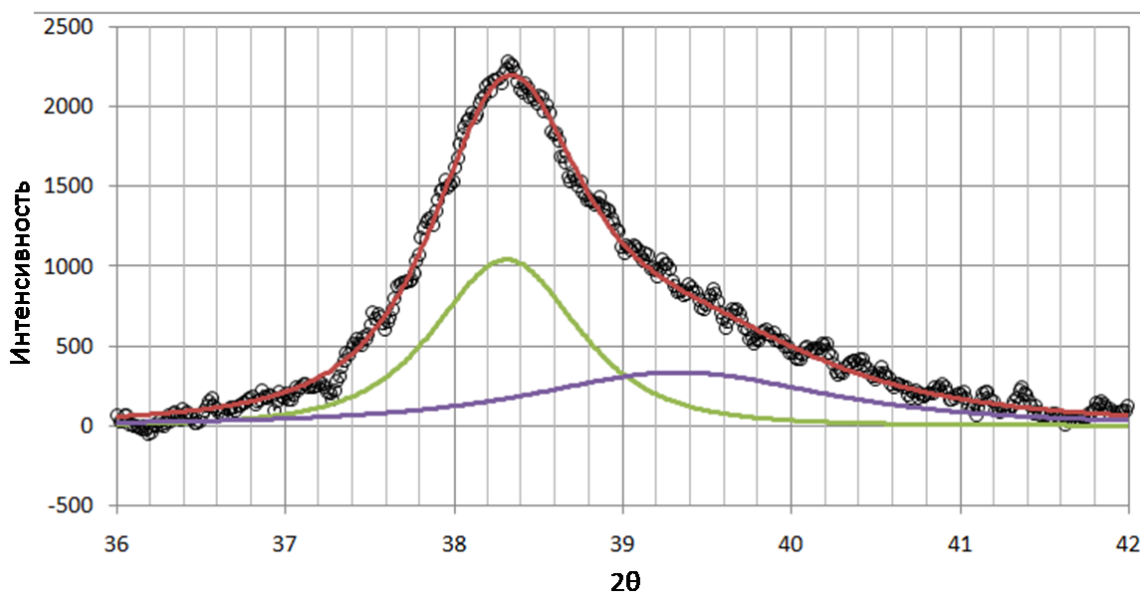


Рисунок 3. Разложение первого рефлекса на составляющие

Выводы

В результате проделанной работы была определена методика синтеза и получен устойчивый в водной среде золь. Спектрофотометрический анализ полученного образца показал, что в нем имеются частицы нанометрового золота, так как виден плазмонный пик. Но наличие этого пика не является прямым доказательством покрытия частиц FePt золотой оболочкой. Полученные дифрактограммы дают основание считать, что частицы FePt покрыты золотой оболочкой.

Список литературы

1. Influence of NicoreAushell Nanoparticles' Morphology on Their Magnetic Properties / Zakharov Y. A. et al. // The Journal of Physical Chemistry C. – 2019. – Т. 124. – №. 1. – С. 1008-1019.
2. FePt hard magnets / Gutfleisch O. et al. // Advanced Engineering Materials. – 2005. – Т. 7. – №. 4. – С. 208-212.

3. Monodisperse FePt nanoparticles and ferromagnetic FePt nanocrystal superlattices / Sun S. et al. // Science. – 2000. – Т. 287. – №. 5460. – С. 1989-1992.
4. Hyie, K. M. Annealing behavior of ferromagnetic FePt nanoparticles prepared in water in oil microemulsions / Hyie K. M., Yaacob I. I. // Proceedings of the World Congress on Engineering. – 2008. – Т. 2. – С. 3-4.
5. Шубин, Ю. В. Формирование и структурно-фазовые превращения наноразмерных биметаллических частиц на основе благородных металлов: дис. – Новосибирск: ИНХ СО РАН, 2009.
6. Баранов, Д. А. Магнитные наночастицы: достижения и проблемы химического синтеза / Д. А. Баранов, С. П. Губин // Радиоэлектроника. Наносистемы. Информационные технологии. – 2009. – Т. 1. – №. 1-2. – С. 129-147.
7. Fabrication of monodisperse FePt@ Au core -shell nanoparticles / Wei D. H. et al. // physica status solidi c. – 2007. – Т. 4. – №. 12. – С. 4421-4424.
8. Formation and Application of Core–Shell of FePt-Au Magnetic–Plasmonic Nanoparticles / Wei D. H. et al. // Frontiers in Chemistry. – 2021. – Т. 9. – С. 181.
9. Synthesis and characterization of FePt/Au core-shell nanoparticles / De La Presa P. et al. // Journal of Magnetism and Magnetic Materials. – 2007. – Т. 316. – №. 2. – С. e753-e755.
10. Gold encapsulation of star-shaped FePt nanoparticles / Pazos-Pérez N. et al. // Journal of Materials Chemistry. – 2010. – Т. 20. – №. 1. – С. 61-64.
11. Fu, Y. Z. Synthesis and characterization hydrophobic FePt@ Au core-shell nanoparticles in a quaternary CTAB/n-butanol/n-heptane/water reverse micelle / Fu Y. Z., Xiang X. D // Journal of dispersion science and technology. – 2008. – Т. 29. – №. 6. – С. 861-865.

Работа выполнена в лаборатории неорганических наноматериалов, Институт углехимии и химического материаловедения ФИЦ УУХ СО РАН под руководством члена-корреспондента РАН Ю. А. Захарова и научного консультанта кандидата химических наук К. А. Корчугановой.

**СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛИВИНИЛОВЫХ КРИОГЕЛЕЙ
ДЛЯ СОЗДАНИЯ КОМПОЗИТОВ МОДИФИЦИРОВАННЫХ
УГЛЕРОДНЫМИ НАНОТРУБКАМИ**

**SYNTHESIS AND RESEARCH OF POLYVINYL CRYOGELS
FOR THE CREATION OF COMPOSITES MODIFIED
WITH CARBON NANOTUBES**

*Пыкин Алексей Леонидович, аспирант,
Институт углехимии и химического материаловедения
ФИЦ УУХ СО РАН*

*Alexey L. Pykin, postgraduate,
Institute of Coal Chemistry and Chemical Materials Science
of FRC CCC SB RAS
E-mail: pkinaleksey@icloud.com*

Аннотация: Получены и исследованы прочностные свойства криогелей поливинилового спирта, которые могут использоваться как матрица для получения новых композитных биоматериалов. Криогели поливинилового спирта получали методом криоструктурирования (замораживания-оттаивания) исходного раствора полимера. В качестве растворителей для приготовления растворов поливинилового спирта использовали дистиллированную воду; диметилсульфоксид; смесь диметилсульфоксида и воды в объемном соотношении 80:20. Криогенную обработку растворов полимера проводили при температуре $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ в течение 24 часов; замороженные образцы оттаивали сначала в криостате при температуре $2-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ в течение 12 часов, затем при температуре $12\text{ }^{\circ}\text{C}$ в течение 12 часов. Полученные криогели отмывали дистиллированной водой. Физико-механические свойства образцов исследовали методом одноосновного растяжения. Показано, что на прочностные свойства криогелей поливинилового спирта влияют следующие характеристики: концентрация исходного раствора полимера, молекулярная масса полимера, количество циклов криоструктурирования,

состав растворителя. Установлено, что с увеличением концентрации, молекулярной массы полимера, количества циклов криоструктурирования, наблюдается рост прочностных свойств криогелей. Это связано с возрастанием сил межмолекулярного взаимодействия между молекулами полимера, движущей силой которого является водородное связывание между ОН-группами соседних цепей.

Abstract: The strength properties of polyvinyl alcohol cryogels, which can be used as a matrix for obtaining new composite biomaterials, have been obtained and investigated. Cryogels of polyvinyl alcohol were obtained by cryostructuring (freezing-thawing) of the initial polymer solution. Distilled water; dimethyl sulfoxide; a mixture of dimethyl sulfoxide and water in a volume ratio of 80:20 were used as solvents for the preparation of polyvinyl alcohol solutions. Cryogenic treatment of polymer solutions was carried out at a temperature of -40°C for 24 hours; frozen samples were thawed first in a cryostat at a temperature of $2-5^{\circ}\text{C}$ for 12 hours, then at a temperature of 12°C for 12 hours. The resulting cryogels were washed with distilled water. The physical and mechanical properties of the samples were studied by the method of single-base stretching. It is shown that the strength properties of polyvinyl alcohol cryogels are influenced by the following characteristics: the concentration of the initial polymer solution, the molecular weight of the polymer, the number of cryostructuring cycles, the composition of the solvent. It was found that with an increase in the concentration, molecular weight of the polymer, the number of cryostructuring cycles, an increase in the strength properties of cryogels is observed. This is due to an increase in the forces of intermolecular interaction between polymer molecules, the driving force of which is hydrogen bonding between ОН-groups of neighboring chains.

Ключевые слова: поливиниловый спирт, криогель, полимерные гели, криоструктурирование, углеродные нанотрубки

Key words: polyvinyl alcohol, cryogels, polymer gels, cryostructuring, carbon nanotubes

Введение

Криогели – это наноструктурированные макропористые гетерофазные студни, которые формируются путем проведения операций криоструктурирования, т.е. замораживание, выдерживание в замороженном состоянии и оттаивании растворов полимеров, которые имеют предпосылки к гелеобразованию [1].

Данные криогели находят широкое применение в различных областях, особенно связанных с медициной и биотехнологией благодаря ряду уникальных свойств. Несмотря на значительное количество опубликованных работ по исследованию подобных криоструктурированных систем, вопрос создания материала, который будет удовлетворять всем требованиям по использованию в области биомедицины, остается открытым и актуальным [2].

Поливиниловый спирт (ПВС) является наиболее широко применяемым среди всех полимеров, которые используются для получения криогелей [3].

Криогели ПВС обладают рядом уникальных свойств, такие как механические и теплофизические свойства, доступность полимера, его биосовместимость и нетоксичность, простая методика получения [4].

Механизмы процесса криоструктурирования были подробно описаны в работе [5].

Свойства полученных криогелей ПВС (прочностные свойства, степень кристалличности, пористость, водосодержание и т.п.) можно регулировать, варьируя характеристики используемого полимера, например, молекулярную массу, степень гидролиза или содержание остаточных ацильных групп, концентрацию исходного раствора ПВС, состав растворителя, природу добавок, режим криогенной обработки и т.д. [6].

Целью данной работы является получение криогелей ПВС и изучение их прочностных характеристик.

Экспериментальная часть

В работе без дополнительной очистки использовали ПВС с молекулярными массами 98000 г/моль и 146000 г/моль, степенью гидролиза остаточных ацильных групп 99,9-100% фирмы «Sigma-Aldrich». Диметилсульфоксид (ДМСО) «хч» фирмы «Sigma-Aldrich». Для приготовления водных криогелей применяли дистиллированную воду.

Растворы ПВС требуемой концентрации получали растворением навески сухого полимера в растворителе (вода, смесь $H_2O/ДМСО$, ДМСО) при температуре 90 °С. Если в смеси оставались пузыри воздуха, смесь вакуумировали при остаточном давлении 0,1 бар. После чего смесь разливали по формам, охлаждали до комнатной температуры и выдерживали при температуре -40 °С в течение 24 часов, далее оставляли при температуре 2-5 °С на 12 часов в криостате и размораживали при 12 °С в течение 12 ча-

сов. Полученные гели были подвергнуты нескольким циклам криоструктурирования, после чего отмыты дистиллированной водой от остатков не-сшитого полимера и растворителя (в случае использования ДМСО).

Прочностные свойства полученных криогелей исследовали методом одноосновного растяжения на универсальной испытательной машине серии Z«Zwick/Roell» [7].

В результате предварительных экспериментов был определен интервал концентраций ПВС, позволяющий получить однородную реакционную смесь, способную к образованию криогеля.

Результаты и их обсуждение

В таблице 1 представлены характеристики криогелей, полученных из растворов ПВС.

Таблица 1

Состав полученных криогелей ПВС

Концентрация исходного раствора ПВС, %	Молекулярная масса ПВС, г/моль	Состав растворителя
7	146000	100%Н ₂ О
10	146000	100%Н ₂ О
12	146000	100%Н ₂ О
10	98000	80%ДМСО/20%Н ₂ О
15	98000	80%ДМСО/20%Н ₂ О
20	98000	80%ДМСО/20%Н ₂ О
20	98000	100%Н ₂ О
20	98000	100%ДМСО

Одним из основных факторов, влияющих на способность образования криогелей ПВС и их прочностных свойства, является концентрация исходного раствора полимера (табл. 1, 2).

Таблица 2

Результаты физико-механических испытаний для водных криогелей ПВС (M=146000, 1 цикл криоструктурирования)

Концентрация исходного раствора ПВС, %	Предел прочности на разрыв, МПа
7	$0,303 \pm 0,079$
10	$0,855 \pm 0,091$
12	$1,637 \pm 0,079$

Таблица 3

Результаты физико-механических испытаний для криогелей ПВС
(M=98000, 3 цикла криоструктурирования,
состав растворителя 80%ДМСО/20%Н₂О)

Концентрация исходного раствора ПВС, %	Предел прочности на разрыв, МПа
10	$1,062 \pm 0,065$
15	$2,057 \pm 0,014$
20	$2,658 \pm 0,080$

Рост концентрации исходного раствора ПВС ведет к более стабильным гелям и повышает их прочность на разрыв (рис. 1, 2). Это связано с образованием большего числа межмолекулярных водородных связей между ОН-группами поливинилового спирта, количество которых увеличивается с ростом концентрации полимера [8].

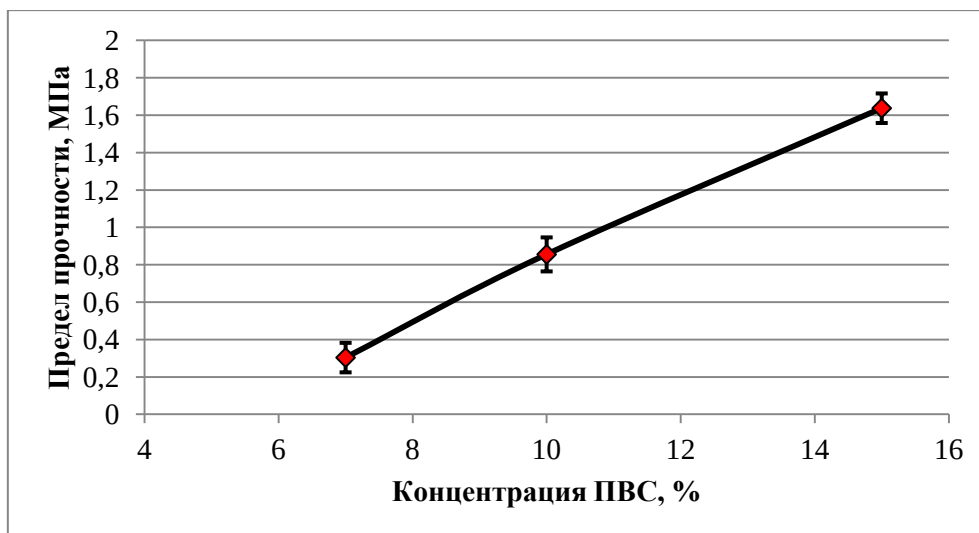


Рисунок 1. Зависимость предела прочности криогелей от концентрации ПВС (H_2O , $M=146000$, 1 цикл криоструктурирования)

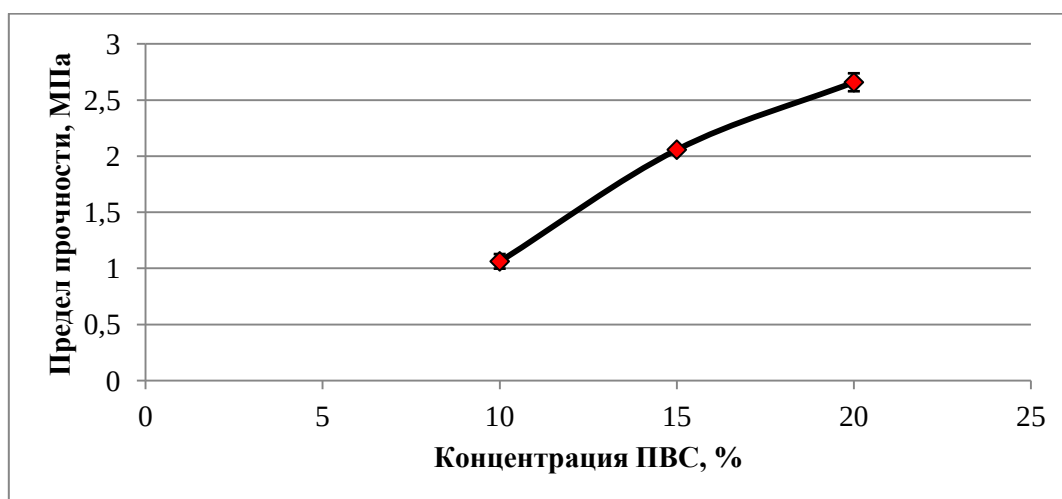


Рисунок 2. Зависимость предела прочности криогелей от концентрации ПВС (80% ДМСО/20% H_2O , $M=98000$, 3 цикла криоструктурирования)

Процесс гелеобразования сопровождается образованием аморфных и кристаллических областей между молекулами полимера, что позволяет формировать физически сшитую матрицу ПВС. При этом в незамершей жидкой микрофазе или аморфной области остается непрореагировавшие молекулы полимерной цепи [9].

Повторное замораживание-оттаивание таких криогелей ПВС позволяет инициировать эти непрореагировавшие участки к образованию новых связей и увеличению прочности на разрыв полученных криогелей (рис. 3).

Таблица 4

Результаты физико-механических испытаний
для 10% водногекриогеля ПВС (М=146000)

Количество циклов криоструктурирования	Предел прочности на разрыв, МПа
1	$0,855 \pm 0,091$
3	$1,638 \pm 0,069$
5	$2,84 \pm 0,079$

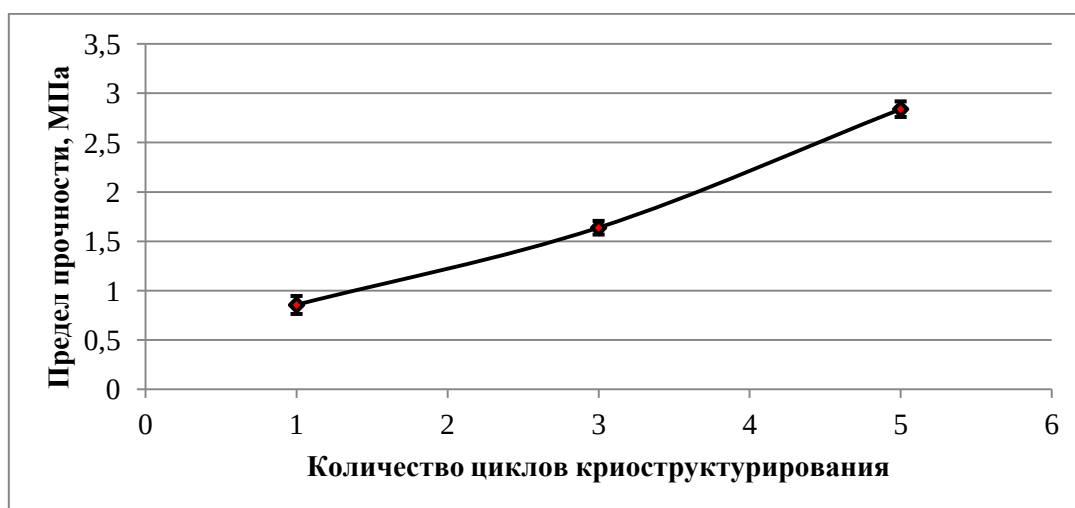


Рисунок 3. Зависимость предела прочности 10% водных криогелей ПВС (М=146000) от количества циклов криоструктурирования

Важным фактором также является природа используемого растворителя. Известно, что различные растворители в зависимости от особенностей их природы могут сильно влиять на свойства растворов полимеров. Такие показатели как, например, полярность могут вызывать процессы диссоциации вещества, изменять реологические свойства. ДМСО – это термодинамически хороший растворитель для ПВС. В таком растворе макромолекулы полимера существуют в виде рыхлых клубков, окруженные сольватной оболочкой из молекул ДМСО [6].

Сродство макромолекул ПВС и молекул ДМСО друг к другу высоко, наблюдается высокая конкуренция взаимодействия полимер-растворитель

с полимер-полимерными контактами, существенно уменьшая их возможную долю в системе [6]. Данные взаимодействия способны изменять прочностные свойства криогелей, приготовленные с использованием ДМСО (рис. 4)

Таблица 4

Результаты физико-механических испытаний для 20% ПВС

Состав растворителя	Предел прочности на разрыв, МПа
100%ДМСО	2,050±0,055
80%ДМСО/20%Н ₂ О	2,658 ± 0,080
100%Н ₂ О	2,592 ± 0,207

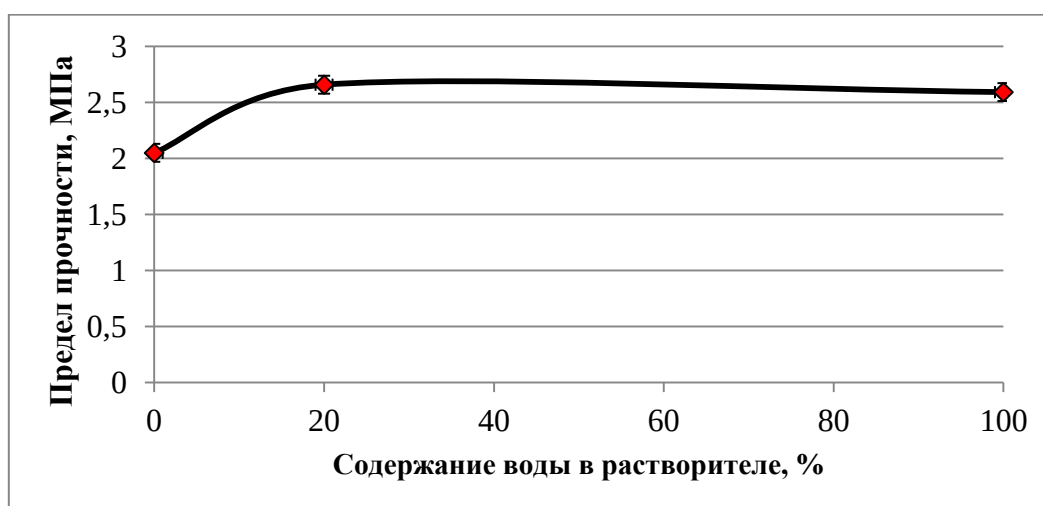


Рисунок 4. Зависимость предела прочности от содержания воды в исходном растворе

Закключение

Благодаря сочетанию таких благоприятных физико-механических, физико-химических, термофизических свойств криогели ПВС нашли широкое применение в различных областях таких, как биотехнология, биомедицина [10], пищевая промышленность, экология, сорбенты [11] и т.п. Но свойства криогелей для каждой области применений могут различаться. Для целенаправленного регулирования морфологии и свойств криогелей ПВС используют различные методы модификации. Самым простым и наи-

более эффективным методом модификации полимерных материалов является введение в систему добавок, которые приносят специфичный набор свойств для криогелей. Композиционные материалы, полученные таким способом, сочетают в себе свойства всех введенных добавок.

Список литературы

1. Ульябаева, Г.Р. Получение и свойства криогелей поливинилового спирта, содержащих хитозан.: дис. канд. тех. наук: 02.00.06: утв. 19.02.21. М., 2021. – 169 с.
2. Артюхов, А.А. Макропористые гидрогели на основе сшитого поливинилового спирта: автореф. на соиск. ученой степ. канд. хим. наук: 02.00.06 – высокомолекулярные соединения М., 2006. – 20 с.
3. Savina I.N., Hanora A., Plieva F.M., Galaev I.Y., Lozinsky V.I. Mattiasson B. Cryostructuring of polymer systems. XXIV. Poly(vinyl alcohol) cryogels filled with particles of a strong anion Exchanger: Properties of the Composite Materials and Potential Applications // Journal of applied polymer science. – 2005. – V. 95. – №. 3. – P. 529-538.
4. Лозинский, В.И. Криотропное гелеобразование растворов поливинилового спирта // Успехи химии, 1998. – Т. 67. – № 7. – С. 641–656.
5. Лозинский, В.И. Криогели на основе природных и синтетических полимеров: получение, свойства и области применения. // Успехи химии. – 2002. – Т. 71. – № 6. – С. 559-585.
6. Бакеева, И.В. Криогели поливинилового спирта, сформированные из растворов полимера в диметилсульфоксиде с добавками тетраметоксисилана / И.В. Бакеева, М.А. Орлова, В.И. Лозинский // Тонкие химические технологии. – 2019. – Т. 14. – №. 2. – С. 41-50.
7. Пыкин, А. Л. Изучение возможностей модифицирования поливинилового спирта функционализированными углеродными нанотрубками / А. Л. Пыкин ; Кемеровский государственный университет. – Кемерово : б.и., 2021. – 49 с. : ил., табл., схем. – Режим доступа: по подписке. – URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=618004> (дата обращения: 12.04.2022). – Текст : электронный.
8. Lozinsky V.I., Damshkaln L.G., Shaskol'skii B.L., Babushkina T.A., Kurochkin I.N., Kurochkin I.I. Study of cryostructuring of polymer systems: 27. Physicochemical properties of Poly(vinyl alcohol) cryogels and specific features of their macroporous morphology // Colloid Journal. – 2007. – V. 69. – №. 6. – P. 747-764.

9. Lozinsky V.I., Zubov A.L., Savina I.N., Plieva F.M. Study of Cryostructuration of Polymer Systems. XIV. Poly(vinyl alcohol) Cryogels: Apparent Yield of the Freeze–Thaw-Induced Gelation of Concentrated Aqueous Solutions of the Polymer // Journal of Applied Polymer Science. – 2000. – V. 77. – P.1822–1831.
10. Thomas J., Gomes K., Lowman A., Marcolongo M. The Effect of Dehydration History on PVA/PVP Hydrogels for Nucleus Pulposus Replacement // Journal of Biomedical Materials Research Part B: Applied Biomaterials: An Official Journal of The Society for Biomaterials, The Japanese Society for Biomaterials, and The Australian Society for Biomaterials and the Korean Society for Biomaterials. – 2004. – V. 69. – №. 2. – P. 135-140.
11. Butnaru E., Cheaburu C.N., Yilmaz O., Pricope G.M. and Vasile C. Poly(vinyl alcohol)/chitosan/ montmorillonitenanocomposites for food packaging applications: Influence of montmorillonite content // High Performance Polymers. – 2016. – V. 28. – №. 10. – P. 1124-1138

Работа выполнена в Институте углехимии и химического материаловедения ФИЦ УУХ СО РАН под руководством академика РАН З. Р. Исмаилова.

**ПОДБОР ПАРАМЕТРОВ В МЕТОДЕ МОЛЕКУЛЯРНОЙ
ДИНАМИКИ ДЛЯ РАСЧЕТА СТАБИЛЬНОСТИ РАЗНЫХ ФАЗ
НАНОКЛАСТЕРОВ FePt**

**SELECTION OF PARAMETERS IN THE MOLECULAR DYNAMICS
METHOD FOR CALCULATING THE STABILITY OF DIFFERENT
PHASES OF NANOCCLUSERS FePt**

*Садыкова Лилия Рамильевна, аспирант, ведущий инженер,
Лаборатория неорганических наноматериалов
Института угля и углехимии ФИЦ УУХ СО РАН*

*Sadykova Lilia Ravilyevna, postgraduate student, lead engineer,
Laboratory of Inorganic Nanomaterials of the Institute of Coal Chemistry and
Chemical Materials Science of FRC CCC SB RAS
E-mail: li-54@mail.ru*

Аннотация: Актуальность исследования наноразмерных сплавов FePt связана с их магнитными свойствами. Он обладает рекордно высокой коэрцитивной силой ($H_c > 5$ Тл) и высокой одноосновой магнитной анизотропией ($K_u \sim (10^7 - 10^8)$ эрг/см³), вещества обладающие такими свойствами можно использовать, как систему записи и воспроизведения информации.

Цель исследования заключается в подборе параметров для нанокластера FePt методом молекулярной динамики для определения стабильности разных фаз нанокластера Fe-Pt.

В программе MATLAB R2013b/ClustersGenerator были построены нанокластеры FePt разного габитуса и разной размерности. Расчет был проведен в программе LAMMPS, на начальном этапе геометрия кластеры малых размеров оптимизировалась без учета температуры, далее задавалась температура кластера, шаг по времени и скорость нагрева. После построили зависимость энергии от температуры при разных

скоростях, и зависимость энергии от температуры нанокластера FePt икосаэрического габитуса разного размера.

Работа посвящена выбору подходящих параметров для расчета стабильности разных фаз нанокластера FePt. В ходе работы был выбран потенциал 2NN MEAM, так как он более подходящий под металлические системы. Был выполнен расчет в программе lammps икосаэдрического нанокластера FePt при разных скоростях нагрева. При высоких скоростях наблюдалось отсутствие отклика системы.

Abstract: The relevance of the study of nanoscale FePt alloys is related to its magnetic properties. It has a record high coercive force ($N_s > 5 \text{ Tl}$) and a high single-base magnetic anisotropy ($K_u \sim (107-108) \text{ erg/cm}^3$), substances with such properties can be used as a system for recording and reproducing information.

The aim of the study is to select parameters for the FePt nanocluster by the molecular dynamics method to determine the stability of different phases of the Fe-Pt nanocluster.

In the MATLAB R2013b/ClustersGenerator program, FePt nanoclusters of different habitus and different dimensions were built. The calculation was carried out in the lammps program, at the initial stage, the geometry of small clusters was optimized without taking into account temperature, then the cluster temperature, time step and heating rate were set. After that, the dependence of energy on temperature at different speeds, and the dependence of energy on the temperature of the FePt nanocluster of icosahedral habitus of different sizes were constructed.

The work is devoted to the selection of suitable parameters for calculating the stability of different phases of the FePt nanocluster. During the work, the potential of 2NN MEAM was chosen, as it is more suitable for metal systems. The calculation was performed in the LAMMPS program of the icosahedral nanocluster FePt at different heating rates. At high speeds, there was a lack of system response.

Ключевые слова: метод молекулярной динамики (МД), моделирование нанокластеров, 2 NN-MEAM (Модифицированный метод погруженного атома, с учетом 2 ближайших соседей), габитус.

Keywords: the method of molecular dynamics (MD), modeling of nanoclusters, 2 NN – MEAM (Modified submerged atom method, taking into account 2 nearest neighbors), habitus.

К числу эффективных методов компьютерного моделирования, относится метод молекулярной динамики (МД). Метод молекулярной динамики заключается в интегрировании уравнений Ньютона:

$$\frac{dr_i}{dt} = v_i,$$

$$\frac{dv_i}{dt} = a_i = \frac{1}{m_i} F_i,$$

где r_i – координаты i -ой частицы, v_i – скорость, m_i – масса, a_i – ускорение, F_i – сила, действующая на частицу i со стороны всех остальных частиц.

Силы, что действуют в системе, можно определить с помощью потенциальной энергии взаимодействия частиц V :

$$F_i = -\frac{\partial V}{\partial r_i}.$$

Для расчета движения частиц необходимо:

- 1) Задать координаты атомов.
- 2) Задать потенциалы взаимодействия между атомами.
- 3) Задать температуру и статистический ансамбль.
- 4) Задать цикл расчета смещения атомов под действием межатомных сил.
- 5) Усреднение полученных результатов и их анализ.

Правильный выбор межчастичного потенциала взаимодействия является ключевым пунктом адекватного моделирования.

Основные группы потенциалов взаимодействия:

1. Парные потенциалы (возможны трехчастичные взаимодействия).

Используются для описания молекул в приближении сильной связи (электроны остаются у своих атомов) – ионная, ковалентная, вандервальсова связь.

2. Силовые поля.

Биомолекулы (белки, нуклеиновые кислоты, полисахариды) параметры задаются усредненные или большого класса.

3. Многочастичные потенциалы.

Металлы и их сплавы (необходимо учесть наличие электронного газа в кристаллах, поэтому в качестве притяжения используются взаимодействие электронного газа с ионами металлов (отталкивание между ионами за счет принципа Паули).

Модифицированный метод погруженного атома (МЕАМ). Метод межатомного взаимодействия, основан на теории функционала плотности. Применение потенциала МЕАМ – применяется для большинства металлов, полупроводников, сплавов и оксидов металлов. Функция погружения задается следующим уравнением:

$$E_i = \sum_i F_i(\rho_i) + \frac{1}{2} \sum_{i \neq j}^N \phi_{ij}(r_{ij}),$$

где F – энергия погруженного атома, ρ_i – фоновая электронная плотность в положении i и ϕ_{ij} – парное взаимодействие между атомами i и j , находящимися на расстоянии r_{ij} .

Функция погружения в методе МЕАМ:

$$F(\bar{\rho}) = AE_c(\bar{\rho}/\bar{\rho}^0) \ln(\bar{\rho}/\bar{\rho}^0),$$

где A – исходный подгоночный параметр, E_c – энергия когезии, $\bar{\rho}^0$ – фоновая электронная плотность исходной структуры.

Для моделирования переходных металлов и их сплавов наиболее оптимальным оказался 2–NN МЕАМ (Модифицированный метод погруженного атома, с учетом 2 ближайших соседей). Потенциал МЕАМ 2NN более подходящий под металлические системы. Этот потенциал также активно применяется для моделирования свойств наночастиц.

Применение потенциала 2–NN МЕАМ, заключается в том, что на данный момент он является универсальным, физически адекватным полуэмпирическим методом расчета структурных и термодинамических свойств сплавов металла наночастиц.

В программе MATLAB R2013b/ClustersGenerator построены модели нанокластеров FePt состава 1:1 различного строения (ГЦК-кубооктаэдры, икосаэдры, декаэдры), имеющих от 4 до 10 оболочек, как упорядоченного (фаза L10), так и разупорядоченного строения (рис. 1).

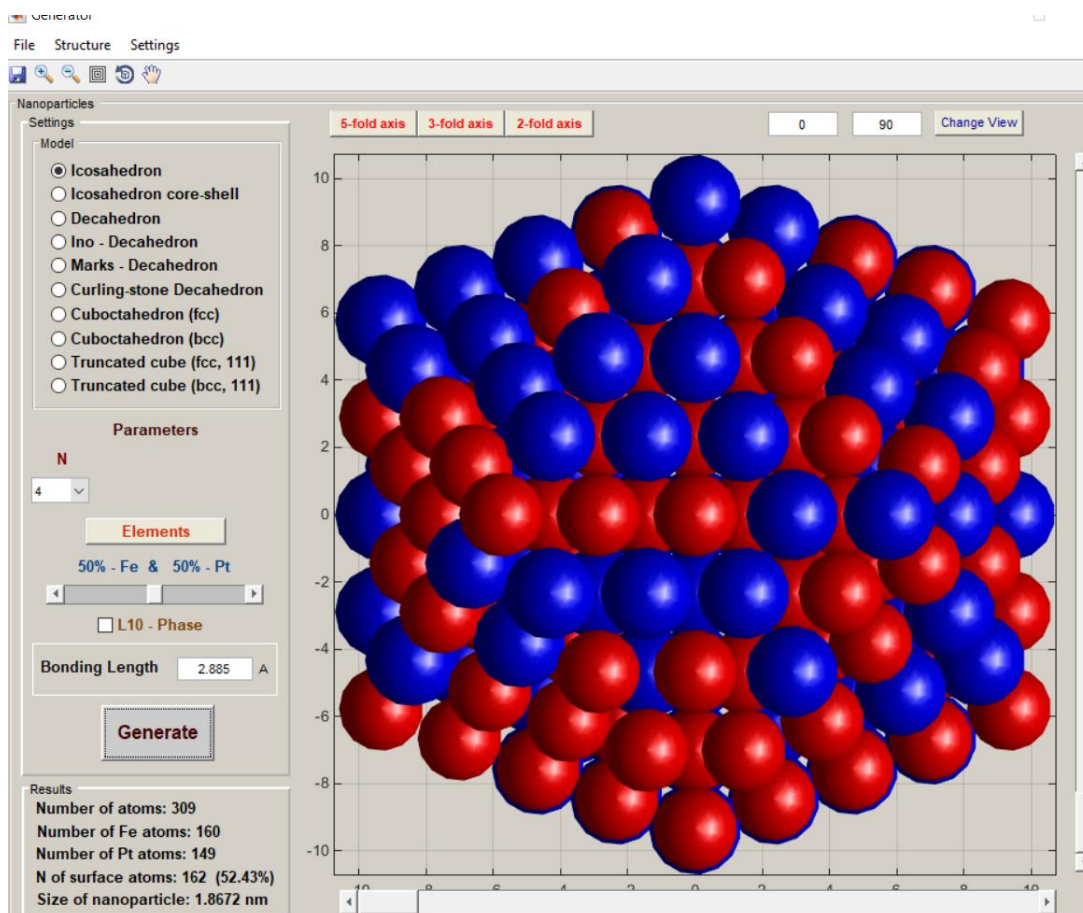


Рисунок 1. Модель нанокластера Икосаэдрического габитуса FePt состава 1:1, размерностью 4 оболочки (309 атомов, 1,8 нм)

Для адекватного метода расчета, необходимо учитывать траекторию движения, за определенное время:

$$\vartheta = \frac{dT}{dt},$$

где ϑ – скорость нагрева, dT – изменение температуры, dt – изменение времени.

Время необходимое для расчета траектории движения молекулы – шаг моделирования.

Набор всевозможных состояний реальной системы (порождает значение наблюдаемых (средних) величин, например энергии), отвечающих определённому критерию, называется статистическим ансамблем физической системы

В программе LAMMPS использовали ансамбль NVT (канонический), в ходе моделирования остается фиксированным N – число частиц,

V – объем системы и T – температура. Для поддержания заданной температуры используются алгоритмы, называемые термостатами. Их задача – корректировать скорость частиц таким образом, чтоб обеспечивать постоянство температуры. В данной работе использовался термостат Нозе-Хувера.

Параметр Td указывается в единицах времени и определяет, насколько быстро температура изменяется.

Далее в программе *lammps*, на начальном этапе геометрия кластеров малых размеров оптимизировались без учета температуры, задавалась температура кластера, шаг моделирования и константа термостаты. После построили зависимость энергии от температуры при разных скоростях, и зависимость энергии от температуры нанокластера FePt икосаэдрического габитуса разного размера.

Прежде, чем начать работать с исходной структурой, ее необходимо оптимизировать до состояния с минимальной энергией (табл. 1).

Таблица 1

Подбор подходящих параметров для расчета в программе LAMMPS

Dstep	dt						
	0,01	0,05	0,1	0,5	1	1,5	2,0
0,001	-	-	-	-	-	-	-
0,002	-	-	-	-	-	-	-
0,005	-	-	-	-	-	-	-
0,010	+	-	-	-	-	-	-
0,015	+	-	-	-	-	-	-

В таблице представлены шаг по времени *dstep* и параметр термостата *dt*, «–» означают, что при данных параметрах передаваемая энергия кластера не распределяется по атомам, а происходит вращение кластера как единого целого, «+» передаваемая энергия распределяется по атомам, происходит нагрев, далее плавление кластера, «+, – » означает, что передаваемая энергия тратится и на вращение кластера и на нагрев, что не особо оптимально. Проверка параметров происходила на малых кластерах

размером до 1,54 нм. От числа оболочек (размера кластера) также зависят параметры. Представленные параметры подходят для кластеров размерах до 3,85 нм. Остановились на таких значениях: шаг по времени 0,001 и скорость нагрева 0,01.

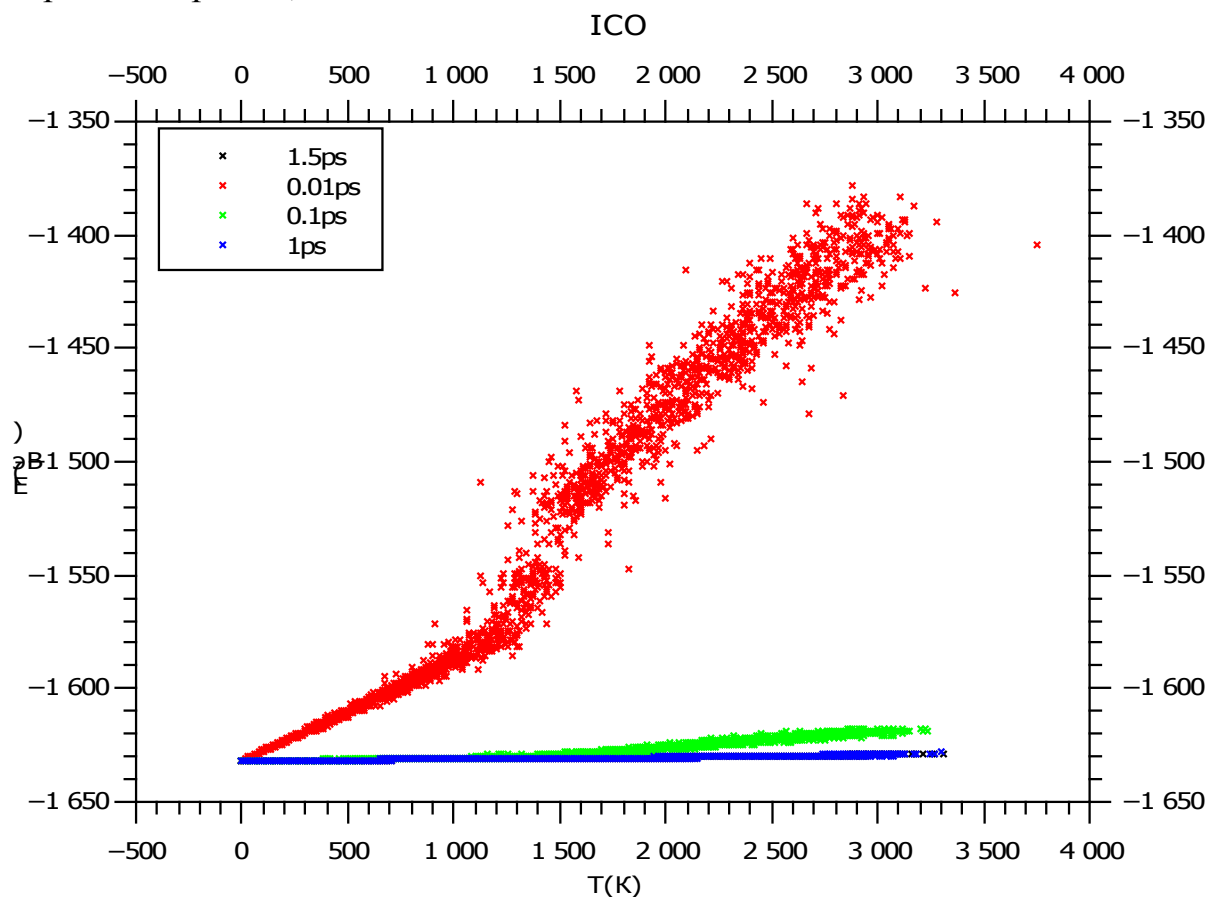


Рисунок 2. Зависимость энергии от температуры нанокластера FePt икосаэрического габитуса при разных скоростях нагрева

Зависимости энергии от температуры нанокластеров FePt икосаэрического габитуса построены при разных скоростях нагрева. В итоге пришли к выводу, что чем меньше шаг по времени, тем выше скорость нагрева. При высоких скоростях наблюдается отсутствие отклика системы.

На рисунке 3 представлена зависимость энергии от температуры нанокластера FePt икосаэрического габитуса разного размера (нм), с параметрами: шаг по времени 0,015; скорость нагрева 0,1. По рисунку 3 видно, что зависимость энергии от температуры нанокластера FePt разного размера идет закономерно, энергия увеличивается с уменьшением размера

кластера в расчете на один атом. Полученный результат подтверждает целесообразность и адекватность выбранных параметров.

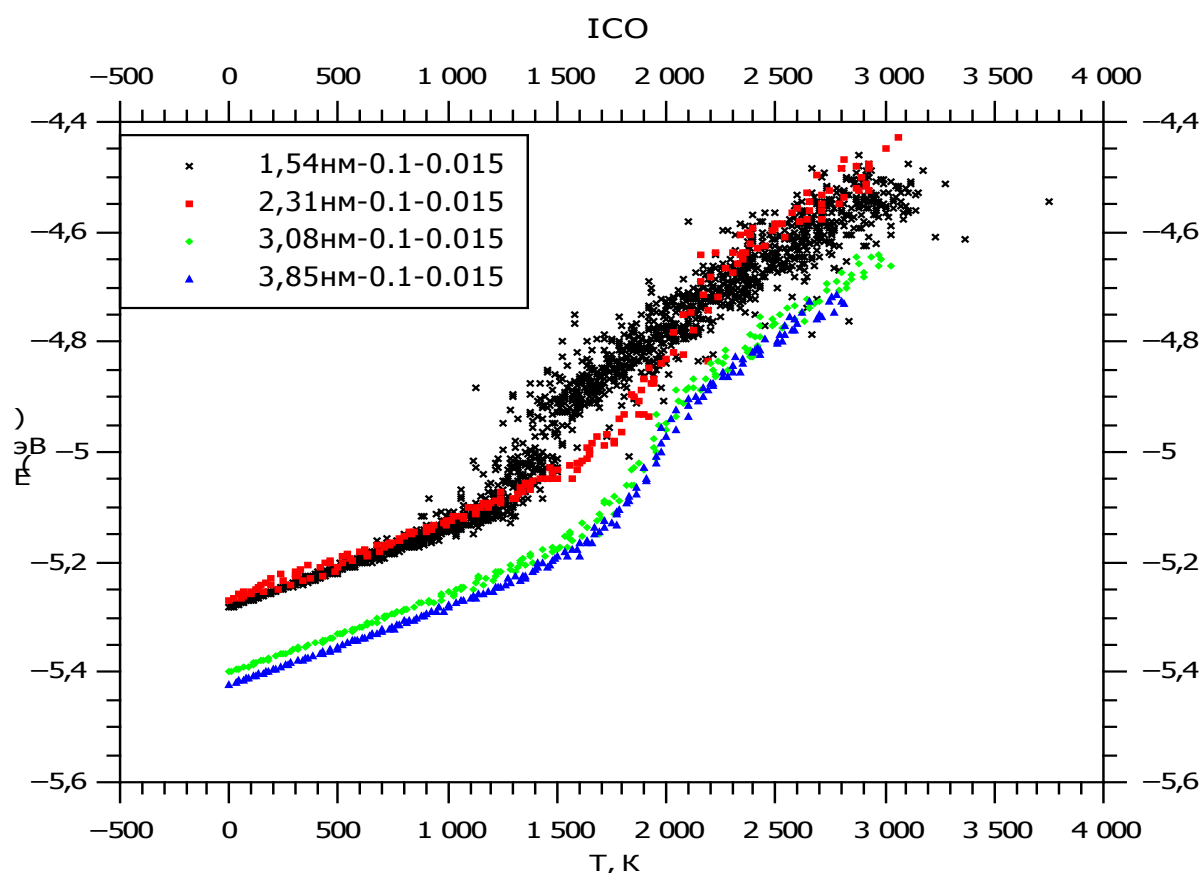


Рисунок 3. Зависимость энергии от температуры нанокластера FePt икосаэдрического габитуса разного размера (нм)

Результаты работы:

1. Был выбран потенциал взаимодействия MEAM 2NN для Fe-Pt, так как он является адекватным для метода расчета структурных, термодинамических и других физических характеристик материала.
2. Компьютерное моделирование было выполнено с помощью программы LAMMPS. Были проведены предварительные расчеты, в ходе которых оптимальные параметры составили: шаг моделирования – 0,012пс; а скорость нагрева – 0,01.
3. Приведена зависимость энергии от температуры нанокластера Fe-Pt икосаэдрического габитуса разных размеров (от 1,5нм до 4нм), по которой можно судить об адекватности подобранных параметров.

Список литературы

1. Wilcoxon J.P., Abrams B.L. Synthesis, structure and properties of metal nanoclusters // Chem. Soc. Rev. – 2006. – V. 35. – P. 1162-1194.
2. Бенькович, Е.С. Практическое моделирование динамических систем / Е.С. Бенькович, Ю.Б. Колесов, Ю.Б. Сениченков. – СПб: БХВ-Петербург, 2002. – 464 с.
3. Rapaport, D.C. The art of molecular dynamics simulations – Cambridge, USA: Cambridge University Press, 2005. – 565 p.
4. Еремеев, С.В. Эффективные многочастичные межатомные потенциалы в молекулярно – динамическом моделировании / С.В. Еремеев, А.И. Потекаев // Изв. вузов. Физика. – 2005. – № 6. – С. 82-90.
5. Malescio, G. Intermolecular potentials – past, present, future // Nat. Mater. – 2003. – V. 2. – P. 501-503.
6. Гусев, А.И. Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007. – 416 с.
7. Мальцев, П.П. Мир материалов и технологий. Наноматериалы. Нанотехнологии. Наносистемная техника. Мировые достижения за 2005 год. – М.: Техносфера, 2006. – 150 с.
8. Смирнов, Б.М. Кластеры и фазовые переходы // УФН. – 2007. – Т. 177. – № 4. – С. 369-373.
9. Богомолов, В.Н. Влияние размера на температуру плавления 9 Å металлических наночастиц / В.Н. Богомолов, А.И. Задорожный, А.А. Капанадзе // ФТТ. – 1976. – Т. 18. – № 10. – С. 3050-3052.
10. Суздаlev, И.В. Нанотехнология: физико-химия нанокластеров, наноструктур и наноматериалов. – М.: КомКнига, 2006. – 592 с.

Работа выполнена в Лаборатории неорганических наноматериалов Института углерода и химического материаловедения ФИЦ УУХ СО РАН под руководством член-корреспондента РАН Ю.А. Захарова.

**ЭЛЕКТРОННО-МИКРОСКОПИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ
АТОМНОЙ СТРУКТУРЫ НАНОЧАСТИЦ СОРТ,
БОГАТЫХ БЛАГОРОДНЫМ МЕТАЛЛОМ**

**ELECTRON-MICROSCOPIC STUDY OF THE ATOMIC STRUCTURE
OF SORT NANOPARTICLES RICH IN A NOBLE METAL**

*Тихонова Ирина Николаевна, аспирант, Лаборатория неорганических
наноматериалов Института углехимии и химического материаловедения
ФИЦ УУХ СО РАН*

*Irina N. Tikhonova, PhD student, Laboratory of Inorganic Nanomaterials,
Institute of Coal Chemistry and Chemical Materials Science
of FRC UUN SB RAS*

E-mail: aniry180895petric@mail.ru

Аннотация: Биметаллические наноразмерные и наноструктурированные системы Fe(Co)-Pt(Pd) весьма перспективны для использования в микро(нано)электронике и магнитотехнике и в связи с этим активно исследуются в настоящее время. В таких частицах, сформированных в упорядоченных тетрагональных ($L1_0$) структурах, ожидается и отчасти уже наблюдался ряд уникальных физических эффектов (сильная структурная анизотропия, связанная с ней гигантская коэрцитивная сила, спин-зависимый электронный транспорт). В связи со стремлением к реализации этих эффектов и дальнейшим изучением свойств нанобиметаллов в упорядоченных тетрагональных ($L1_0$) структурах, методом просвечивающей электронной микроскопии проведено исследование наночастиц системы CoPt с 19- и 24%-ным содержанием кобальта, соответствующим различным фазовым состояниям на фазовой диаграмме. Измерены размеры, построены распределения по размерам наночастиц и эти результаты сопоставлены с данными, полученными методом МУРР, определены типы кристаллических решеток, а также выявлены структурная доменность и наличие в плоскостях ПЭМ-

наблюдения атомных группировок в виде шестиугольников и квадратов, что говорит о плотнейшей упаковке слоев и развитости в нанокристаллах граней типа 110 и 100, соответственно.

Abstract: Bimetallic nanosized and nanostructured Fe(Co)-Pt(Pd) systems are very promising for use in micro(nano)electronics and magnetotechnology and, therefore, are being actively studied at present. In such particles formed in ordered tetragonal ($L1_0$) structures, a number of unique physical effects are expected and, in part, have already been observed (strong structural anisotropy, associated giant coercive force, spin-dependent electron transport). In connection with the desire to implement these effects and further study of the properties of nanobimetals in ordered tetragonal ($L1_0$) structures, the study of nanoparticles of the CoPt system with 19- and 24% cobalt content corresponding to different phase states in the phase diagram was carried out by transmission electron microscopy. The sizes were measured, the size distributions of nanoparticles were plotted, and these results were compared with the data obtained by the SAXS method, the types of crystal lattices were determined, and the structural domain and the presence of atomic groups in the TEM observation planes in the form of hexagons and squares were revealed, which indicates the densest packing of layers. and development of 110 and 100 type faces in nanocrystals, respectively.

Ключевые слова: просвечивающая электронная микроскопия высокого разрешения, биметаллические наночастицы, малоугловое рентгеновское рассеяние, плотнейшая упаковка, доменность.

Keywords: high-resolution transmission electron microscopy, bimetallic nanoparticles, small-angle X-ray scattering, close packing, domain.

Введение

При реализации возможностей получения наноструктурных (НС) и наноразмерных (НР) биметаллических частиц систем типа Me_1 - Me_2 (где Me_1 – переходные 3d-металлы, Me_2 – платиновой группы металлы) с высокими функциональными характеристиками возникают сложности в сохранении ферромагнитного состояния их, сформированных в виде тетрагональной фазы $L1_0$ с высокой степенью структурной упорядоченности, при нагревании до актуальной области температур 320-350 К, а также при воздействии электромагнитных полей, решение которых требует поиски способов получения наноструктур с заданным фазовым составом и соотношением компонент в реализуемых фазах.

НР система CoPt относится к числу актуальных для изучения описанных сложностей и особенностей процесса формирования интерметаллида $L1_0$ в наноструктурированных полиметаллических системах, поскольку другие, присутствующие в системе согласно фазовой диаграммы и усложняющие решение задачи, интерметаллиды в данной системе достаточно устойчивы термически [1], и имеющее важное значение при синтезе различие окислительно-восстановительных потенциалов соответствующих прекурсоров значительно [2].

Одним из наиболее эффективных методов структурных исследований является метод просвечивающей электронной микроскопии высокого разрешения (ПЭМ ВР), позволяющий охарактеризовать не только морфологию наночастиц в целом, но и описать кристаллическую структуру отдельных нанокристаллитов (величины углов между плоскостями, межплоскостные расстояния и т.д.) [3-9], а в сочетании с методами рентгеновской дифракции также и идентифицировать фазовый состав исследуемых объектов [3, 8, 10].

Экспериментальная часть

1. Получение объектов

Наноструктурированные порошки (НСП) системы CoPt получены в термостатированном (при 80 °С) реакторе методом совместного восстановления металлов гидразином (в форме гидразин-гидрата, при 10-кратном избытке относительно стехиометрического количества) из смесей водных растворов соответствующих прекурсоров (0,1 моль/л $H_2PtCl_6 \cdot 6H_2O$, $CoSO_4 \cdot 7H_2O$ (квалификации ч.д.а)): в смесь растворов прекурсоров при интенсивном перемешивании вводился щелочной раствор гидразин-гидрата (рН = 13-14). Длительность–процесса восстановления – 5 минут. Полученные порошки промывали дистиллированной водой и изопропиловым спиртом, в сочетании с центрифугированием, сушили на воздухе под тягой при комнатной температуре и хранили в герметичной стеклянной таре.

2. Метод исследования

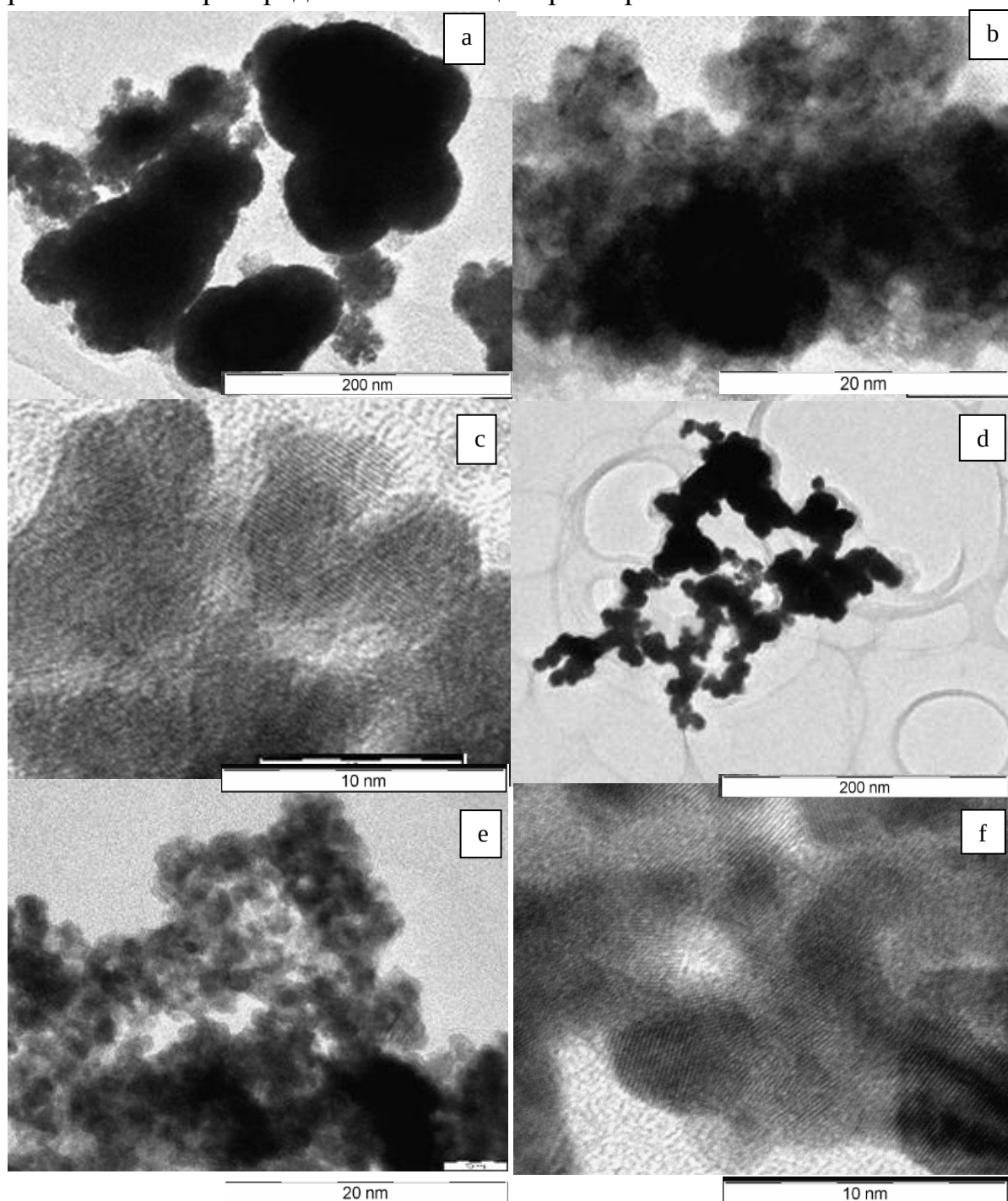
Электронно-микроскопическое исследование образцов проводили на просвечивающем электронном микроскопе JEOL JEM 2100 (JEOL Ltd, Япония) в светлопольном режиме; навески образцов (50-100 мкг) помещали на препаративную сетку (TEM-grids). Особенности

пробоподготовки высокомагнитных НСП, на примере (Fe, Co)-Pt, изложены в [10].

В результате были получены ПЭМ ВР-изображения исследуемых объектов, по которым были оценены расстояния между атомными рядами (РМАР) и их проекциями, а также построены распределения РМАР.

Результаты и их обсуждение

На рисунке 1а-1г представлены ПЭМ ВР-изображения образцов $\text{Co}_{19}\text{Pt}_{81}$ и $\text{Co}_{24}\text{Pt}_{76}$ с различным увеличением и соответствующие им рассчитанные распределения частиц по размерам.



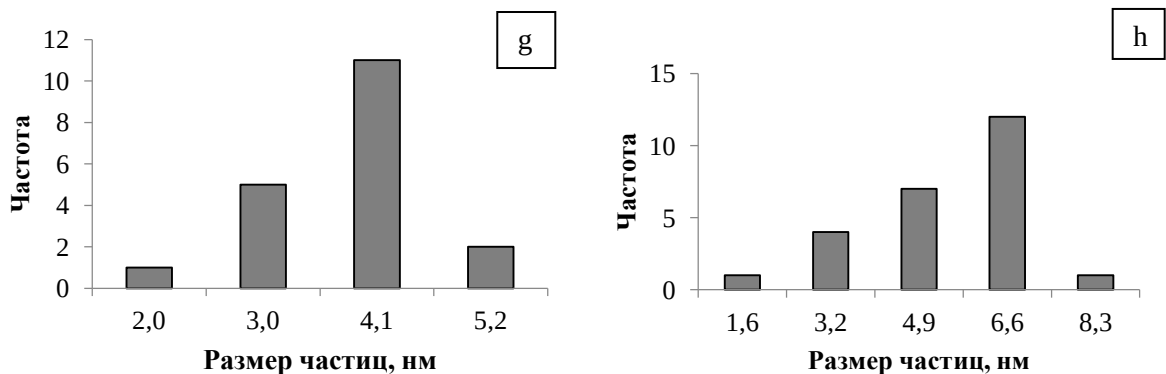


Рисунок 1. ПЭМ ВР-изображения образцов Co₁₉Pt₈₁ (а-с) и Co₂₄Pt₇₆ (d-f) и соответствующие им распределения частиц по размерам: Co₁₉Pt₈₁ (g), h- Co₂₄Pt₇₆

Судя по рисункам 1с и 1f, можно сделать вывод, что наночастицы представлены в виде агломератов с размерами от 20 до 60 нм, однако среди них удастся выделить моночастицы и более малых размеров, от 1 до 10 нм (рис. 1g, 1h). Это согласуется с наблюдением экстремумов в области 1-10 нм на массовых функциях распределения частиц (неоднородностей) по размерам, полученных в результате исследования МУРР (более подробное описание методики исследования, а также методы, использованные при компьютерной обработке данных, представлены в [11-14]), которые изображены на рисунке 2.

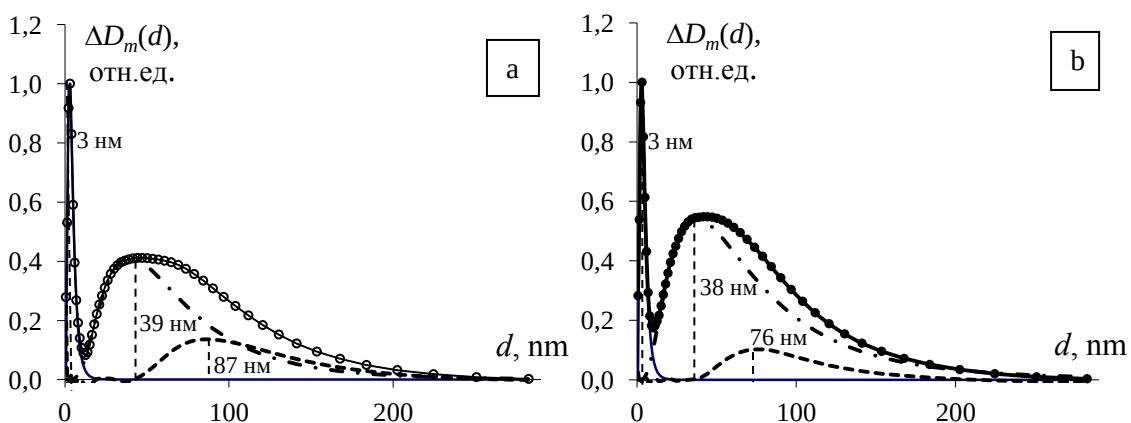


Рисунок 2. Массовые функции распределения частиц (неоднородностей) по размерам в НСП CoPt (a - Co₁₉Pt₈₁, b - Co₂₄Pt₇₆)

На ПЭМ ВР-изображениях достаточно четко видны атомные плоскости в виде шестиугольников или квадратов, расположенных под различными углами друг к другу. Это свидетельствует о плотнейшей слоевой упаковке атомов в слое в первом случае и соответствует РМАР типа 110/100 во втором (рис. 3а-ф). Эти данные также говорят о структурной доменности НК.

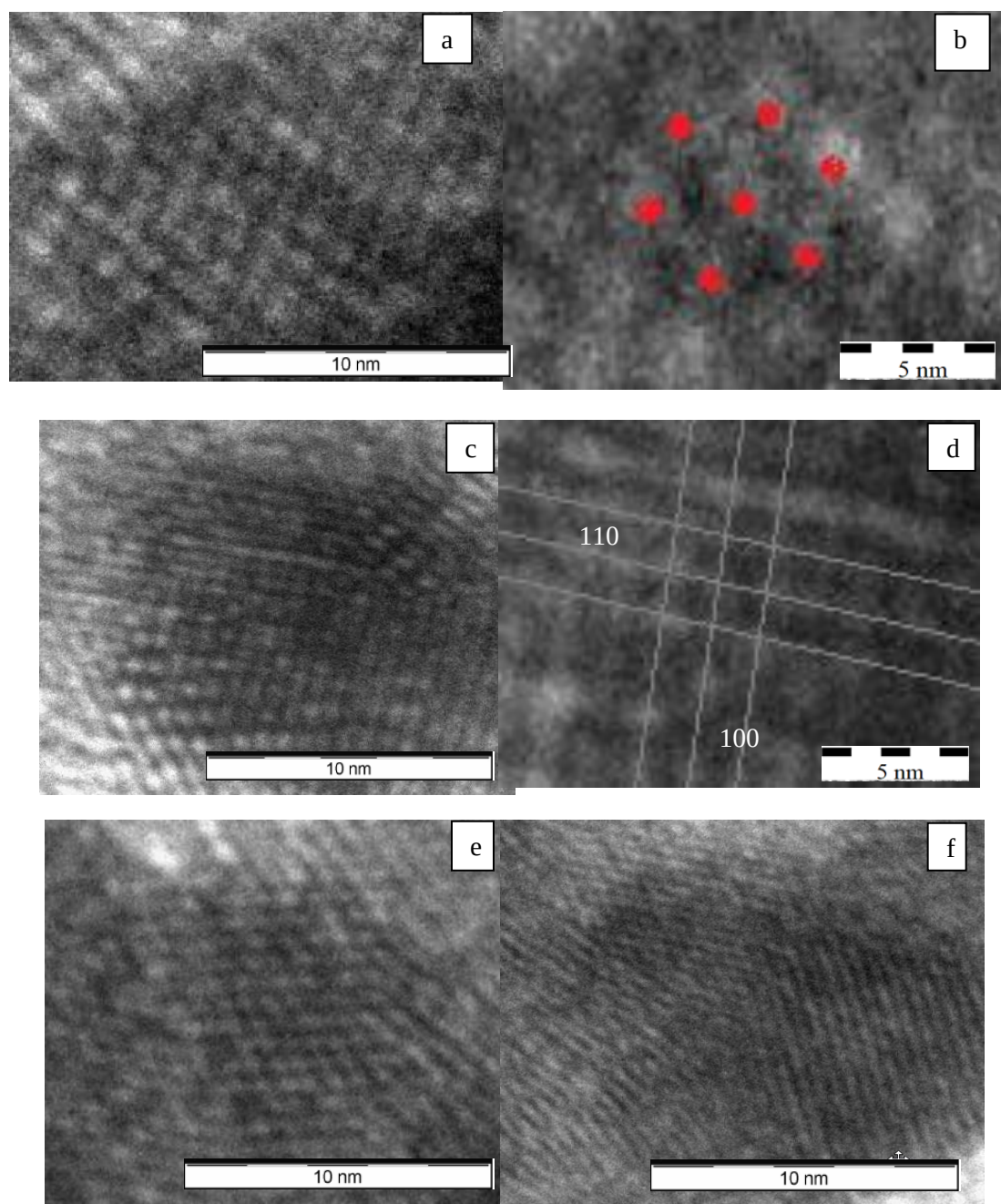


Рисунок 3. ПЭМ ВР-изображения образцов $\text{Co}_{19}\text{Pt}_{81}$ (а-д) и $\text{Co}_{24}\text{Pt}_{76}$ (е-ф)

Заключение

При изучении методом ПЭМ ВР морфологии наночастиц CoPt с различным соотношением компонентов, синтезированных совместным восстановлением водных растворов прекурсоров гидразин-гидратом в щелочной среде, установлены следующие закономерности: наночастицы представлены в виде агломератов размерами 20 нм и выше, составленных из нанокристаллитов размерами 1-10 нм, что согласуется с результатами, полученных методом МУРР. Отмечены наличие структурной доменности нанокристаллитов и формирование их с развитыми гранями 111, 100.

Список литературы

1. Kovács, G. Revealing chemical ordering in Pt–Co nanoparticles using electronic structure calculations and X-ray photoelectron spectroscopy // *Physical Chemistry Chemical Physics*. – 2015. – V. 17. – № 42. – P. 28298-28310.
2. Турьян, Я. И. Окислительно-восстановительные реакции и потенциалы в аналитической химии. – Химия, 1989. – С. 243
3. Фульц, Б. Просвечивающая электронная микроскопия и дифрактометрия материалов / Б. Фульц. – М.: Техносфера, 2011. – 904 с.
4. Zakharov, N. S. Transmission electron microscopy for evaluating the structural parameters of nanoparticles // *Journal of Physics: Conference Series*. – IOP Publishing, 2021. – Т. 1749. – №. 1. – С. 012011.
5. Спенс, Дж. Экспериментальная электронная микроскопия высокого разрешения: Пер. с англ./Под ред. В. Н. Рожанского. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. Лит., 1986. – 320 с., ил.
6. Томас Г., Горинж М. Дж. Просвечивающая электронная микроскопия материалов: Пер. с англ. / Под ред. Б.К. Вайнштейна – М: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1983. – 320 с.
7. Кулаков, Ю.А Электронная микроскопия. – М.: Знание, 1981. – 64 с.
8. Эберхардт, К.Н. Микроскопические методы исследования материалов.– М.: Техносфера, 2007. – 376 с.
9. David B. Williams. Transmission Electron Microscopy. A Textbook for Materials Science / David B. Williams, C. Barry Carter. – Springer Science, 2009. – 779 p.

10. Shtansky, D. V. Characterization of nanostructured multiphase Ti–Al–B–N thin films with extremely small grain size // Surface and Coatings Technology. – 2001. – V. 148. – №. 2-3. – P. 206-215.
11. Zakharov, Y. A. The characteristics of the atomic structure and morphology of the Ni-cores in the Ni / Au core–shell nanoparticles // Journal of Inorganic and Organometallic Polymers and Materials. – 2019. – V. 29. – №. 1. – P. 22-32.
12. Dodonov, V. G. Determination of the surface structure peculiarities of nanoscale metal particles via small-angle X-ray scattering // Inorganic Materials: Applied Research. – 2016. – V. 7. – №. 5. – P. 804-814.
13. Додонов, В. Г. Выявление особенностей строения поверхности наноразмерных металлических частиц по данным малоуглового рентгеновского рассеяния // Перспективные материалы. – 2016. – №. 6. – С. 68-82.
14. Dodonov, V. G. The improved method of particle size distribution analysis from the small-angle X-ray scattering data // Z. Kristallogr. Suppl. – 1991. – №. 1991. – P. 102.

Работа выполнена в Лаборатории неорганических наноматериалов Института углерода и химического материаловедения ФИЦ УУХ СО РАН под руководством члена-корреспондента РАН Ю.А. Захарова.

**СОРБЦИЯ ИОНОВ НИКЕЛЯ ИЗ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ
БУРЫМ УГЛЕМ И КАРБОНИЗАТОМ НА ЕГО ОСНОВЕ**

**SORPTION OF NICKEL IONS FROM AQUEOUS SOLUTIONS BY
BROWN COAL AND CARBONIZATE BASED ON IT**

*Цветков Вячеслав Эдуардович, аспирант,
Лаборатория глубокой переработки угля, Институт углехимии
и химического материаловедения ФИЦ УУХ СО РАН*

*Vyacheslav E. Tsvetkov, postgraduate,
Laboratory of deep coal processing,
Institute of Coal Chemistry and Chemical Materials Science
of FRC CCC SB RAS
E-mail: TsvetkofVE@gmail.com*

Аннотация: В работе проведена экспериментальная оценка сорбционной активности бурого угля и карбонизата, полученного на его основе, относительно ионов никеля при их извлечении из водных растворов. Рассчитанные значения коэффициентов разделения для исследуемых образцов равны 0,9926 и 0,9929 соответственно, что свидетельствует о пригодности использования исследованных образцов для адсорбции ионов никеля из водных растворов. Экспериментально определенная степень извлечения ионов никеля бурым углем составляет 83%, карбонизатом на его основе – 96%.

Abstract: In the work, an experimental assessment of the sorption activity of brown coal and carbonization obtained on its basis, relative to nickel ions during their extraction from aqueous solutions, was carried out. The calculated values of the separation coefficients for the studied samples are 0,9926 and 0,9929, respectively, which indicates the suitability of using the studied samples for the adsorption of nickel ions from aqueous solutions. The experimentally determined degree of extraction of nickel ions by brown coal is 83%, carbonization based on it 96%.

Ключевые слова: бурый уголь, карбонизат, сорбция, сорбционная активность.

Keywords: brown coal, carbonizate, sorption, sorption activity.

В последнее время все больше внимания уделяется решению важных экологических задач, например, очистке сточных и питьевых вод от различных загрязнителей – экотоксикантов различной природы. К экотоксикантам относятся ионы тяжелых металлов (свинец, ртуть, кадмий, стронций, никель), полиароматические углеводороды (бензпирен и другие), нефтепродукты, поверхностно-активные вещества. По данным отчета об окружающей среде за последние годы все больше увеличивается количество выбросов тяжелых металлов, в частности, никеля, в водоемы. В соответствии с перечнем максимально допустимых значений нормативных показателей общих свойств в сточных водах в Кузбассе превышение ПДК составляет в 4,4 раза [1].

Очистка воды от тяжелых металлов и их солей представляет собой серьезную экологическую задачу. Существующие методы очистки включают биологические, физические, физико-химические, химические и адсорбционные. Адсорбционные методы чаще применяются на стадиях доочистки и наиболее эффективны при использовании материалов с высокой адсорбционной активностью. Кроме того, адсорбция достаточно простой технологический процесс и, в отличие от химических и биологических методов, может быть реализована при довольно высоких скоростях потока очищаемых сточных вод и сред. Для адсорбции тяжелых металлов наиболее часто применяют углеродные адсорбенты. Их получают из различных предшественников (лигнин, древесина, ископаемые угли) методами физической или химической активации [2]. Сорбционная обработка стоков целесообразна как окончательная операция после механической и других, более дешёвых видов очистки. Эффективность сорбционной очистки в зависимости от применяемого адсорбента составляет 80-95%. В качестве сорбентов используют активированный уголь, золу, различные природные минералы.

В настоящее время необходим поиск недорогих сорбционных материалов, обладающих высокой способностью к ионному обмену за счет образования устойчивых поверхностных комплексов функциональных групп с ионами металлов. Бурые угли характеризуются повышенным содержанием фенольных, карбоксильных и гидроксильных групп, которые

способны участвовать в ионообменных процессах [3]. Следовательно, их можно рассматривать в качестве естественных катионообменников.

Целью данной работы являлось изучение сорбционной активности нативного бурого угля и карбонизата, полученного на его основе, по отношению к катионам никеля из водных растворов.

В качестве объекта исследования использовалась товарная проба угля марки 2Б разреза «Кайчакский». Предварительно образец был высушен при температуре 60 °С в течение трех часов. Для аналитических исследований использовалась фракция менее 0,2 мм.

Карбонизат (КО_Б) получали в фарфоровых тиглях в муфельной печи при 800 °С (скорость нагрева 10 °/мин, выдержка 1 ч). Карбонизованные остатки измельчали до крупности частиц 0,2-0,5 мм, промывали водой, после чего высушивали до постоянной массы.

Технический анализ проводили стандартными методами. Общую серу определяли по методу Эшка согласно ГОСТ 8606–2015 (ISO 334:2013). Элементный состав определяли с помощью элементного анализатора Thermo Flash 2000 (*Thermo Fisher Scientific*, Великобритания), результаты определений пересчитывали на сухое беззольное состояние топлива (*daf*).

Количество кислородсодержащих групп определяли химическими методами анализа: карбонильные – по реакции с солянокислым гидроксиламином, карбоксильные – ацетатным методом, суммарную кислотность – ионным обменом с гидроксидом натрия. Содержание кислорода в «активных» группах (O_{акт}) определяли суммированием его процентного содержания в идентифицируемых группах; количество «неактивного» кислорода (O_{неакт}) – по разнице между общим содержанием кислорода и O_{акт}.

ИК-спектры регистрировали на ИК-Фурье спектрометре «Инфралюм-ФТ-08» в диапазоне 500-4000 см⁻¹, с 256 сканами и разрешением 4 см⁻¹. Коррекция базовой линии проводилась в программе СпектрАлюм.

Величину удельной поверхности (S_{BET} , м²/г) и характеристики пористой структуры (общий объем пор V_{Σ} , см³/г; объем мезо- и микропор $V_{\text{ме}}$ и $V_{\text{ми}}$, см³/г) изученных образцов углеродных материалов получали из анализа изотерм адсорбции-десорбции N₂ при -195,97 °С (77,4 К), измеренных на объёмной вакуумной статической установке ASAP-2020. Перед проведением адсорбционных измерений исследуемые образцы

вакуумировали непосредственно в специальном порту прибора при 200 °С в течение 12 часов до остаточного давления не менее 0,13 Па. Измерения изотерм адсорбции-десорбции азота вели в области равновесных относительных давлений паров от 10^{-3} до 0,995 P/P₀.

Исследование сорбции проводили при комнатной температуре (20±2 °С). В качестве адсорбата в работе использовали раствор сульфата никеля NiSO₄×7H₂O квалификации «ч.д.а». Перед проведением сорбции ионов никеля образцы сушили в сушильном шкафу при 105±5 °С до постоянной массы. Навеску образца, предварительно высушенную до постоянной массы, взвешивали, помещали в коническую колбу вместимостью 100 см³ и прибавляли 50 см³ стандартного раствора сульфата никеля, закрывали пробкой и взбалтывали на аппарате для встряхивания жидкости в течение часа. По истечении заданного времени раствор никеля отфильтровывали. Отбирали аликвоту 10 см³ и помещали в мерную колбу на 25 см³. Затем последовательно добавляли 2 см³ насыщенной бромом воды, перемешивали и приливали 3 см³ концентрированного раствора аммиака, 1 см³ раствора диметилглиоксима, разбавляли дистиллированной водой до метки и перемешивали. Выдерживали 10 минут после приготовления, после чего не менее двух раз измеряли значения оптической плотности при длине волны λ=445 нм в кюветах с толщиной поглощающего слоя от 10 до 50 мм, используя в качестве раствора сравнения дистиллированную воду. По полученному значению оптической плотности, пользуясь градуировочным графиком, определяли остаточную массовую концентрацию никеля в растворе [4,5].

Величина адсорбции (A_{Ni}; мг/г) определялась по формуле:

$$A_{Ni} = \frac{(C_0 - C_p) \cdot V}{m}, \quad (1)$$

где A_{Ni} – адсорбционная активность, мг/г; C₀ – исходная концентрация ионов никеля, мг/см³; C_p – равновесная концентрация ионов никеля, мг/см³; V – объем раствора, см³; m – масса адсорбента, г.

Степень извлечения (χ, %) определялась по формуле:

$$\chi = \frac{(C_0 \cdot V - C_p \cdot V)}{C_0 \cdot V} \cdot 100\%, \quad (2)$$

где C_0 – исходная концентрация ионов никеля, мг/см³; C_p – равновесная концентрация ионов никеля, мг/см³; V – объем раствора, см³.

Характеристика исследованных образцов приведена в таблице 1. Уголь характеризуется зольностью (A^d) порядка 10% и выходом летучих веществ (V^{daf}) более 60% и обладает повышенным атомным отношением О/С (табл. 1). Функциональный состав угля представлен карбоксильными, карбонильными и фенольными группами (40% от общего содержания кислорода) (табл. 2). Основная часть кислорода (60%) включена в макромолекулы угля в виде «неактивных» эфирных и гетероциклических (фурановых, лактонных, хиноидных) группировок, что соответствует представлениям о строении бурых углей [6, 7].

Зольность коксового остатка составляет величину порядка 18%, атомное отношение О/С равно 0,08. Основная часть кислорода (до 70%) представлена фенольными и карбоксильными группами (см. табл. 1 и табл. 2).

Таблица 1

Характеристика исследованных образцов

Код образ-ца	Технический анализ, %				Элементный состав, % на daf			Атомное отношение	
	W^a	A^d	V^{daf}	S_t^d	С	Н	(N+S+O)	Н/С	О/С
Б _{исх}	2,0	10,0	60,4	0,3	68,5	4,5	27,0	0,78	0,29
КО _Б	0,4	18,4	6,4	-	88,7	1,8	9,5	0,24	0,08

Таблица 2

Распределение кислорода по функциональным группам в исследованных образцах

Код образца	Функциональные группы, мг·экв/г			Кислород в группах, масс. %	
	–ОН	–СО	–СООН	«активных»	«неактивных»
Б _{исх}	2,85	5,18	0,65	10,8	16,2
КО _Б	2,75	–	0,72	6,7	2,8

Распределение кислорода по структурным группам качественно подтверждается данными ИК-спектроскопии. В ИК-спектре образца КО_Б регистрируются полосы поглощения (п.п.) в области 1000-1200 см⁻¹, соответствующие валентным колебаниям связи С-О в эфирных и фенольных структурах, в области 3000–3600 см⁻¹, относящаяся к валентным колебаниям групп -ОН, связанных водородными связями и наличие п.п. в области 1650-1700 см⁻¹, что соответствует валентным колебаниям связи –С=О в ароматических кислотах.

Параметры пористой структуры, рассчитанные по изотермам адсорбции–десорбции азота, представлены в таблице 3. Видно, что образцы угля обладают низкой удельной поверхностью (1,3 м²/г). При этом его пористое пространство сформировано за счет мезопор (83%) со средним диаметром 16,9 нм. Карбонизованный образец характеризуется значительно большей удельной поверхностью (303 м²/г), и является микропористым, так как доля микропор достигает величины более 70%.

Таблица 3

Характеристика пористой структуры исследованных образцов

Код образ-ца	Удельная поверхность $S_{\text{ВЕТ}}$, м ² /г	Общий объём пор V_{Σ} , см ³ /г	Объём микропор V_{mi} , см ³ /г	Объём мезопор V_{me} , см ³ /г	$V_{\text{mi}} / V_{\Sigma}$ %	$V_{\text{me}} / V_{\Sigma}$ %	$D_{\text{ср}}$, нм
Б _{исх}	1,3	0,006	–	0,005	–	83	16,9
КО _Б	303	0,141	0,102	0,021	72,3	14,9	1,9

Экспериментально полученные изотермы адсорбции ионов никеля представлены на рисунке 1. По форме они относятся к типу I, который описывает мономолекулярную адсорбцию. На графике отмечается плавный рост значений адсорбционной активности (A_{Ni}) в диапазоне равновесных концентраций никеля $C_p = 0-1,0$ мг/л. При $C_p \geq 1$ мг/л. значения A_{Ni} приближается к предельным, наибольшее значение наблюдается для КО_Б (0,35-0,41 мг/г.)

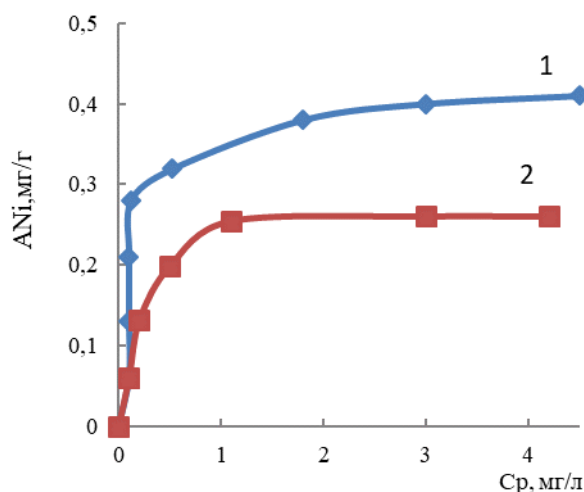


Рисунок 1. Изотерма адсорбции ионов никеля для образцов:
Б_{исх} (2) и КО_Б (1)

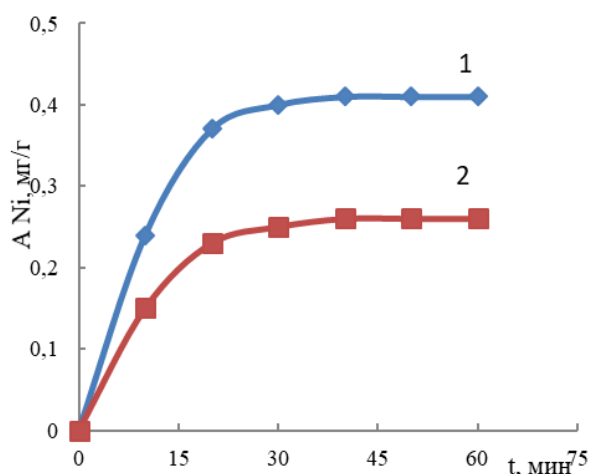


Рисунок 2. Кинетические зависимости адсорбции ионов никеля для образцов: Б_{исх} (2) и КО_Б (1)

Для подбора оптимальных условий сорбции ионов никеля проведены кинетические исследования. Экспериментальная зависимость адсорбционной активности A_{Ni} от продолжительности процесса адсорбции (t , мин) при $C_0 = 10$ мг/л представлена на рисунке 2. Очевидно, что сорбционное взаимодействие в системе водный раствор сульфата никеля – адсорбент протекает достаточно быстро. Время достижения сорбционного равновесия и максимального значения адсорбционной емкости составляет не более 30 мин (рис. 2). Достаточное быстрое время установления равновесия, вероятно, обусловлено наличием кислородсодержащих

функциональных групп в образцах, а в случае использования карбонизата – сравнительно развитой его поверхностью (см. табл. 2 и 3).

Полученные экспериментальные кривые проанализированы с использованием двух кинетических моделей: псевдопервого (модель Лагергена) (3) и псевдовторого порядка (4) [8-10].

$$\ln(A_{\text{равн}}^{\text{эксп}} - A_{Ni}) = \ln(A_{\text{равн}}) - k_1 t, \quad (3)$$

$$\frac{t}{A_{Ni}} = \frac{1}{\left(k_2 A_{\text{равн}}^2 + \frac{t}{A_{\text{равн}}}\right)}. \quad (4)$$

Результаты расчетов приведены в таблице 4.

Таблица 4

Расчет уравнений химической кинетики
псевдо-первого и псевдо-второго порядка

Об- разец	$A_{\text{равн}}^{\text{эксп}}$, мг/г	Сте- пень изв- лече- ния %	Модель кинетики					
			Псевдопервого порядка (модель Лагергена)			Псевдовторого порядка		
			k_1 , мин ⁻¹	$A_{\text{равн}}$, мг/г	R ²	$k_2 \times 10^{-3}$, г/мг*мин	$A_{\text{равн}}$, мг/г	R ²
Б _{исх}	0,26	83	0,3755	0,711	0,8521	29,019	0,291	0,9926
КО _Б	0,41	96	0,3814	0,840	0,8571	13,887	0,464	0,9929

Экспериментальные данные наиболее точно описываются кинетической моделью псевдовторого порядка ($R_2 = 0,9926$ 0,9929), расчетные значения равновесной адсорбции $A_{\text{равн}}$ в достаточной мере совпадают с экспериментальными значениями $A_{\text{равн}}^{\text{эксп}}$ (см. табл. 4). Применение кинетической модели псевдопервого порядка для описания экспериментальных данных не применима.

Таким образом, в работе представлены результаты исследования процесса адсорбции ионов никеля из водных растворов образцом угля марки Б и карбонизатом, полученным на его основе. Экспериментально определена степень извлечения ионов никеля, которая составляет величину 83 и 96 % соответственно. Установлено, что процесс адсорбции

описывается моделью кинетики адсорбции псевдовторого порядка с коэффициентом детерминации R^2 более 0,99.

Список литературы

1. О состоянии и охране окружающей среды Кемеровской области – Кузбасса в 2020 году: доклад. – Кемерово, 2020. – 474 с
2. Лиштван, И.И. Очистка сточных вод от металло-экоотоксикантов торфяными препаратами / И.И. Лиштван, В.М. Дударчик, С.И. Коврик, Т.П. Смычник // Химия и технология воды. – 2007. – Т. 29. – № 1. – С. 67-74.
3. Челнакова, П.Н. Селективное извлечение катионов цветных металлов из сточных вод слабоосновными анионитами / П.Н. Челнакова, В.А. Колодяжный // Журнал прикладной химии. – 2004. – Т. 77. – № 1. – С. 78-82.
4. Васильев, В.П. Аналитическая химия / В 2-х ч. (часть 2). – М.: Дрофа, 2004. – 384 с.
5. Дударева, Г.Н. Изучение адсорбционной активности углеродных сорбентов к ионам никеля / Г.Н. Дударева, Н.А.Т. Нгуен, Ю.С. Сырых // Вестник ИрГТУ. – 2010. – № 7 (47). – С. 147-151.
6. Гюльмалиев, А.М. Теоритические основы химии угля / А.М. Гюльмалиев, Г.С. Головин, Т.Г. Гладун. – М.: МГУ, 2003. – 556 с.
7. Малышева, В.Ю. Исследование бурых углей методом инфракрасной спектроскопии / В.Ю. Малышева, Н.И. Федорова, З.Р. Исмагилов // Химия в интересах устойчивого развития. – 2020. – Т.28. – №5. – С. 577-582.
8. Кельцев, Н.В. Основы адсорбционной техники. – М.: Химия, 1984. – 592 с.
9. Лурье, Ю.Ю. Химический анализ производственных сточных вод. – М.: Химия, 1974. – 306 с.
10. Иванов, Н.Н. Сорбция фенола из водных растворов химически активированными углеродными сорбентами / Н.Н. Иванов, И.Ю. Зыков, В.Э. Цветков, Ю.Н. Дудникова // Химия в интересах устойчивого развития, 2020. – Т.28. – №5. – С. 550-556.

Работа выполнена в Лаборатории глубокой переработки углей (сорбенты, кероген, сапропелиты) Института углехимии и химического материаловедения ФИЦ УУХ СО РАН под руководством заведующей лабораторией кандидата химических наук Н.И. Федоровой.

СЕКЦИЯ 3

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ И ГУМАНИТАРНЫЕ ПРОБЛЕМЫ УГЛЕДОБЫВАЮЩИХ РЕГИОНОВ

УДК 616-097.3:616.34-006.6

**АНАЛИЗ АНТИТЕЛ КЛАССА А И G, СПЕЦИФИЧНЫХ
К БЕНЗО[А]ПИРЕНУ И СТЕРОИДНЫМ ГОРМОНАМ,
У ЖЕНЩИН С КОЛОРЕКТАЛЬНЫМ РАКОМ**

**ANALYSIS OF IGA AND IGG ANTIBODIES SPECIFIC
TO BENZO[A]PYRENE AND STEROID HORMONES
IN WOMEN WITH COLORECTAL CANCER**

*Аверьянов Антон Викторович, ведущий инженер-биолог,
Лаборатория иммунохимии
Института экологии человека ФИЦ УУХ СО РАН*

*Averianov Anton Viktorovich, leading biological engineer,
Immunochemistry laboratory
of Institute of Human Ecology, FRC UUH SB RAS.
E-mail: averianov_av@mail.ru*

Аннотация: Цель исследования. Выявить предполагаемые особенности образования антител (АТ) класса А и G, специфичных к бензо[а]пирену (Вр), эстрадиолу (Es), прогестерону (Pg) у женщин, больных колоректальным раком (КРР), в постменопаузе.

Материалы и методы. С помощью неконкурентного иммуноферментного анализа исследовали содержание IgA и IgG против Вр, Es, Pg в сыворотке крови у больных колоректальным раком (n=219) и у здоровых женщин (n=401). Статистический анализ результатов проводили с помощью программы Statistica 8.0.

Результаты. Частота встречаемости высоких значений АТ была выше у больных КРР, по сравнению со здоровыми женщинами для IgA-Вр, а также для IgG-Вр, IgG-Es ($p < 0,01$). Для IgA-Pg была выше у здоровых

женщин, а для IgG-Es, IgG-Pg достоверных отличий получено не было. При сравнении индивидуальных соотношений антител IgA-Bp/IgA-Es, IgA-Bp/IgA-Pg и IgA-Es/IgA-Pg, а также соотношений IgA-Bp/IgA-Es, IgA-Bp/IgA-Pg и IgA-Es/IgA-Pg частота встречаемости высоких уровней была выше у больных КРР по сравнению со здоровыми женщинами с высокой достоверностью ($p < 0,01$). Наибольшие различия между группами в IgA были характерны для IgA-Bp/IgA-Pg $> 1,5$ с показателем OR=13,4, а при сравнении IgG для IgG-Bp/IgG-Pg $> 1,5$ с показателем OR=7,8.

Заключение. Иммуноанализ IgG-Bp, IgG-Es и IgG-Pg возможно использовать для диагностики индивидуальных рисков возникновения колоректального рака. Особую важность методика будет иметь для женщин, имеющих высокую канцерогенную нагрузку в повседневной жизни.

Abstract: Purpose of the study. To identify the expected features of the formation of antibodies (AT) of class A and G, specific to benzo[a]pyrene (Bp), estradiol (Es), progesterone (Pg) in postmenopausal women with colorectal cancer (CRC).

Materials and methods. The content of IgA and IgG against Bp, Es, Pg in the blood serum of patients with colorectal cancer ($n=219$) and healthy women ($n=401$) was studied using non-competitive enzyme immunoassay. Statistical analysis of the results was performed using the Statistica 8.0 program.

Results. The incidence of high AT values was higher in patients with CRC compared with healthy women for IgA-Bp, as well as for IgG-Bp, IgG-Es ($p < 0,01$). For IgA-Pg, it was higher in healthy women, and for IgG-Es, IgG-Pg, no significant differences were obtained. When comparing individual ratios of antibodies IgA-Bp/IgA-Es, IgA-Bp/IgA-Pg and IgA-Es/IgA-Pg, as well as ratios of IgA-Bp/IgA-Es, IgA-Bp/IgA-Pg and IgA-Es/IgA-Pg incidence of high levels was higher in patients with CRC compared with healthy women with high significance ($p < 0,01$). The greatest differences between groups in IgA were typical for IgA-Bp/IgA-Pg $> 1,5$ with an OR=13,4, and when comparing IgG for IgG-Bp/IgG-Pg $> 1,5$ with an OR=7,8.

Conclusion. IgG-Bp, IgG-Es, and IgG-Pg immunoassays can be used to diagnose individual risks of colorectal cancer. The technique will be of particular importance for women with a high carcinogenic load in everyday life.

Ключевые слова: антитела, бензо[а]пирен, эстрадиол, прогестерон, рак толстой кишки.

Keywords: antibodies, benzo[a]pyrene, estradiol, progesterone, colorectal cancer.

Введение

Колоректальный рак (КРР) входит в пятерку наиболее распространенных злокачественных опухолей у женщин в мире и в России [1]. Одной из основных причин, вызывающих неопластические изменения в тканях, является воздействие химических канцерогенов, полициклических ароматических углеводородов (ПАУ), в частности, бензо[а]пирена (Вр). Метаболиты химических канцерогенов образуют аддукты с ДНК и тем самым инициируют трансформацию нормальных клеток в злокачественные [2]. Аддукты метаболитов Вр с ДНК обнаруживаются в нормальных и опухолевых клетках у здоровых женщин и больных КРР. [3-6]. Кроме того, инициаторами канцерогенеза могут быть генотоксические метаболиты эстрадиола (Es). И, не смотря на то, что у больных КРР метаболиты Es не исследовались, их аддукты с ДНК были выявлены у здоровых женщин и больных РМЖ [7, 8].

Низкомолекулярные ПАУ и стероидные гормоны и их метаболиты не распознаются иммунной системой, однако в составе аддуктов с высокомолекулярными соединениями они становятся гаптенами и могут индуцировать синтез специфических антител. Были обнаружены ассоциации антител к Вр, Es и прогестерону (Pg), с РМЖ и раком легкого у женщин [9]. Выявлены взаимосвязи между содержанием в сыворотке стероидных гормонов и уровнями указанных антител [10]. Специфические иммунные реакции на химические канцерогены окружающей среды и эндогенные сывороточные гормоны у больных КРР оставались неизученными.

Цель настоящего исследования – выявить предполагаемые особенности образования антител класса А и G, специфичных к Вр, Es, Pg (IgA-Вр, IgA-Es, IgA-Pg, IgG-Вр, IgG-Es, IgG-Pg) у женщин больных КРР в постменопаузе.

Материалы и методы

Выполнен анализ сывороточных IgA и IgG, специфичных к Вр, Es, Pg, в двух группах женщин в период постменопаузы. Первая группа включала 219 женщин с КРР. Из них с диагнозом: рак прямой кишки – 59%, с диагнозом рак толстого кишечника – 41%. Пациентов с первой

стадий – 22%, со второй – 36%, с третьей – 23%, с четвертой – 19%. Средний возраст составил 66 ± 7 лет. Вторую составила 401 условно здоровая женщина без онкопатологии со средним возрастом 57 ± 6 лет. Сыворотки крови условно здоровых женщин получены в областном центре крови, а женщин с КРР в Кузбасском клиническом онкологическом диспансере г. Кемерово. Письменное согласие на забор периферической крови было получено от всех женщин, принимавших участие в исследовании, согласно установленным по Хельсинкской декларацией 2013 г. и утвержденным Приказом Минздрава РФ № 266 от 19.06.2003 этическим нормам.

Исследования проводились по методике неконкурентного иммуноферментного анализа. Уровни антител представлены в относительных единицах и рассчитаны по методике, указанной в предыдущей работе [9].

Статистический анализ результатов проводили с помощью программы Statistica 8.0 (StatSoftInc., USA). Ненормальность распределения данных подтверждали критерием Шапиро-Уилка. Статистически значимые различия между группами определяли с помощью U-критерия Манна-Уитни, log-регрессии и критерия χ^2 с поправкой Йейтса на непрерывность вариации, при уровне значимости $p < 0,05$. Для определения пороговых значений уровней АТ (cut-off) использовался ROC-анализ [11]. Ассоциации исследуемых IgA и IgG с КРР оценивали с помощью величины отношения шансов (OR) с доверительным интервалом (CI) при 95% уровне значимости.

Результаты и обсуждение

Не обнаружено статистически значимых различий по всем исследуемым канцерогенам между больными разных стадий опухолевого процесса у пациенток с КРР (данные не представлены). Так же с помощью множественной log-регрессии установили отсутствие зависимости уровней исследуемых антител и их индивидуальных соотношений от возраста во всех исследуемых группах (данные не представлены).

Статистически значимые различия были обнаружены между больными КРР и здоровыми женщинами. В сравниваемых группах были рассчитаны медианы уровней исследуемых антител и их индивидуальных соотношений, представлены в таблице 1.

Таблица 1

Медианы уровней IgA и IgG к Bp, Es и Pg и их соотношений у больных колоректальным раком (КРР) и здоровых женщин

Антитела, соотношения антител	Больные КРР N=219	Здоровые женщины N=401	p-value
	Me (Q ₂₅ -Q ₇₅)	Me (Q ₂₅ -Q ₇₅)	
IgA-Bp	4,47 (3-6)	2,35 (1,5-3,8)	<0,0001
IgA-Es	3,12 (2,1-4,9)	2,67 (1,6-4,2)	0,001
IgA-Pg	2,05 (1,3-3,1)	2,7 (1,6-4,5)	<0,0001
IgA-Bp/IgA-Es	1,39 (1,1-1,7)	0,92 (0,7-1,2)	<0,0001
IgA-Bp/IgA-Pg	1,97 (1,5-2,9)	0,88 (0,6-1,4)	<0,0001
IgA-Es/IgA-Pg	1,55 (1,3-2)	0,97 (0,7-1,4)	<0,0001
IgG-Bp	9,19 (5,4-14,1)	4,32 (2,7-7,0)	<0,0001
IgG-Es	6,83 (4,3-10,6)	5,36 (3,2-8,3)	0,001
IgG-Pg	4,06 (2,3-6,8)	4,1 (2,6-6,5)	0,58
IgG-Bp/IgG-Es	1,24 (1,0-1,6)	0,85 (0,6-1,1)	<0,0001
IgG-Bp/IgG-Pg	1,98 (1,5-2,8)	1,08 (0,7-1,6)	<0,0001
IgG-Es/IgG-Pg	1,58 (1,2-2,2)	1,31 (0,9-1,8)	<0,0001

У больных КРР медианы уровней IgA-Bp и IgG-Bp оказались статистически значимо выше по сравнению со здоровыми женщинами, что может являться свидетельством формирования аддуктов метаболитов Bp принимающих участие в канцерогенезе толстого кишечника [3, 4]. Медианы уровней IgA-Es и IgG-Es также оказались статистически значимо выше. В то же время уровни IgA-Pg ниже, чем у здоровых женщин, а для IgG-Pg достоверных различий обнаружено не было. Так как образование аддуктов метаболитов эндогенных стероидов с ДНК и другими макромолекулами организма при КРР не исследовалось, не представляется возможным сопоставить процесс индукции канцерогенеза под действием стероидных гормонов со специфическими иммунными реакциями на эти соединения.

Индивидуальные соотношения IgA-Bp/IgA-Es, IgA-Bp/IgA-Pg, IgA-Es/IgA-Pg, а также IgG-Bp/IgG-Es, IgG-Bp/IgG-Pg, IgG-Es/IgG-Pg у больных KPP превышали таковые в контрольной группе.

Используя ROC-анализ, рассчитаны пороговые значения уровней исследуемых антител и их индивидуальных соотношений, по которым больные KPP имели наиболее значимые различия со здоровыми женщинами: IgA-Bp=3, IgA-Es=3, IgA-Pg=2, IgA-Bp/IgA-Es=1, IgA-Bp/IgA-Pg=1,5, IgA-Es/IgA-Pg=1, IgG-Bp=7, IgG-Es=6, IgG-Pg=4, IgG-Bp/IgG-Es=1, IgG-Bp/IgG-Pg=1,5, IgG-Es/IgG-Pg=1,5.

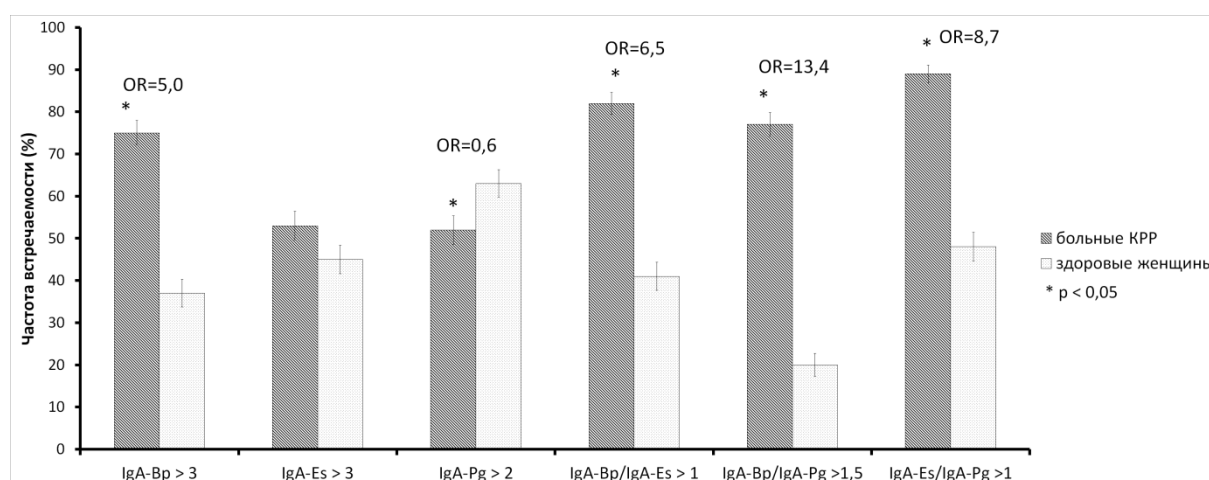


Рисунок 1. Частота встречаемости (%) высоких уровней IgA к Bp, Es, Pg и их соотношений у больных KPP и здоровых женщин

Значительное превышение рассчитанных значений у больных KPP по сравнению со здоровыми женщинами встречались для IgA-Bp (рис. 1). Частота встречаемости высоких значений IgA-Pg была выше у здоровых женщин, а IgA-Es достоверных отличий получено не было. При сравнении индивидуальных соотношений IgA-Bp/IgA-Es, IgA-Bp/IgA-Pg и IgA-Es/IgA-Pg частота встречаемости высоких уровней была выше у больных KPP по сравнению со здоровыми женщинами с высокой достоверностью ($p < 0,01$).

При сравнении частоты встречаемости IgG у женщин больных KPP и здоровых более высокие значения были выявлены для IgG-Bp, IgG-Es (рис. 2). Для IgG-Pg достоверных отличий получено не было. При сравнении индивидуальных соотношений IgG-Bp/IgG-Es, IgG-Bp/IgG-Pg и IgG-Es/IgG-Pg частота встречаемости высоких уровней была выше у

больных КРР по сравнению со здоровыми женщинами с высокой достоверностью ($p < 0,01$). Исходя из вышеуказанного, иммуноанализ антител и расчет их соотношений может служить маркером персонального риска возникновения КРР.

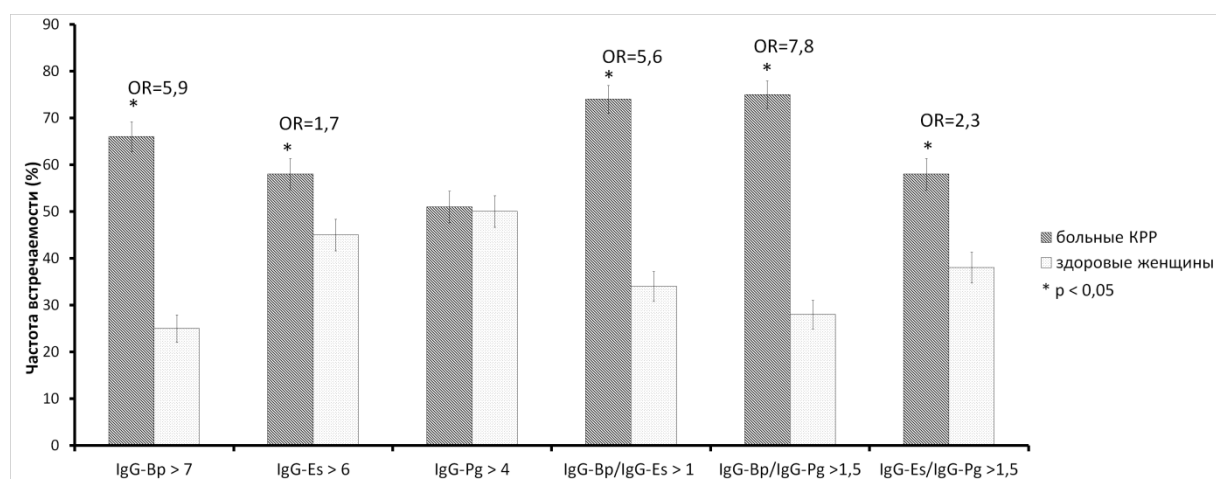


Рисунок 2. Частота встречаемости (%) высоких уровней IgG к Bp, Es, Pg и их соотношений у больных КРР и здоровых женщин

Наибольшие различия между группами в IgA были характерны для IgA-Bp/IgA-Pg $> 1,5$ с показателем OR=13,4, а при сравнении IgG для IgG-Bp/IgG-Pg $> 1,5$ с показателем OR=7,8.

Влияние исследуемых антител на образование злокачественных новообразований толстого кишечника изучено недостаточно. De Buck и соавторы в модельных экспериментах на монослое энтероцитов линии CaCo-2 показали, что антитела против Bp, имитирующие сывороточные антитела *in vivo* усиливают транспорт Bp и его метаболитов из просвета кишечника в кровяное русло [12]. Исходя из этого, можно предположить, что обнаруженные нами IgA-Bp, циркулирующие в сыворотке крови, способствуют проникновению Bp из пищи в клетки эпителия толстой кишки и образованию генотоксических метаболитов и, тем самым, стимулируют инициацию канцерогенеза.

Также показано, что при КРР Es и Pg играют протективную роль [13, 14]. При этом высокое содержание IgG-Es в сыворотке крови у здоровых женщин в постменопаузе коррелирует с повышением уровня IgG-Bp и содержанием Es в крови [15]. Механизмы иммуностимуляции

канцерогенеза толстого кишечника под действием антител требуют дополнительного изучения.

Заключение

На основании полученных данных появляется возможность разработать систему диагностики индивидуальных рисков возникновения КРР, используя иммуноанализ IgA и IgG к Bp, Es и Pg. Особую важность методика будет иметь для женщин, имеющих высокую канцерогенную нагрузку в повседневной жизни.

Список литературы

1. Злокачественные новообразования в России в 2019 году (заболеваемость и смертность). – М.: «Гельветика», МНИОИ им. П.А. Герцена, 2020.
2. Худолей, В.В. Канцерогены: характеристики, закономерности, механизмы действия. – Санкт-Петербург: НИИ Химии СПбГУ, 1990. – 419 с.
3. Leukocyte polycyclic aromatic hydrocarbon-DNA adduct formation and colorectal adenoma / M.J. Gunter, R.L. Divi, M. Kulldorff, R. Vermeulen R., K.J. Haverkos, M.M. Kuo, P. Strickland, M.C. Poirier, N. Rothman, R. Sinha // *Carcinogenesis*, 2007. – V. 28. – Issue 7. – P. 1426-1429.
4. Combined genotoxic effects of a polycyclic aromatic hydrocarbon (B(a)P) and an heterocyclic amine (PhIP) in relation to colorectal carcinogenesis. / E.L. Jamin, A. Riu, T. Douki, L. Debrauwer, J-P. Cravedi, D. Zalko, M. Audebert // *PLOS ONE*, 2013. – V. 8. – Issue 3.
5. Dietary fat-influenced development of colon neoplasia in Apc^{Min} mouse exposed to benzo(a)pyrene / D.L. Harris, M.K. Washington, D.B. Hood, L.J. Roberts II, A. Ramesh // *Toxicol Pathol*, 2009. – V. 37. – Issue 7. – P. 938-946.
6. Aromatic DNA adducts and breast cancer risk: a case-cohort study within the EPIC-Spain / A. Agudo, M. Peluso, A. Munnia, L. Luján-Barroso, A. Barricarte, P. Amiano, C. Navarro, M-J. Sánchez, J.R. Quirós, E. Ardanaz // *Carcinogenesis*, 2017. – V. 38. – Issue 7. – P. 691–698.
7. Santen, R.J. Estrogen metabolites and breast cancer. / R.J. Santen, W. Yue, J-P. Wang // *Steroids*. – 2015. – V. 99. – Part A. – P. 61-66.

8. Yu, F-L. 17 β -Estradiol epoxidation as the molecular basis for breast cancer initiation and prevention // Asia Pacific J Clin Nutr. – 2002. – V. 11. – P. 460–466.
9. Иммунологический дисбаланс при раке молочной железы и раке лёгкого у женщин в постменопаузе. / А.Н. Глушков, Е.Г. Поленок, Л.А. Гордеева, С.А. Мун, М.В. Костянко, А.В. Антонов, В.А. Титов, Н.Е. Вержбицкая, И.А. Вафин // Медицинская иммунология. – 2018. – Т. 20. – № 6. – С.139-146.
10. Индивидуальный иммунологический фенотип и гормональный баланс у женщин в постменопаузе / А.Н. Глушков, Е.Г. Поленок, С.А. Мун, Л.А. Гордеева, М.В. Костянко, В.А. Луценко, Г.И. Колпинский. // Российский иммунологический журнал. – 2020. – Т.23. – № 1. – С. 61-68.
11. Hajian-Tilaki K. Receiver Operating Characteristic (ROC) Curve Analysis for Medical Diagnostic Test Evaluation / Caspian J. Intern Med. – 2013. – V. 4. – P. 627-635.
12. De Buck, S.S. Specific antibody modulates absorptive transport and metabolic activation of benzo[a]pyrene across Caco-2 monolayers / S.S. De Buck, P. Augustijns, C.P. Muller // J. Pharmacol Exp. Ther. – 2005. – V. 313. – Issue 2. – P. 640-646.
13. Estrogen and gastrointestinal malignancy / A.M. Hogan, D. Collins, A.W. Baird, D.C. Winter // Mol. Cell. Endocrinol. – 2009. – V. 1. – Issue 307(1-2). – P. 19-24.
14. Estradiol and progesterone regulate proliferation and apoptosis in colon cancer / C.S. Sasso, F.E. Santiano, F.C.V. Arboccó, L.E. Zyla, S.N. Semino, M.E. Guerrero-Gimenez, V.P. Creydt, C.M.L. Fontana, R.W. Carón // Endocr. Connect. – 2019. – V. 8. – Issue 3. – P. 217-229.
15. Inversion of natural immuno-hormonal interactions under influence of antibodies against environmental chemical carcinogens / A.N. Glushkov, E.G. Polenok, S.A. Mun, L.A. Gordeeva. // Medical Hypotheses. – 2020. – V. 144. – P. 109981.
16. Rawlings, N.C. The active immunization of the cyclic ewe against an estrone protein conjugate / N.C. Rawlings, S.W. Kennedy, D.M. Henricks // Theriogenology. –1979. – V. 12. –№ 3. – P. 139-151.

Работа выполнена в лаборатории иммунохимии Института экологии человека ФИЦ УУХ СО РАН под руководством доктора медицинских наук, профессора А.Н. Глушкова.

**ПОЛУЧЕНИЕ РЕКОМБИНАНТНЫХ АНТИТЕЛ ПРОТИВ
ХИМИЧЕСКИХ КАНЦЕРОГЕНОВ И СТЕРОИДНЫХ ГОРМОНОВ
ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В ДИАГНОСТИКЕ РАКА**

**PRODUCTION OF RECOMBINANT ANTIBODIES AGAINST
CHEMICAL CARCINOGENS AND STEROID HORMONES
FOR USING IN CANCER DIAGNOSTICS**

*Арнст Кристина Владимировна, аспирант,
Лаборатория биотехнологии
Института экологии человека ФИЦ УУХ СО РАН*

*Kristina V. Arnst, graduate student, laboratory of biotechnology
FRC CCC SB RAS
E-mail: Arnstkv@ihe.Sbras.ru*

Аннотация: Онкологические заболевания занимают второе место среди заболеваний поражающих человеческий организм. 80-90% всех злокачественных новообразований появляются в результате действия химических канцерогенов. В зависимости от происхождения канцерогены делятся на две большие группы – экзогенные и эндогенные. Экзогенные канцерогены попадают в организм человека из окружающей среды. К таким соединениям относят полициклические ароматические углеводороды. К эндогенным канцерогенам можно отнести стероидные гормоны, которые могут участвовать в канцерогенезе при определенных условиях. Эндогенные и экзогенные факторы, воздействующие на организм человека невозможно извлечь из человеческой жизни. Одним из подходов для решения этой проблемы – использование идиотипических и антиидиотипических антител к канцерогенам в иммунодиагностике рисков возникновения онкозаболеваний. Целью данной работы было получение человеческих идиотипических рекомбинантных антител к антрацену и прогестерону и эстрадиолу. Для этого был проведен скрининг наивной фаговой библиотеки из лимфоцитов здоровых доноров при помощи

конъюгатов антрацена, прогестерона и эстрадиола с БСА. В общей сумме была выделена и проанализирована ДНК из 61 бактериального клона, кодирующих антитела.

Abstract: Oncological diseases occupy the second place among the diseases affecting the human body. 80-90% of all malignant neoplasms appear as a result of the action of chemical carcinogens. The carcinogens are divided into two large groups: exogenous and endogenous, depending on the origin. Exogenous carcinogens enter the human body from the environment. These compounds include polycyclic aromatic hydrocarbons. Endogenous carcinogens can be included steroid hormones that can be involved in carcinogenesis under certain conditions. Endogenous and exogenous factors affecting the human body cannot be extracted from human life. One of the approaches to solving this problem is using of idiotypic and anti-idiotypic antibodies against anthracene, progesterone and estradiol in immunodiagnostics of the risks of oncological diseases. The aim of this work was to obtain human idiotypic recombinant antibodies against anthracene, progesterone and estradiol. For this, a screening of a naïve phage library obtained from lymphocytes of healthy donors was carried out using conjugates of anthracene, progesterone and estradiol with BSA. In total, DNA was isolated and analyzed from 61 bacterial clones encoding antibodies.

Ключевые слова: антрацен, прогестерон, рак легких, идиотипические антитела, канцерогенез, иммунология.

Введение

Иммунная система человека играет важную роль в защите организма от внешнего воздействия разного рода патогенных факторов, одним из которых являются химические канцерогены. Ярким примером химических канцерогенов являются полициклические ароматические углеводороды (ПАУ) – обширный класс полициклических углеводородов, *состоящих из двух или более конденсированных бензольных колец* [1]. ПАУ представляют собой гидрофобные соединения с низкой растворимостью в воде, и их растворимость в воде и летучесть уменьшаются с увеличением их молекулярной массы [2]. Эти химические соединения являются широко распространенными загрязнителями окружающей среды, которые считаются побочными продуктами неполного сгорания органических материалов, таких как: уголь, газ, мусор, мясо, масло, табак и древесина, во время естественных или антропогенных процессов [1,3]. ПАУ –

токсичные вещества, устойчивые к разложению, и их воздействие может приводить к увеличению риска развития рака [4]. ПАУ включают в себя большое количество представителей, таких как: нафталин, аценафталин, аценафтен, флуорен, фенантрен, флуорантен, пирен, хризен, тетрафен, 3,4-бензфлуорантен, 11,12-бензфлуорантен, 3,4-бензпирен, 1,12-бензперилен, 2,3-о-фениленпирен, 1,2,5,6-дибензантрацен. Так же одним из представителей ПАУ является антрацен (Ac) [5].

Помимо воздействия из окружающей среды иммунная система человека сталкивается с эндогенным воздействием. Одним из таких примеров является при определенных условиях патогенность половых гормонов, которые близки по своему химическому строению с ПАУ. К настоящему времени представления о природе канцерогенного действия половых гормонов существенно расширились. Прогестерон – стероидный гормон, отвечающий за координацию женской репродуктивной системы [6]. Гормон по-разному влияет на репродуктивные ткани, а также на разные типы клеток в одной и той же ткани. Например, результаты крупных клинических испытаний вместе с данными на животных моделях предполагают, что прогестерон и его рецептор, способствуют развитию и росту рака груди и миомы матки, тогда как защитное действие прогестерона заключается в подавлении развития рака эндометрия, вызванного эстрогенами [7,8].

Материалы и методы

Использовали супрессорный штамм *E.coli* TG1 (K12, D(lac-pro), supE, thi, hsdD5/F' traD36, proA+B+, lacIq, lacZDM15) и несупрессорный штамм *E.coli* HB2151 (K12, ara, D(lac-pro), thi/F' proA+B+, lacIq, lacZDM15); Наивная комбинаторная библиотека генов scFv человека в бактериофаге M13 [9].

Скрининг фаговой библиотеки

Для получения фагового репертуара клетки TG1 вносили в 100 мл YTx2, содержащим 100 мкг/мл ампициллина и 1% глюкозу, инкубировали при 37⁰С до OD600=0,5. Экспоненциально растущую бактериальную культуру инфицировали бактериофагом M13 (фаговая библиотека одноцепочечных антител человека). И инкубировали 30 минут при 37⁰С. Затем проводили центрифугирование при 3300g 20 минут. Осадок ресуспендировали в 5 мл среды YTx2 и вносили в 250 мл среды YTx2, растили час при 30⁰С. Через час добавили 100 мкг/мл ампициллина

и 50 мкг/мл канамицина. Клетки инкубировали в течение ночи при постоянном покачивании при 30⁰С. На следующий день клетки осаждали центрифугированием при 3200 об/мин 30 минут. К супернатанту добавляли 20% PEG-6000, хорошо перемешивали и инкубировали на льду один час. Культуру центрифугировали при 10800 об/мин 30. Осадок растворяли в 40 мл H₂O и 20% PEG-6000, инкубировали на льду 20 мин. Культуру центрифугировали при 10800 об/мин 30. Осадки растворяли в 1 мл PBS инкубировали ночь при 4⁰С.

Для получения АГ было проведено три раунда скрининга наивной фаговой библиотеки человека. Полистироловый планшет сенсibilизировали АГ 50 мкг/мл (для получения АГ к Ас использовали Ас-BSA, для получения АГ к Рg использовали Рg-BSA, для получения АГ к Е2 использовали Е2-BSA). Инкубировали ночь при 4⁰С. На следующий день АГ удаляли и промывали лунки PBS три раза, места неспецифического связывания насыщали BSA 0,5%, 0,2% Твин-20 в PBS в течение 2 часов при 37⁰С покачивании. После инкубации лунки промывали как описано выше и добавляли 1011 БОЕ фаговой библиотеки в 100 мл раствора 0,1% Твин-20 в PBS. Библиотеку инкубировали час при 37⁰С с постоянным покачиванием. После инкубации лунки планшета промывали 10 раз раствором 0,1% Твин-20 в PBS. Триэтиламином проводили элюцию бактериофагов. Его добавляли в лунки по 100 мкл в концентрации 100 mM и инкубировали при комнатной температура 10 мин. Элюированные клетки втирали в чашку, содержащую 100 мкг/мл ампициллина. Чашки растили ночь при 36⁰С. На следующий день на чашку добавляли 1-2 мл YTx2 и собрали колонии шпателем. Клетки перенесли в среду YTx2, содержащую 100 мкг/мл ампициллина и 1% глюкозу. Инкубировали без покачивания 30 мин при 37⁰С. Далее наращивали культуру с покачиванием до OD₆₀₀ = 0,6 при 37⁰С. После чего инфицировали культуру фагом-помощником M13K07 и добавили канамицин 50 мкг/мл. Клетки инкубировали в течение ночи при постоянном покачивании при 30⁰С. На этом заканчивается первый раунд, второй и последующие идут по аналогичной схеме. Выход фаговых частиц составил приблизительно 1011-1013 БОЕ/мл. Супернатант тестировали на связывание с АГ при помощи иммуноферментного анализа.

Выделение антител и дальнейшая проверка

ДНК в оригинальной плазмиде, кодирующей АГ с 6xHis, была экспрессирована в *E.coli* (штамм HB2151) и белки выделяли на Ni-

сефарозе. Далее для проверки связывания АТ и АГ будет проведен ИФА, где в качестве антигена будет использоваться конъюгат Ас-BSA, Pg-BSA и E2- BSA.

Результаты

В ходе проделанной работы был произведен скрининг наивной фаговой библиотеки человека с использованием конъюгата Ас-BSA и Pg-BSA, E2- BSA.

Суммарно было выделено ДНК 61 клона, 14 из которых кодировали АТ1 к Pg, 30 – АТ1 к Ас и 11 к E2. Вся выделенная ДНК была проанализирована и для дальнейшей работы на этом этапе были выбраны клоны: F2 (АТ1 к Ас); и D3 (АТ1 к Pg); 119, 174, B3 (АТ1 к E2).

Заключение

В ходе проделанной работы был осуществлен скрининг человеческой наивной комбинаторной библиотеки [10,11] генов scFv из лейкоцитов здоровых людей с использованием Ас-BSA, Pg-BSA и E2-BSA с целью получения идиотипического антитела к антрацену, прогестерону и эстрадиолу. Была выделена ДНК из бактериальных клонов, кодирующая антитела к Ас, Pg и E2. Все образцы ДНК были просеквенированы. Антитела были экспрессированы с 6xHis хвостом. Затем проводили аффинную очистку белков с использованием сефарозы, содержащей двухвалентные ионы никеля (Ni^{2+}). Для проверки связывания АТ с АГ в дальнейшем будет проводиться ИФА. Полученные АТ могут найти применение не только в разработке методов иммунодиагностики, но и в создании новых подходов ранней диагностики и иммунопрофилактики рака у человека.

Список литературы

1. Cai, Y. Preparation of naphthyl functionalized magnetic nanoparticles for extraction of polycyclic aromatic hydrocarbons from river waters / Y. Cai, et al. // RSC Adv. – 2015. – 5. – P. 56189-56197.
2. Pérez, R. A. Determination of PAHs in soil leachates by magnetic solid-phase extraction using nanoparticles and gas chromatography-tandem mass spectrometry / R. A. Pérez, et al. // Anal. Methods. – 2014. – 6. – P. 1941-1950.
3. Zhang, X. Ultrahigh performance liquid chromatographic analysis and magnetic preconcentration of polycyclic aromatic hydrocarbons by Fe₃O₄-

doped polymeric nanoparticles / X. Zhang, et al. // J. Chromatogr. – 2012. – 1247. – P. 1-9.

4. Boffetta, P. Cancer risk from occupational and environmental exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons / P. Boffetta, N. Jourenkova, P. Gustavsson // Cancer Causes Control. – 1997. – 8. – P. 444-472.

5. Moorthy, B. Polycyclic aromatic hydrocarbons: from metabolism to lung cancer / B. Moorthy, C. Chu, D. J. Carlin // Environ Manage. – 2017 – Oct;60(4):758-783. – doi: 10.1007/s00267-017-0896-2. – Epub 2017. – Jun 1.

6. Lee, K. Molecular mechanisms involved in progesterone receptor regulation of uterine function / K. Lee, et al. // J Steroid Biochem Mol Biol. – 102 – P. 41-50.

7. Donnez, J. Ulipristal acetate versus placebo for fibroid treatment before surgery / J. Donnez, et al. // N Engl J Med. – 2012. – 366 – P. 409-420.

8. Ishikawa, H. Progesterone is essential for maintenance and growth of uterine leiomyoma. / H. Ishikawa, et al. // Endocrinology. – 2010. – 151. – P. 2433-2442.

9. Batanova, T. A. Construction and characterization of combinatorial naive phage library of human scFvs / T. A. Batanova, A. B. Ulitin, V. V. Morozova // Mol Gen Mikrobiol Virusol. – 2006. – 3. – P. 35-41.

10. Ustinov, V. A. Generation and Characterization of Human Single-Chain Antibodies Against Polycyclic Aromatic Hydrocarbons / V. A. Ustinov, et al. // Immunological Investigations. – 2015. – 44. – P. 536-552.

11. Arnst, K. V. Isolation, production and characterization of a new single chain anti-idiotypic antibody against benzo[a]pyrene / K. V. Arnst, et al. // Journal of Immunoassay and Immunochemistry. – 2017. – 38(6). – P. 652-662.

Работа выполнена в лаборатории биотехнологий Института экологии человека ФИЦ УУХ СО РАН под руководством кандидата биологических наук В.А. Устинова.

**АНАЛИЗ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ ЭКСПРЕССИИ ГЕНОВ
ИММУННОГО ОТВЕТА У БОЛЬНЫХ РАКОМ ЛЁГКОГО**

**ANALYSIS OF IMMUNE RESPONSE GENES DIFFERENTIAL
EXPRESSION IN LUNG CANCER PATIENTS**

*Буслаев Владислав Юрьевич, аспирант, Лаборатория цитогенетики
Института экологии человека ФИЦ УУХ СО РАН*

*Vladislav Yu. Buslaev, third-year Ph.D. student, laboratory of cytogenetics
of Institute of Human Ecology of FRC CCC SB RAS
E-mail: vladislasbus2358@yandex.ru*

Аннотация: Кемеровская область – Кузбасс относится к наиболее промышленно развитым регионам России. Наличие крупных предприятий обуславливает развитие неблагоприятных экологических условий. Последовательное накопление поллютантов в атмосферном воздухе приводит к формированию заболеваний легочной системы. При этом регистрируются высокие показатели распространенности рака лёгкого, который является агрессивной и высоколетальной патологией. В этой связи исследования механизмов чувствительности к поллютантам, а также предрасположенности к развитию злокачественной трансформации имеют большую актуальность. Перспективным направлением является раскрытие молекулярно-генетической структуры заболеваний данной группы. Главным образом это становится возможным с применением новых высокопроизводительных методов молекулярной биологии. Транскриптомный анализ позволяет получить информацию об изменении экспрессии большого числа генов при развитии злокачественной трансформации. В результате исследования транскриптома пациентов с раком лёгкого (жители Кемеровской области) была отмечена пониженная экспрессия генов иммунного ответа, которые в перспективе могут рассматриваться как потенциальные биомаркеры патологии. В качестве основного метода был использован одноцветный микроматричный анализ. Подобный подход позволяет разработать новые инструменты для

диагностики и сформировать гипотезы предрасположенности к заболеванию. Усиление патологических состояний, вероятно, происходит по причине нарушения механизмов резистентности организма.

Abstract: Kemerovo oblast (Kuzbass) is one the most industrially developed regions in Russia. Presence of huge manufacturing plants determines development of poor ecological conditions. Sequential accumulation of pollutants in atmosphere leads to development of lung system disorders. High rates of lung cancer prevalence which is aggressive and highly lethal pathology have been registered among region residents. Accordingly to that investigation of sensitivity mechanisms against pollutants or predisposition to malignant transformation is actual. Revealing of molecular and genetical structure of such disorders becomes perspective. Mainly it becomes possible via application of high-throughput methods of molecular biology. Transcriptome analysis allows to get information about alterations of expression of many genes during malignant transformation development. As a result of lung cancer patients transcriptome survey (Kemerovo region residents) decreased expression of immune response genes which are can used as potential biomarkers of pathology was established. One-color microarray analysis was used as an essential method. Such approach allows to provide new tools for diagnostics and to develop basis to make hypothesis for predisposition to this disease. Increasement of pathological conditions probably occurs due to disruption of organism's resistance mechanisms.

Ключевые слова: экологические условия, рак лёгкого, транскриптом, экспрессия генов, иммунный ответ.

Keywords: ecological conditions, lung cancer, transcriptome, gene expression, immune response.

Введение

Согласно данным международных медицинских организаций рак лёгкого (РЛ) занимает первое место в мире среди злокачественных патологий по показателям смертности и заболеваемости. По состоянию на 2018 год Международная организация исследований рака (IARC) зарегистрировала 2093876 случаев РЛ в 2018 году, что составляло 11,6% от всех онкологических патологий [1]. В этом же году было выявлено 1761007 смертей, для 18,4% из них было отмечено равное количество для мужчин и женщин. Европейская информационная система (ECIS) определила наибольший уровень заболеваемости и смертности для мужчин [2]. РЛ характеризуется наличием разных гистопатологических

типов: мелкоклеточной и немелкоклеточной форм. Немелкоклеточная форма является наиболее распространенной и дополнительно подразделяется на аденокарциному лёгкого, плоскоклеточный и крупноклеточный рак. Легочная аденокарцинома составляет примерно 40% от всех зарегистрированных случаев РЛ [3]. В настоящее время определены возможные факторы риска развития данной патологии: употребление табачных изделий, действие факторов внешней среды, а также особенности питания [4].

Кемеровская область–Кузбасс – промышленный регион в юго-западной Сибири с наличием угольных и химических предприятий. Угольная отрасль является наиболее развитой, оказывающей значительное влияние на экологические условия проживания. В частности угольная пыль – источник канцерогенных веществ, оказывающих негативное влияние на здоровье организма. Наибольшая опасность представлена в случае сжигания угля в домашних условиях, а также при его добыче. Использование открытого способа добычи способствует распространению угольной пыли в населенных пунктах. Активными вторичными канцерогенами являются полициклические ароматические углеводороды (ПАУ), которые могут связываться с ДНК и инициировать возникновение мутаций. Деструктивными эффектами относительно генома также обладает ионизирующее излучение, источником которого является инертный газ радон [5]. Последовательное накопление повреждений в ДНК нарушает её репликацию [6]. Совокупное действие неблагоприятных факторов окружающей среды способствует развитию патологий легочной системы среди населения. В частности РЛ является серьёзной проблемой для жителей Кемеровской области [7].

С целью снижения показателей заболеваемости необходимо разрабатывать систему оценки индивидуального риска к развитию РЛ. В данном направлении активно развиваются генетические исследования, позволяющие определить вклад полиморфных вариантов генов в увеличение предрасположенности к патологии. Таким образом, гены репарации ДНК были определены в качестве значимых молекулярных маркеров риска генотоксического стресса у работников угольной отрасли [8]. Подобные задачи также могут быть решены с применением методов классической цитогенетики [9]. Значительный прогресс при изучении молекулярно-генетической структуры различных заболеваний был осуществлен при развитии новых высокопроизводительных технологий.

Транскриптомный анализ на основе материала тотальной РНК клеток позволяет оценить изменение экспрессии разных групп генов [10]. Динамично развивается группа методов, связанных с секвенированием РНК (RNA-seq), сочетающие в себе разные способы анализа транскриптов [11]. Технологии микроматричного анализа также могут использоваться с целью профилирования транскриптома различных клеточных популяций [12]. Результатом подобных исследований является информация о группах дифференциально-экспрессирующихся генов. Гены с пониженной экспрессией, вероятно, могут выступать в качестве потенциальных биомаркеров развития патологии. Для изучения молекулярно-генетических механизмов развития РЛ у жителей Кемеровской области был проведен анализ транскриптома клеток периферической крови.

Цель исследования

Изучение дифференциальной экспрессии генов иммунного ответа у больных раком легкого на основе данных экспериментального изучения транскриптома с помощью микрочипов.

Материалы и методы

В качестве материала для исследования были использованы образцы мононуклеаров периферической крови, отобранных у 7 пациентов с наличием РЛ и у 8 здоровых доноров (жители Кемеровской области). Цельная периферическая кровь на начальном этапе отбиралась для выделения РНК с использованием реагента Trizol (Invitrogen, США). Целостность и качество выделенной РНК оценивалась при применении автоматизированной электрофоретической системы Agilent Bioanalyzer (Agilent Technologies, США). Показатели RIN (RNA integrity number) использовались для оценки качества выделенной РНК. Далее на матрице стабильных молекул РНК синтезировалась комплементарная ДНК (кДНК), а затем кРНК с помощью набора реактивов «T7 Primer Mix» (Merck, Германия). Метод одноцветного микроматричного анализа был использован для изучения особенностей экспрессии различных групп генов. В данном случае анализ осуществлялся на микрочипах «SurePrint G3 Human Gene Expression 8×60K Microarray Kit» с последующей детекцией флуоресцентного сигнала на сканере «SureScan Microarray Scanner». Анализ и визуализация сигнала проводилась в программе «Feature Extraction v.12.0» (Agilent Technologies, США).

Для интерпретации результатов транскриптомного исследования проводился групповой анализ дифференциальной экспрессии генов. В частности функциональный анализ обогащения генов (GSEA) использовался для идентификации генов, которые характеризовались наибольшей представленностью и имели значимую связь с проявлением заболевания. С этой целью использовались возможности программы WebGestalt, специализирующейся на подробном анализе геномных и транскриптомных данных. В качестве референсного стандарта использовались базы данных биологической информации: Gene Ontology, KEGG и Reactome.

Результаты и их обсуждение

В результате микроматричного анализа транскриптома был получен большой набор данных и проведена аннотация результатов с помощью ресурсов Gene Ontology, KEGG и Reactome. В ходе процессинга полученных данных было определено, что гены иммунного ответа имели высокий уровень функционального обогащения у пациентов с РЛ.

Так, при работе с базой данных Gene Ontology были идентифицированы компоненты врожденного и специфического иммунитета (табл. 1). В частности, были установлены факторы системы комплемента (*C5AR1*), провоспалительные цитокины и их рецепторы (*CXCL8*, *IL6R*), а также гены рецепторов к фрагментам иммуноглобулинов (*FCGR2A*, *FCGR2C*, *FCGR2B*). Некоторые из экспрессирующихся последовательностей были определены как псевдогены (*FCGR2B*, *FCGR2C*).

Анализ результатов с использованием базы данных KEGG также позволил установить пониженную экспрессию генов иммуноглобулиновых рецепторов (табл. 2). Кроме того, среди факторов иммунитета были определены гены, продукты которых обеспечивают резистентность организма к туберкулёзной инфекции (*ATP6V0B*, *MAPK14*, *ITGAX*, *CORO1A*).

Таблица 1

Гены иммунного ответа у пациентов с РЛ (по данным Gene Ontology)

Ген	Описание	Entrez ID
<i>C5AR1</i>	Рецептор к компоненту комплемента C5A	728
<i>FCGR2A</i>	Иммуноглобулиновый рецептор к Fc-фрагменту IgG (IIa)	2212
<i>FCGR2C</i>	Иммуноглобулиновый рецептор к Fc-фрагменту IgG (IIc)	9103
<i>CXCL8</i>	Интерлейкин 8	3576
<i>FCGR2B</i>	Иммуноглобулиновый рецептор к Fc-фрагменту IgG (IIb)	2213
<i>IL6R</i>	Рецептор к интерлейкину 6	3570

Таблица 2

Гены иммунного ответа у пациентов с РЛ (KEGG)

Ген	Описание	Entrez ID
<i>FCGR2A</i>	Иммуноглобулиновый рецептор к Fc-фрагменту IgG (IIa)	2212
<i>FCGR2C</i>	Иммуноглобулиновый рецептор к Fc-фрагменту IgG (IIc)	9103
<i>ATP6V0B</i>	АТФ-фаза H ⁺	533
<i>FCGR2B</i>	Иммуноглобулиновый рецептор к Fc-фрагменту IgG (IIb)	2213
<i>MAPK14</i>	Митоген-активирующая протеинкиназа 14	1432
<i>ITGAX</i>	Субъединица альфа X интегрина	3687
<i>CORO1A</i>	Коронин 1A	11151

Ресурсы базы данных Reactome позволили установить дисрегуляцию нескольких генных кластеров, вовлеченных в механизмы функционирования иммунной системы организма. Среди них были представлены группы генов, контролирующие дегрануляцию

нейтрофилов, регуляцию активации врождённого иммунного ответа, а также резистентность организма к бактериальной инфекции (табл. 3).

Таблица 3

Кластеры генов иммунного ответа у пациентов с РЛ
(по данным Reactome)

Набор генов	Описание
R-HSA-6798695	Дегрануляция нейтрофилов
R-HSA-168249	Компоненты врождённого иммунитета

Ген *C5AR1* находится на длинном плече 19-ой хромосомы (19q13.32) и кодирует рецептор к компоненту комплемента C5a. Было исследовано влияние факторов C5a/C5AR1 на развитие метастазов при немелкоклеточном РЛ. Подавление экспрессии рецептора C5AR1 способствовало снижению метастатических состояний в костях [13]. Кроме того, данное явление также было сопряжено со сниженным уровнем синтеза внутриклеточных C5 и CXCL8 – важных провоспалительных факторов. Особенности взаимодействий между C5a и C5AR1, таким образом, могут влиять на развитие патологических состояний, ассоциированных с РЛ.

Ген *IL6R* (1q21.3) кодирует цитокиновый рецептор 1-ого типа, специфичный к ИЛ-6. В составе опухолей легочной аденокарциномы была отмечена его повышенная экспрессия [14]. В этом же исследовании при использовании моделей лабораторных животных Т-регуляторные клетки в составе опухолей, характеризовались понижением экспрессии *IL6R*. Проведение GSEA-анализа с использованием ресурсов баз данных TCGA, KEGG и Gene Ontology позволило определить ассоциацию сниженной экспрессии гена *IL6R* с неблагоприятным прогнозом у пациентов с аденокарциномой лёгкого [15]. ИЛ-6 является лигандом данного рецептора и также активно рассматривается как потенциальный маркер РЛ. Была установлена взаимосвязь между системной повышенной экспрессией данного фактора и понижением выживаемости пациентов с немелкоклеточной формой РЛ [16]. Прогрессирование немелкоклеточной формы РЛ также может усиливаться при увеличении уровня экспрессии ИЛ-6 под действием 17β эстрадиола [17].

ИЛ-23 является гетеродимерным цитокином, который состоит из двух субъединиц (ИЛ-12В и ИЛ-23А). ИЛ-12В (5q33.3) дополнительно является субъединицей цитокина ИЛ-12, воздействующего на Т-лимфоциты и натуральные киллеры. ИЛ-23 продуцируется макрофагами и дендритными клетками, участвует в регуляции и поддержании численности Т-хэлперных клеток 17-ого типа (Th-17). ИЛ-23 в составе клеток лёгкого у пациентов с РЛ участвует в развитии опухолеобразования [18]. Продукция ИЛ-23 способствует активной пролиферации клеток опухолей, опосредованной действием ИЛ-17.

ИЛ-8 кодируется геном *CXCL8* (14q13.3) и относится к хемокинам, продуцируемым макрофагами и другими клетками. CXCR1 и CXCR2 являются специфическими рецепторами к ИЛ-8, ассоциированными с G-белком. Была установлена роль взаимодействий лиганд-рецептор (*CXCL8/CXCR1,2*) при иммунотерапии онкологических заболеваний [19]. Блокировка рецепторов, специфичных к ИЛ-8, проявляет значимые противоопухолевые эффекты. Так как ИЛ-8 относится к провоспалительным цитокинам, он способствует активной пролиферации и миграции опухолевых клеток. Он был определен в качестве важного фактора роста для клеток РЛ [20]. Для снижения подобных эффектов проводится подбор потенциальных антагонистов к цитокину. На примере легочной аденокарциномы было показано, что белок DACH1 работает как антагонист к ИЛ-8 и увеличивает выживаемость пациентов [21].

FCGR2A – иммуноглобулиновый рецептор к Fc-фрагменту IgG с низким уровнем аффинности (1q23.3). Данный компонент вовлечен в развитие иммунологических и провоспалительных реакций в организме человека. В настоящее время активно исследуется его возможный прогностический потенциал относительно формирования РЛ. Полиморфный вариант гена *FCGR2A* (rs1801274) был исследован для оценки риска развития РЛ, G-аллель был ассоциирован с его повышением [22]. FCGR2B (1q23.3) участвует в фагоцитозе и регуляции продуцирования антител В-клетками. Существуют две основных формы данного белка (FCGR2B1 и FCGR2B2), которые формируются в результате специфического сплайсинга мРНК. Дефицит синтеза FCGR2B приводит к активной инфильтрации В-клеток в опухоль и снижению развития патологических состояний [23]. Ген *FCGR2C* кодирует один из вариантов иммуноглобулиновых рецепторов к Fc-фрагменту IgG (FCGR2C). Его разные полиморфные варианты обуславливают формирование белок-

кодирующей или некодирующей формы (псевдогена). Вариант (C<T, rs759550323) гена *FCGR2C* может модулировать ход иммунотерапии у онкологических пациентов [24].

МАРК14 (6p21.31) вовлечён во многие сигнальные биологические пути: клеточную пролиферацию, дифференцировку и регуляцию транскрипции. Ассоциированный с МАРК-киназами сигнальный путь участвует в экспрессии белков программируемой клеточной смерти (PD-L1) в составе клеток легочной аденокарциномы [25]. МАРК-киназная активность может селективно подавлять синтез фактора ASCL1 и снижать развитие мелкоклеточной формы РЛ [26]. Фактор МАРК14 активируется при участии многих внешних стимулов и выполняет важные функции для репарации ДНК. На примере почечной карциномы было отмечено понижение пролиферативной активности раковых клеток после ингибирования МАРК14 [27]. Исследовано влияние специфических полиморфных вариантов гена МАРК14 на особенности химиотерапии у пациентов с немелкоклеточным РЛ [28]. rs3804451 гена *МАРК14* был ассоциирован с повышенной токсичностью химиотерапии относительно ЖКТ.

АТР6V0В (1p34.1) является компонентом АТФ-азы, которая обеспечивает окисление внутриклеточных органелл эукариотических клеток. Данный белок представляет собой субъединицу С, особенности её экспрессии в организме могут влиять на развитие онкологических патологий. Был зафиксирован повышенный синтез фактора АТР6V0В в образцах эзофагиальной карциномы при сопоставлении с нормой [29]. Ген *ITGAX* находится на 16-ой хромосоме (16p11.2) и кодирует интегриновый белок CD11c. Он характеризуется повышенной экспрессией у большинства дендритных клеток, а также в макрофагах, моноцитах, нейтрофилах и некоторых В-клетках. Была отмечена важная роль CD11c-положительных дендритных клеток в развитии противоопухолевого иммунитета у больных немелкоклеточной формой РЛ [30]. *Coronin-1A* (16p11.20) участвует в Т-клеточном иммунитете, а также апоптозе, опосредованном митохондриями. Определённые белки семейства *Coronin* могут быть задействованы в канцерогенезе [31]. *CORO1C* может способствовать развитию метастазов колоректального рака через сигнальный путь PIK3/AKT [32]. В то же время данный белок снижает развитие метастатических процессов через регуляцию секреции везикул [33].

Заключение

В настоящее время вопрос предрасположенности к онкологическим заболеваниям в условиях неблагоприятной экологической обстановки является актуальным. В данном исследовании при проведении микроматричного анализа транскриптома были раскрыты некоторые возможные механизмы формирования рака лёгкого у жителей Кемеровской области. В частности, группа генов иммунологического ответа характеризовалась высокой ассоциацией с проявлением патологии. В данном случае понижение экспрессии факторов иммунитета способствовало нарушению механизмов резистентности организма. Использование моноклеаров периферической крови позволило провести подробную характеристику изменений в организме при патогенезе.

Список литературы

1. World Health Organization. Globocan 2018 -International Agency for Research on Cancer. [electronic source] // Cancer Today. – 2020. – Access: <https://gco.iarc.fr/today/data/factsheets/cancers/15-Lung-fact-sheet.pdf>. – [28.03. 2022].
2. ECIS. ECIS – European Cancer Information System. [electronic source] // – 2021. – Access: <https://ecis.jrc.ec.europa.eu>. – [28.03. 2022].
3. Zappa, C. Non-small cell lung cancer: current treatment and future advances / C. Zappa, S.A. Mousa. – Transl Lung Cancer Res. – 2016. – P.288.
4. Fruits and Vegetables and Lung Cancer Risk in Never Smokers. A Multicentric and Pooled Case-Control Study / J.A. García-Lavandeira [et al.]. – Nutrition and Cancer. – 2022. – P.613.
5. Assessing the level of chromosome aberrations in peripheral blood lymphocytes in long-term resident children under conditions of high exposure to radon and its decay products / V.G.Druzhinin [et al.]. – MUTAGE. – 2015. – P.677.
6. Hisamuddin, N. Children's exposure to polycyclic aromatic hydrocarbon (PAHs): a review on urinary 1-hydroxypyrene and associated health effects / N.H. Hisamuddin, J.Jalaludin. – Reviews on Environmental Health. – 2022.
7. Заболеваемость населения Кемеровской области раком лёгкого и раком желудка с 1996 г. по 2015 г / С.А Ларин [и др.] // Медицина в Кузбассе. – 2017. – 14 с.

8. Association of DNA repair gene polymorphisms with genotoxic stress in underground coal miners / M.Yu. Sinitsky [et al.]. – *Mutagenesis*. – 2017. – P. 501.
9. Assessment of DNA damage in underground coal miners using the cytokinesis-block micronucleus assay in peripheral blood lymphocytes / M.Yu Sinitsky [et al.] // *Mutagenesis*. – 2016. – P.669.
10. Wolf, J.B.W. Principles of transcriptome analysis and gene expression quantification: an RNA -seq tutorial / *Mol Ecol Resour*. – 2013. – V.13. – P. 559.
11. A survey of best practices for RNA-seq data analysis / A. Conesa [et al.]. // *Genome Biol*. – 2016. – P. 13.
12. Microarray Data Analysis for Transcriptome Profiling / M.Sun [et al.]. // *Methods in Molecular Biology*. – 2018. – P.17.
13. Blockade of the Complement C5a/C5aR1 Axis Impairs Lung Cancer Bone Metastasis by CXCL16-mediated Effects / D.Ajona [et al.]. – *Am J Respir Crit Care Med*. – 2018. – P. 1164.
14. Increased expression of the Th17-IL-6R/pSTAT3/BATF/RoryT-axis in the tumoural region of adenocarcinoma as compared to squamous cell carcinoma of the lung / L.Balabko [et al.]. – *Sci Rep*. – 2015. – P. 7396.
15. Low expression of IL6R predicts poor prognosis for lung adenocarcinoma / G.Sun [et al.]. – *Ann Transl Med*. – 2021. – P.1057.
16. High systemic IL-6 is associated with worse prognosis in patients with non-small cell lung cancer / E.M. Silva [et al.] // *PLoS ONE*. – 2017. – P. 0181125.
17. 17 β -estradiol upregulates IL6 expression through the ER β pathway to promote lung adenocarcinoma progression / Q.Huang [et al.] // *J Exp Clin Cancer Res*. – 2018. – P. 133.
18. IL23-Producing Human Lung Cancer Cells Promote Tumor Growth via Conversion of Innate Lymphoid Cell 1 (ILC1) into ILC3 / J. Koh [et al.] // *Clin Cancer Re*. – 2019. – P. 4026.
19. Roles of the CXCL8-CXCR1/2 Axis in the Tumor Microenvironment and Immunotherapy / Z.J. Han [et al.] // *Molecules*. – 2021. – P. 137.
20. Interleukin-8/CXCL8 is a growth factor for human lung cancer cells / Y.M Zhu [et al.] // *Br J Cancer*. – 2004. – P. 1970.
21. DACH1 antagonizes CXCL8 to repress tumorigenesis of lung adenocarcinoma and improve prognosis / Q.Liu [et al.] // *J Hematol Oncol*. – 2018. – P. 53.

22. Genetic polymorphisms of FCGR2A, ORAI1 and CD40 are associated with risk of lung cancer / J.He [et al.] // European Journal of Cancer Prevention. – 2022. – P. 7.
23. FcγRIIB is a T cell checkpoint in antitumor immunity / C.R. Farley [et al.] // JCI Insight. – 2021. – P. 135623.
24. FCGR Polymorphisms Influence Response to IL2 in Metastatic Renal Cell Carcinoma / A.K Erbe [et al.] // Clin Cancer Res. – 2017. – P. 2159.
25. MAPK pathway activity plays a key role in PD-L1 expression of lung adenocarcinoma cells / T.S. Stutvoet [et al.] // J Pathol. – 2019. – P. 52.
26. MAPK pathway activation selectively inhibits ASCL1-driven small cell lung cancer / R.Caesar [et al.] // iScience. – 2021. – P. 103224.
27. Knockdown of MAPK14 inhibits the proliferation and migration of clear cell renal cell carcinoma by downregulating the expression of CDC25B / J.Liu [et al.] // Cancer Med. – 2020. – P. 1183.
28. Genetic variants of *GADD45A*, *GADD45B* and *MAPK14* predict platinum-based chemotherapy-induced toxicities in Chinese patients with non-small cell lung cancer / M.Jia [et al.] // Oncotarget. – 2016. – P. 25291.
29. Multi-cancer V-ATPase molecular signatures: A distinctive balance of subunit C isoforms in esophageal carcinoma / J.Couto-Vieira [et al.] // EBioMedicine. – 2020. – P. 102581.
30. CD11c-and CD123-positive dendritic cells in development of antitumour immunity in non-small cell lung cancer patients / P.Minkov [et al.] // *pjp*. – 2019. – P. 109.
31. Molecular Pathogenesis of the Coronin Family: CORO2A Facilitates Migration and Invasion Abilities in Oral Squamous Cell Carcinoma / I.Kase-Kato [et al.] // IJMS. – 2021. – P. 12684.
32. CORO1C is Associated With Poor Prognosis and Promotes Metastasis Through PI3K/AKT Pathway in Colorectal Cancer / Z.Wang [et al.] // Front Mol Biosci. – 2021. – P. 682594.
33. Coronin 1C inhibits melanoma metastasis through regulation of MT1-MMP-containing extracellular vesicle secretion / A.C. Tagliatela [et al.] // Sci Rep. – 2020. – P. 11958.

Работа выполнена в Лаборатории цитогенетики Института экологии человека ФИЦ УУХ СО РАН под руководством доктора биологических наук, доцента, главного научного сотрудника. В.И.Мининой.

ГЕНЕТИЧЕСКИЕ ВАРИАНТЫ TGF β 1 И ВОСПРИИМЧИВОСТЬ К ПНЕВМОКОНИОЗУ: ОБЗОР ДАННЫХ ЛИТЕРАТУРЫ

ASSOCIATION BETWEEN GENETIC VARIANTS OF TRANSFORMING GROWTH FACTOR-B1 AND SUSCEPTIBILITY OF PNEUMOCONIOSIS

*Ермаков Владислав Сергеевич аспирант, Лаборатория цитогенетики,
Институт экологии человека ФИЦ УУХ СО РАН*

*Ermakov V.S., first-year postgraduate student of laboratory of cytogenetics
of Institute of Human Ecology of FRC CCC SB RAS
E-mail: ermakov.vladislav97@mail*

Аннотация: Варианты гена трансформирующего фактора роста – бета 1 (TGF- β 1) широко изучены при различных заболеваниях человека. Например, полиморфизм *TGF- β 1* изучался в связи с фиброзом и пневмокониозом, но результаты остаются противоречивыми. Целью данного анализа была оценка ассоциации между полиморфизмами *TGF- β 1-509 C>T* [*rs1800469*], *+869 T>C* [*rs1800470*] и *+915 G>C* [*rs1800471*] и пневмокониозом, часто развивающимся у работников угольных предприятий. Методы: всесторонний поиск литературы был проведен путем поиска в PubMed, Embase, Китайской биомедицинской базе данных и базе данных Wei Pu (Китай), включались все исследования, опубликованные по данной теме. Одиннадцать публикаций с 21 исследованием были включены в этот анализ, в том числе и мета-исследования. Результаты: данные показали существование ассоциации между риском развития пневмокониоза и вариантом *TGF- β 1 -509 C>T* (Т против С, odds ratio [OR] = 1,35, 95% CI: 1,00–1,81, P = 0,046) и вариантом *TGF- β 1 +915 G>C* (С против G, OR = 1,69, 95% CI: 1,19–2,40, P = 0,004; CG против GG, OR = 1,79, 95% CI: 1,23–2,60, P = 0,002; CC+CG против GG, OR = 1,80, 95% CI: 1,24–2,61, P = 0,002). Анализ подгрупп по этнической принадлежности в зависимости от типа пневмокониоза показал значительную ассоциацию этих вариантов между

силикозом среди азиатских популяций, но не ассоциацию пневмокониоза угольщиков у европейцев. Ассоциации между полиморфизмом *TGF-β1* +869 T>C и риском развития пневмокониоза выявлено не было. Выводы: Варианты *TGF-β1* -509 C>T и +915 G>C могут быть связаны с повышенным риском развития пневмокониоза.

Abstract: Transforming growth factor-beta 1 (TGF-β1) and gene variants have been extensively studied in various human diseases. For example, TGF-β1 polymorphisms were associated with fibrosis and pneumoconiosis, but the data remained controversial. The aim of this meta-analysis was to assess the association between TGF-β1 -509 C>T [rs1800469], +869 T>C [rs1800470], and +915 G>C [rs1800471] polymorphisms and pneumoconiosis. Methods: A comprehensive literature search was conducted through searching in PubMed, Embase, the Chinese Biomedical Database, and the Wei Pu (Chinese) Database. Eleven publications with 21 studies were included in this meta-analysis, covering a total of 4333 patients with pneumoconiosis and 3478 controls. Study quality was assessed, and heterogeneity and publication bias were measured. All statistical analyses were performed using STATA version 12.0 (StataCorp, College Station, TX, USA) software. Results: The data showed significant associations between TGF-β1 -509 C>T polymorphism and the risk of pneumoconiosis development (T vs. C, odds ratio [OR] = 1.35, 95% confidence interval [CI]: 1.00–1.81, P = 0.046); between TGF-β1 +915 G>C polymorphism and the pneumoconiosis risk (C vs. G, OR = 1.69, 95% CI: 1.19–2.40, P = 0.004; CG vs. GG, OR = 1.79, 95% CI: 1.23–2.60, P = 0.002; CC+CG vs. GG, OR = 1.80, 95% CI: 1.24–2.61, P = 0.002). In addition, the subgroup analysis of ethnicity versus pneumoconiosis types indicated a significant association of silicosis among Asian populations but not that of coal workers' pneumoconiosis in Caucasian populations. In contrast, no significant association was exhibited between TGF-β1 +869 T>C polymorphism and risk of pneumoconiosis. Conclusion: The polymorphisms of both TGF-β1 -509 C>T and +915 G>C are associated with increased risk of pneumoconiosis

Ключевые слова: пневмокониоз, полиморфизм, трансформирующий фактор роста-бета1.

Keywords: Pneumoconiosis, Polymorphism, Transforming Growth Factor-beta1.

Введение

Пневмокониоз – это профессиональное заболевание, в основном вызванное вдыханием пылевых частиц (угольная пыль, частицы кристалли-

ческого кремнезема и т.п.). Клинически пневмокониоз характеризуется одышкой, на рентгенограмме грудной клетки наблюдаются интерстициальные инфильтраты или мелкие кистозные рентгеноконтрастные образования [1-3]. Вдыхаемая пыль вызывает хроническое воспаление легких и легочный фиброз [1-3]. Ранний пневмокониоз может протекать бессимптомно, но поздние стадии болезни приводят к ограничению воздушного потока, гипоксии, легочной гипертензии, дыхательной или сердечной недостаточности и преждевременной смерти даже без дальнейшего воздействия пыли [1-3]. Патогенез пневмокониоза является многофакторным и различные частицы пыли могут вызывать относительно разные состояния и иммунные реакции, которые контролируются экспрессией различных генов и генных путей [4-6]. Например, сообщалось, что не у всех людей, подвергшихся воздействию одинаковых уровней пыли, развивается фиброз легких, что говорит о том, что генетическая предрасположенность играет решающую роль в индивидуальной восприимчивости к пневмокониозу [7, 8].

Трансформирующий фактор роста (TGF) - это многофункциональный цитокин, оказывающий значительное влияние на процессы пролиферации, дифференцировки, апоптоза, миграции, воспаления, восстановления тканей и иммунный ответ [9]. Как фактор роста с важными иммуномодулирующими и фиброгенными свойствами, TGF-1 способствует хемотаксису через стимуляцию миграции моноцитов, лимфоцитов, нейтрофилов и миофибробластов. Таким образом, он может выступать также в качестве кандидата для лечения пневмокониоза [10-13].

Ген *TGF-β1* включает семь экзонов и шесть интронов и расположен на хромосоме 19q13 [14]. Несколько полиморфных вариантов в *TGF-β1*, например -509 C>T (rs1800469), +869 T>C (rs1800470) и +915 G>C (rs1800471) оценивались на предмет связи с риском развития пневмокониоза, однако результаты остаются противоречивыми [15-43]. С целью обобщения и уточнения опубликованных данных, проведен дальнейший анализ.

Стратегия поиска литературы

Поиск проведен в электронных базах данных PubMed, Embase и Wei Pu. Для создания поискового запроса использовались следующие термины: «пневмокониоз» ИЛИ «силикоз» ИЛИ «асбестоз» И «трансформирующий фактор роста» ИЛИ «TGF-» ИЛИ «TGF-бета» И «однонуклеотидный по-

лиморфизм» ИЛИ «полиморфизмы» и т.д. Эти ключевые слова были объединены с помощью слов логики «OR/AND». Дополнительные исследования были выявлены путем ручного поиска ссылок на родственные статьи, обзоры, даже отслеживания цитирования и т.д. Поиск включал всю опубликованную литературу. В случаях, когда в публикациях использовалась одна и та же популяция пациентов, мы включали в анализ только самое последнее или полное исследование.

Критерии отбора

Критерии отбора литературы были следующими: исследования, изучающие связь между риском развития пневмокониоза и полиморфизмами *TGF-β1* -509 C>T (*rs1800469*), +869 T>C (*rs1800470*) и +915 G>C (*rs1800471*); Любое исследование о *TGF-β1* -509 C>T (*rs1800469*) или +869 T>C (*rs1800470*) или +915 G>C (*rs1800471*) рассматривался как независимое исследование. Исследования типа «случай-контроль»; исследования, предоставляющие достаточную информацию о частоте генотипов и аллелей для оценки отношения шансов (OR) с соответствующим 95% доверительным интервалом (CI) и значениями P; исследования, написанные на английском или китайском языке (переведенные на английский); исследования на людях; и исследования, включающие только случаи с окончательным диагнозом пневмокониоз. Критерии исключения были следующими: отчеты о случаях, рефераты, повторные исследования.

Характеристика исследуемых объектов

На основании нашей стратегии поиска в данный анализ были включены 11 статей, включающих 21 исследование по типу случай-контроль, которые охватывали в общей сложности 4333 случая с пневмокониозом и 3478 здоровых человека. Семь из этих исследований изучали связь между полиморфизмом *TGF-β1* -509 C>T и пневмокониозом, девять - полиморфизм +869 T>C и пять - полиморфизм +915 G>C.

Результаты и обсуждение

Характеристики отобранных исследований приведены в таблицах 1-3. В таблице 1 представлены характеристики исследований ассоциации полиморфизма -509 C>T с пневмокониозом, шесть из которых были проведены в Азии. Одно исследование было проведено у европеоидов. В двух исследованиях пневмокониоз был вызван углем, а в других – другой пы-

лю. Характеристики связи полиморфизма +869 T>C с пневмокониозом представлены в таблице 2. Семь исследований были проведены в Азии, одно у европеоидов и одно смешанное (индивиды происходили из Китая, Германии, Турции и США, соответственно). В двух исследованиях распределение генотипов не соответствовало ожидаемому при равновесии Харди Вайнберга (HWE), а в одном исследовании было недостаточно данных для расчета HWE. В четырех исследованиях у работников угольной промышленности присутствовал пневмокониоз, а в пяти исследованиях – силикоз. Таблица 3 иллюстрирует характеристики случая и контроля для связи полиморфизма +915 G>C с пневмокониозом. Четыре исследования были проведены в Китае и одно у европеоидов. В одном исследовании не соблюдалось HWE, и в одном исследовании было недостаточно данных для расчета HWE. В трех исследованиях пневмокониоз встречался у рабочих угольной промышленности, а в двух исследованиях – при силикозе.

Согласно расчетам Deng с коллегами, приведенным в опубликованном мета-анализе [11], существует значимая ассоциация между полиморфизмом -509 C>T и риском пневмокониоза с точки зрения сопоставления частоты аллелей [Т против С, OR = 1,35, 95% CI: 1,00-1,81, P = 0,046]. Однако не было обнаружено значимой связи при сопоставлении генотипов в гомозиготной, гетерозиготной, рецессивной и доминантной моделях [P > 0,05]. Анализ подгрупп показал, что полиморфизм -509 C>T не был значительно связан с риском развития пневмокониоза в зависимости от типа пневмокониоза и этнической принадлежности (табл.4).

Таблица 1

Характеристика исследований связи полиморфизма -509 C>T
с пневмокониозом

Автор, Год	Выборка	Группа	Частота аллеля			Распределение генотипа				Тип пнев- моко- ниоза	HWE
			T	C	Все- го	TT	TC	CC	Все го		
Fan et al., 2007	Азиат- ская (Китай)	Опыт	131	103	234	40	51	26	117	Сили- коз	0,08
		Кон- троль	100	134	234	26	48	43	117		
Yucesoy et al., 2008	Европео- иды (США)	Опыт	171	395	566	31	109	143	238	CWP	0,08
		Кон- троль	189	461	650	34	121	170	325		

Wu et al., 2010	Азиат- ская (Китай)	Опыт	175	191	366	46	83	54	183	Сили- коз	0,42
		Кон- троль	119	103	222	34	51	26	111		
Qianet al., 2009	Азиат- ская (Ки- тай)	Опыт	515	501	1016	121	273	114	508	CWP	<0,05
		Кон- троль	546	506	1052	122	302	102	526		
Li et al., 2009	Азиат- ская (Ки- тай)	Опыт	92	62	154	28	36	13	77	Сили- коз	0,06
		Кон- троль	70	84	154	20	30	27	40		
Li et al., 2010	Азиат- ская (Китай)	Опыт	41	39	80	13	15	12	40	Сили- коз	0,80
		Кон- троль	30	50	80	6	18	16	40		
Yao et al., 2006	Азиат- ская (Китай)	Опыт	124	96	220	34	56	20	110	Сили- коз	<0,05

Примечание. Здесь и далее CWP: пневмокониоз угольщиков; HWE: p value соответствия равновесию Харди-Вайнберга.

Таблица 2

Характеристика исследований связи полиморфизма +869 T>C
с пневмокониозом

Автор, Год	Выборка	Группа	Аллель			Распределение генотипа				Тип пнев- мокониоза	HWE
			T	C	Всего	TT	TC	CC	Всего		
Fan et al., 2007	Азиаты (Китай)	Опыт	106	128	234	28	50	39	117	Силикоз	0,17
		Кон- троль	125	109	234	37	51	23	117		
Wu et al.,2008	Европеои- ды (США)	Опыт	187	179	366	52	83	48	183	Силикоз	0,75
		Кон- троль	104	118	222	24	56	31	111		
Qian et al.,2010	Азиаты (Китай)	Опыт	584	432	1016	123	338	47	508	CWP	<0,05
		Кон- троль	550	502	1052	10	332	85	526		
Li et al.,2009	Азиаты (Китай)	Опыт	70	84	154	19	32	26	77	Силикоз	0,31
		Кон- троль	80	74	154	23	34	20	77		
Li et a.,2009	Азиаты (Китай)	Опыт	36	44	80	9	18	13	40	Силикоз	0,38
		Кон- троль	45	35	80	25	17	9	40		

Yu et al., 2009	Азиаты (Китай)	Опыт	249	219	468	85	101	59	234	CWP	0,20
		Кон-троль	464	406	880	23+	206	105	440		
Ates et al., 2008	Смешанная	Опыт	60	74	134	28	26	24	67	CWP	<0,05
		Кон-троль	94	90	184	33	50	20	92		
Helmig et al., 2009	Европеои-ды (Герма-ния)	Опыт	657	457	1114	29+	279	89	557	CWP	0,38
		Кон-троль	100	66	166	32	36	15	83		
Yu et al., 2009	Азиаты (Китай)	Опыт	264	264	518	66			56	Силикоз	-
		Кон-троль	341	341	682	68			68		

Таблица 3

Характеристика исследований связи полиморфизма +915 G>C
с пневмокониозом

Год	Выборка	На-звание	Частота аллеля			Распределение генотипа				Тип пнев-моко-ниоза	HWE
			T	C	Все-го	TT	TC	CC	Все-го		
Fan et al., 2007	Азиат-ская (Китай)	Опыт	200	34	234	83	34	0	117	Сили-коз	0,17
		Кон-троль	214	20	234	97	20	40	117		
Wu et al., 2008	Азиат-ская (Китай)	Опыт	364	2	294	181	2	0	183	Сили-коз	0,75
		Кон-троль	222	0	222	111	0	0	111		
Li et al., 2009	Азиат-ская (Китай)	Опыт	128	26	154	51	36	0	77	CWP	<0,05
		Кон-троль	140	14	154	34	14	0	77		
Li et al., 2009	Азиат-ская (Китай)	Опыт	72	8	80	32	8	0	40	Силик-оз	0,31
		Кон-троль	74	6	80	34	6	0	40		
Helmig et al., 2009	Азиат-ская (Герма-ния)	Опыт	1025	89	640	469	87	1	557	Сили-коз	0,38
		Кон-троль	156	10	166	73	10	2	83		

Полиморфизм *TGF-β1* +915 G>C значимо связан с риском развития пневмокониоза для аллелей, для гетерозиготной и доминантной моделей (C против G, OR = 1,93, 95% CI: 1,24-2,40, P = 0,004; CG против GG, OR = 2,13, 95% CI: 1,33-3,42, P = 0,002; CC + CG против GG, OR = 2,13, 95% CI:

1,33-3,42, $P = 0,002$). Однако не наблюдалось связи между полиморфизмом $TGF-\beta 1 +915 G>C$ и риском пневмокониоза в других моделях у европейцев [$P > 0,05$; таблица 4]. В отношении полиморфизма $TGF-\beta 1 +869 T>C$ было проведено девять исследований, и анализ не выявил статистически значимой связи между полиморфизмом $TGF-\beta 1 +869 T>C$ и риском развития пневмокониоза.

Таблица 4

Связь полиморфизмов $TGF-\beta 1$ с риском развития пневмокониоза
в различных моделях наследования

TGF- $\beta 1$ поли- морфизмы	Аллельная модель		Гомозиготная модель		Гетерозиготная модель		Доминантная модель		Рецессивная модель	
	OR (CI)	p	OR (CI)	p	OR (CI)	p	OR (CI)	p	OR (CI)	p
<i>TGF-$\beta 1$ -509 C>T</i>	1,35 (1,00, 1,81)	0,046	1,69 (0,98, 2,92)	0,059	1,36 (0,90, 2,05)	0,14	1,48 (0,95, 2,31)	0,081	1,33 (0,98, 1,81)	0,071
<i>TGF-$\beta 1$ +869 T>C</i>	0,97 (0,89, 1,07)	0,58	1,05 (0,73, 1,52)	0,79	0,95 (0,80, 1,13)	0,56	1,00 (0,86, 1,17)	0,96	1,09 (0,78, 1,51)	0,62
<i>TGF-$\beta 1$ +915 G>C</i>	1,69 (1,19- 2,40)	0,004	0,47 (0,02- 11,64)	0,64	1,79 (1,23 - 2,60)	0,002	1,80 (1,24- 2,61)	0,002	0,45 (0,02- 11,14)	0,62

Примечание. Жирным шрифтом выделены статистически значимы модели; CWP: пневмокониоз угольщиков; OR: отношение шансов; CI: доверительный интервал; $TGF-\beta 1$: трансформирующий фактор роста-бета 1.

Анализ чувствительности был проведен для отражения влияния индивидуального набора данных на объединенные OR путем последовательного исключения каждого исследования случай-контроль. Полученные данные показали, что соответствующие объединенные OR при всех генетических моделях существенно не изменились. В тесте Эггера не было статистически значимых различий, что указывает на отсутствие значительного смещения публикации для всех генетических моделей (полиморфизм $TGF-\beta 1 -509 C>T$, $P = 0,230$ для T против C, $P = 0,13$ для CT против CC; $TGF-\beta 1 +869 T>C$ полиморфизм, $P = 0,10$ для CC против TT; $P = 0,90$ для CT против TT; $TGF-\beta 1 +915 G>C$ полиморфизм, $P = 0,80$ для C против G; $P = 1,00$ для CG против GG).

Заключение

Пневмокониоз – это многофакторное заболевание, вызванное длительным вдыханием пылевых раздражителей (угольная пыль, частицы кристаллического кремнезема и т.п.), сопровождающееся развитием фиброзного процесса в легких. Прогрессирующий массивный фиброз легких включает в себя сложные взаимодействия генов и окружающей среды. Однако, данное заболевание развивается не у всех людей, находящихся в одинаковых условиях по степени запыленности воздуха. Предполагается, что существует значительный вклад генов в формировании предрасположенности к пневмокониозу. Варианты *TGF-β1* имеют большое значение в генетической модификации заболеваний легких. Например, сверхэкспрессия *TGF-1* происходит в легочной ткани в животных на клеточных моделях и у пациентов с легочным фиброзом.

В данной работе была исследована связь между предрасположенностью к легочному фиброзу и полиморфизмами гена *TGF-β1*. В результате поиска в литературе отобрали и проанализировали результаты 21 исследования по типу случай-контроль с общим количеством 4333 случаев пневмокониоза и 3478 случаев контроля. Полученные данные свидетельствуют о существовании статистически значимой связи между полиморфизмами *TGF-β1 -509 C>T* и *+915 G>C* и риском развития пневмокониоза.

Представляется перспективным проведение экспериментального исследования наличия подобной взаимосвязи на выборке жителей Кузбасса. Такое исследование в конечном итоге приведет к всестороннему пониманию связи полиморфизмов гена *TGF-β1* с риском развития пневмокониоза и, следовательно, к выявлению лиц с высоким риском для профилактики и лечения этого заболевания.

Список литературы

1. Becklake, MR. The mineral dust diseases // *Tuber. Lung Dis*, 1992. – V.73. – P.13-20. – doi:10.1016/0962-8479(92)90074-T.
2. Yucesoy, B. Genetic susceptibility in pneumoconiosis/ B. Yucesoy, MI. Luster // *Toxicol Lett*, 2007. – V.168. – P.249-254. – doi: 10.1016/j.toxlet.2006.10.021.
3. Laney, AS. Pneumoconiosis among underground bituminous coal miners in the United States: Is silicosis becoming more frequent // *Occup Environ Med*, 2010. – V.67. – P.25-65. – doi: 10.1136/oem.2009.047126.

4. Polymorphisms in inflammasome genes and risk of coal workers' pneumoconiosis in a Chinese population/ Ji X. [et al.] // PLoS One, 2012. – V.7. – e47949. – doi: 10.1371/journal.pone.0047949.
6. Nadif, R. IL18 and IL18R1 polymorphisms, lung CT and fibrosis. A longitudinal study in coal miners / Mintz M, Marzec J, JedlickaA, Kauffmann F, Kleeberger SR// Eur Respir J, 2006. – V.28. – P. 1100-5. – doi: 10.1183/09031936.00031506.
7. Antithetical effect of tumor necrosis factor- α polymorphism on coal workers' pneumoconiosis / Wang XT Ohtsuka Y, Kimura K, Muroi M, Ishida T, Saito J, et al // (CWP). Am J Ind Med, 2005. – V.48. – P.24-9. – doi: 10.1002/ajim.20180.
8. Tumor necrosis factor- α gene promoter polymorphism in coal workers' pneumoconiosis/Kim KA, Cho YY, Cho JS, Yang KH, Lee WK, Lee KH, et al // Mol Cell Biochem., 2002. – V.234. – P.205-9.
9. Letterio, JJ. Regulation of immune responses by TGF- β / Roberts AB // Annu Rev Immunol, 1998. – V.16. – P.137-61. – doi: 10.1146/annurev.immunol.16.1.137.
10. Penn, JW. The role of the TGF- β family in wound healing, burns and scarring: A review / Grobbelaar AO, Rolfe KJ // Int J Burns Trauma., 2012. – V.2. – P.18-28.
11. Derynck, R. TGF- β signaling in tumor suppression and cancer progression / Akhurst RJ // Balmain A Nat Genet, 2001. – V.29. – P. 117-29. – doi: 10.1038/ng1001-117.
12. Human transforming growth factor- β complementary DNA sequence and expression in normal and transformed cells / Derynck R [et al.] // Nature, 1985. – V.316. – P.701-5.
13. TGF- β : An important mediator of allergic disease and a molecule with dual activity in cancer development / Tirado-Rodriguez B, [et al.] // J Immunol Res, 2014. – V.2014. – P.318-481. – doi: 10.1155/2014/318481.
14. Fujii, D. Transforming growth factor beta gene maps to human chromosome 19 long arm and to mouse chromosome / Brissenden JE, Derynck R, Francke U. // Somat Cell Mol Genet, 1986. – V. 12. – P. 281-8.
15. Relationship between gene polymorphism of transforming growth factor- β and pneumoconiosis (in Chinese) / Fan XY [et al.] // Chin J Ind Hyg Occup Dis, 2007. – V. 25. – P. 1-4.
16. Genetic susceptibility to progressive massive fibrosis in coal miners / Yucesoy B [et al.] // Eur Respir J, 2008. – V.31. – P. 1177-82. – doi: 10.1183/09031936.00075107.

17. Lack of association between cytokine gene polymorphisms and silicosis and pulmonary tuberculosis in Chinese iron miners / Wu F [et al.] // J Occup Health, 2008. – V. 50. – P.445-54.
18. Association of transforming growth factor- β 1 gene variants with risk of coal workers' pneumoconiosis / Qian H [et al.] // J Biomed Res, 2010. – V.24. – P.270-6. – doi: 10.1016/S1674-8301(10)60038-3.
19. Li, J. A study of the relationship between the gene polymorphisms of transforming growth factor- β and silicosis (in Chinese) / Fan XY, Ma LR // J North China Coal Med Coll, 2009. – V. 11. – P.1-4.
20. Relationship between genetic polymorphism of transforming growth factor- β and susceptibility of coal worker's pneumoconiosis (in Chinese) / Li J [et al.] // Chin J Ind Med, 2010. – V. 5. – P.8-335.
21. The relationship between concentration, gene polymorphisms of TGF- β 1 and the risk of CWP (in Chinese) / Yao W[et al.] // China Occup Med, 2006. – V.4. – P.265-8.
22. Yu, C. Transforming growth factor beta and tumor necrosis factor gene polymorphism and coal worker's pneumoconiosis (in Chinese) / Li L, Qi F Chin J // Ind Hyg Occup Dis, 2009. – V.27. – P. 2-240.
23. Association of cytokine gene polymorphisms in CWP and its severity in Turkish coal workers / Ates I [et al.] // Am J Ind Med, 2008. – V.51. – P.7. – doi: 10.1002/ajim.20632.
24. Helmig, S. Association of transforming growth factor beta1 gene polymorphisms and asbestos-induced fibrosis and tumors / Belwe A, Schneider J // J Investig Med, 2009. – V.57. – P.655-61. – doi: 10.2310/JIM.0b013e3181a4f32a.
25. Effects of transforming growth factor- β and tumor necrosis factor- α gene polymorphisms on genetic susceptibility of silicosis (in Chinese) / Yu C[et al.] // Chin J Ind Hyg Occup Dis, 2009. – V.4. – P. 240-2.
26. Meta-analysis of association of tumor necrosis factor alpha and transforming growth factor beta gene polymorphisms with pneumoconiosis (in Chinese) / LiuQ, [et al.] // Chin J Ind Hyg Occup Dis, 2012. – V.30. – P. 587-922.
27. Meta-analysis for the association of apolipoprotein E e2/e3/e4 polymorphism with coronary heart disease // Zhang Y [et al.] // Chin Med J, 2015. – V.128. – P. 13-91. – doi: 10.4103/0366-6999.
28. DerSimonian, R. Meta-analysis in clinical trials / Laird N // Control Clin Trials, 1986. – V. 7. – P. 177-88.

29. Hydrogen sulfide inhibits transforming growth factor beta-1 induced bronchial epithelial-mesenchymal transition / Liao CC [et al.] // Chin Med J, 2015. – V. 128. – P. 32-47. – doi: 10.4103/0366-6999.170266.

30. Polymorphisms in the tumor necrosis factor-alpha gene promoter may predispose to severe silicosis in black South African miners / Corbett EL [et al.] // Am J Respir Crit Care Med, 2002. – V. 165. – P. 30-69. – doi: 10.1164/ajrccm.165.5.2010050.

31. Polymorphisms of the IL-1 gene complex in coal miners with silicosis / Yucesoy B [et al.] // Am J Ind Med, 2001. – V. 39. – P. 91-286.

32. Association of tumor necrosis factor-alpha and interleukin-1 gene polymorphisms with silicosis / Yucesoy B [et al.] // Toxicol Appl Pharmacol, 2001. – V. 172. – P. 75-82. – doi: 10.1006/taap.2001.9124.

33. Genetic variations in inflammatory mediators influence lung disease progression in cystic fibrosis / Corvol H [et al.] // Pediatr Pulmonol, 2008. – V. 43. – P. 12-24. – doi: 10.1002/ppul.20935.

34. Transforming growth factor-beta1 polymorphisms, airway responsiveness and lung function decline in smokers / Ogawa E [et al.] // Respir Med, 2007. – V. 101. – P. 38-43. – doi: 10.1016/j.rmed.2006.09.008.

35. Overexpression of transforming growth factor-beta1 in fetal monkey lung results in prenatal pulmonary fibrosis / Tarantal AF [et al.] // Eur Respir J, 2010. – V.36. – P.7-14. – doi: 10.1183/09031936.00011810.

36. Increased production and immunohistochemical localization of transforming growth factor-beta in idiopathic pulmonary fibrosis / Khalil N [et al.] // Am J Respir Cell Mol Biol, 1991. – V. 5. – P. 62-155.

37. Increased expression of transforming growth factor beta isoforms (beta 1, beta 2, beta 3) in bleomycin-induced pulmonary fibrosis / Santana A[et al.] // Am J Respir Cell Mol Biol, 1995. – V.13. – P.34-44. – doi: 10.1165/ajrcmb.13.1.7541221.

38. Williams, AO. Transforming growth factor beta expression and transformation of rat lung epithelial cells by crystalline silica (quartz) / Knapton AD, Ifon ET, Saffiotti U // Int J Cancer, 1996. – V.65. – P.39-49. – doi: 10.1002/(SICI)1097-0215(19960301)65:53.0.

39. Transforming growth factor-beta1 gene polymorphisms are associated with disease progression in idiopathic pulmonary fibrosis / Xaubet [et al.] // Am J Respir Crit Care Med 2003. – V.168. – P.43-51. – doi: 10.1164/rccm.200210-1165OC.

40. Polymorphisms of TGF-beta1 in cystic fibrosis patients / Brazova J [et al.] // Clin Immunol, 2006. – V.121. – P.3-7. – doi: 10.1016/j.clim.2006.08.015.

41. Grutters, JC. Genetics of fibrosing lung diseases / du Bois RM // Eur Respir J, 2005. – V. 25. – P. 15-27. – doi: 10.1183/09031936.05.00133404.
42. The relationship between the concentration of TGF-beta1 in serum and its gene polymorphisms in CWP (in Chinese) / Yao W [et al.] // J Sichuan Univ (Med Sci Ed), 2005. – V. 36. – P. 7-9.
43. Association between Genetic Variants of Transforming Growth Factor-1 and Susceptibility of Pneumoconiosis: A Meta-analysis / Deng CW [et al.] // Chin Med J, 2017. – V. 130. – P. 37-64.

Работа выполнена в Лаборатории цитогенетики Института экологии человека ФИЦ УУХ СО РАН под руководством доктора биологических наук, доцента, главного научного сотрудника В.И. Мининой.

**СОВРЕМЕННЫЕ ГЕНЕТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ
НАСЛЕДСТВЕННОЙ ПРЕДРАСПОЛОЖЕННОСТИ
К РАКУ МОЛОЧНОЙ ЖЕЛЕЗЫ**

**MODERN GENETIC METHODS FOR DETERMINING HEREDITARY
PREDISPOSITION TO BREAST CANCER**

*Рожкова Кристина Андреевна, ординатор клинической лабораторной
диагностики, Кузбасская областная клиническая больница
им. С. В. Беляева*

*Rozhkova Kristina Andreevna, resident of clinical laboratory diagnostics,
Kuzbass Regional Clinical Hospital named after S. V. Belyaev
E-mail: k.rozhkovaa@mail.ru*

Аннотация: Наследственный рак молочной железы (нРМЖ) – это форма злокачественной онкопатологии молочной железы, встречающаяся в 5-10% случаев, в большинстве опосредованная мутациями в высокопенетрантных генах *BRCA1* и *BRCA2*. Раннее выявление нРМЖ позволяет предотвратить дальнейшее развитие заболевания путем применения эффективных методов лечения, поэтому необходимость молекулярно-генетической диагностики в практической онкологии является очевидной. В статье представлены современные молекулярно-генетические методы, позволяющие обнаружить мутации, лежащие в основе нРМЖ, в генах различной степени пенетрантности РМЖ.

Abstract: Hereditary breast cancer is the probability of the occurrence of malignant breast cancer, occurring in 5-10% of cases of the total incidence, and in most cases is mediated by mutations in the genes of high penetrance *BRCA1* and *BRCA2*. Early detection of breast cancer can prevent further development of the disease through the use of effective treatment methods, therefore, the need for molecular genetic diagnosis in practical oncology is obvious. The article presents modern molecular genetic methods that allow detecting mutations underlying breast cancer in genes of varying degrees of breast cancer penetrance.

Ключевые слова: рак молочной железы, наследственность, мутации, методы исследования, диагностика.

Keywords: breast cancer, heredity, mutations, research methods, diagnostics.

Согласно статистическим данным за 2020 год, рак молочной железы был диагностирован у 2,3 миллиона человек по всему миру. С 2008 по 2018 год заболеваемость РМЖ выросла на 22,15%. При этом первичный диагноз в трети всех случаев ставится на поздних стадиях заболевания (в 20,6% случаев на 3-ей и в 7,8% случаев на 4-ой стадии) [1]. В России от данной болезни умирает около 23000 женщин, несмотря на совершенствование методов диагностики и лечения РМЖ [2].

Мутация *BRCA* характеризуется аутосомно-доминантным типом наследования. При наличии предрасположенности к РМЖ риск развития патологии значительно возрастает, особенно при имеющемся отягощенном семейном анамнезе. Для носителей значимых герминальных мутаций это имеет максимальный риск. Принципиальное значение для ранней диагностики, профилактики и планирования соответствующего лечения РМЖ имеет понимание механизмов возникновения и биологических особенностей опухолевого роста, которое основано на достижениях в области молекулярной биологии и генетики и рассматривается как сложный процесс различных клеточных мутаций и изменений в геноме. Наследственно обусловленные формы РМЖ, отличные от спорадических по течению, нуждаются в индивидуальном подходе в плане диагностики, тактики лечения, разработки и внедрения профилактических методов [3].

BRCA1 и *BRCA2* присутствуют в клетках любого потенциально здорового человека, функционирование этих генов заключается в способности исправлять химические повреждения и разрывы в молекулах ДНК. Утрата их функции влечет за собой ошибки репарации повреждений ДНК, это влечет за собой активацию генов-супрессоров, ингибирующие дальнейший рост клеток с возникшими генетическими мутациями и индуцирующие апоптоз [3, 4].

Существует разница между семейным и наследственным раком. Семейный рак молочной железы возникает вследствие влияния внешних и внутренних факторов в пределах одной семьи, при этом непосредственного повреждения генетического материала не обнаруживается [5].

Истинно наследственную природу имеют только 5% случаев РМЖ, связанную с мутацией генов *BRCA1*, *BRCA 2* [6]. Непосредственно мутации в генах являются основной причиной наследственных форм опухолей молочной железы. Риск возникновения РМЖ у таких лиц достигает огромных величин, несмотря на то, что они определенное время являются потенциально здоровыми. Кроме того, наличие *BRCA1*, *BRCA2* мутаций увеличивает в 10 раз вероятность рака яичников, что позволяет их отнести к высокопенетрантным, а также риск развития рака во второй молочной железе до 35% [6, 7].

В настоящее время в Российской Федерации разработано комплексное генетическое профилирование, которое позволяет изучать все известные мутации более чем в 300 генах. Это помогает собрать максимально полную «картину» злокачественной опухоли и выбрать наилучшую схему лечения [8].

Для подтверждения генетического диагноза используются различные методы ДНК-диагностики и их комбинации: полимеразная цепная реакция (ПЦР) с последующим электрофорезом при мутационном скрининге всего гена с целью выявления структурных перестроек; ПЦР в реальном времени (*real-time PCR*), позволяющая производить количественную оценку копийности гена, мультиплексная ПЦР и гибридизация с олигонуклеотидными биочипами для тестирования известных частых мутаций.

Наиболее информативным методом молекулярно-генетической диагностики в клинической онкологии является секвенирование нового поколения (англ. *next generation sequencing*, сокращенно NGS). Эта методика предусматривает разделение молекулы ДНК конкретного человека на отдельные фрагменты с последующим рассмотрением и фиксацией найденных отклонений от нормального строения каждого гена из интересующего списка (панели генов) [9, 10].

С помощью NGS изучают известные мутации четырех видов:

1. Замена оснований. При этом меняется одна из «букв» генетического кода, что может приводить к нарушению структуры белка, кодируемого данным геном (рис. 1).

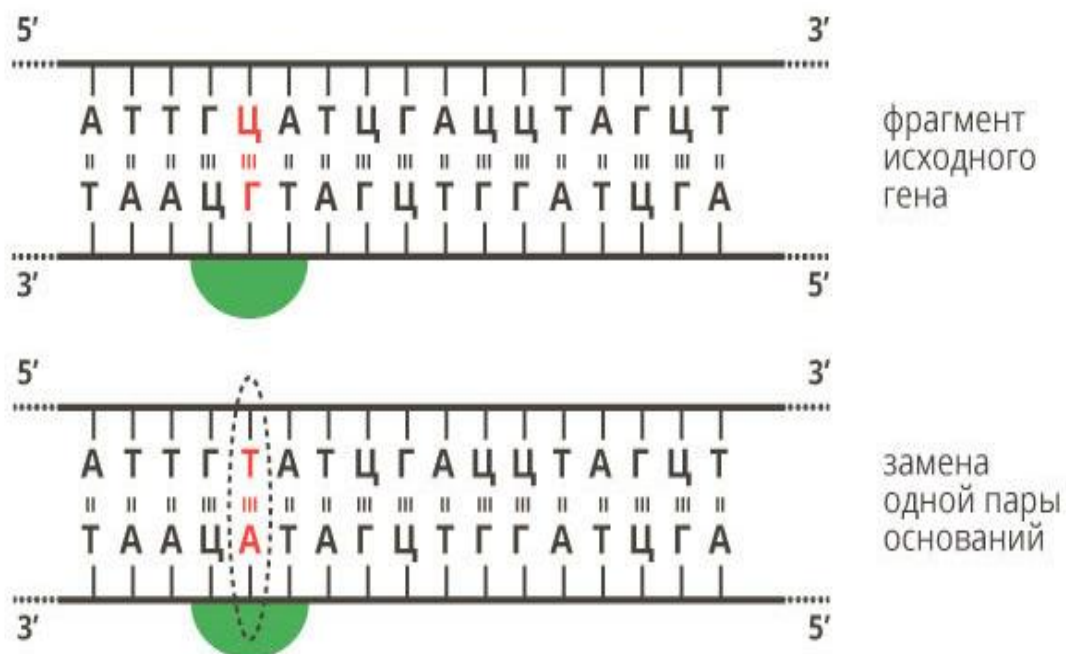


Рисунок 1. Пример мутации типа Замены оснований

2. **Делеции** – утрата определенного участка хромосомы.
Инсерции – когда в гене возникает «лишняя» вставка другой ДНК (рис. 2).

Делеция



Инсерция

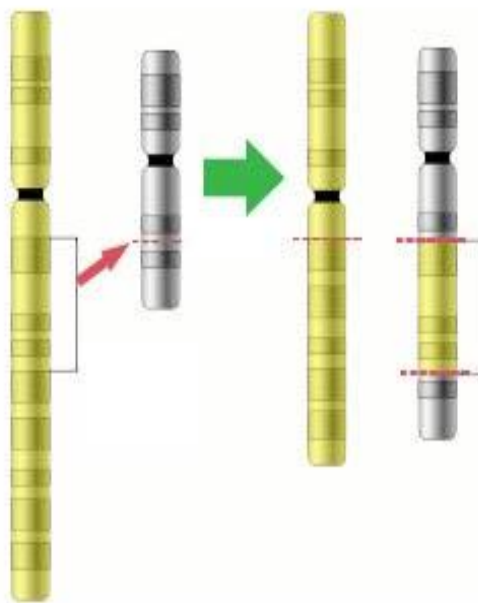


Рисунок 2. Пример мутации вида Делеции / Инсерции

3. **Изменение числа копий генов** – увеличение или уменьшение числа копий определенного гена, в результате чего снижается или повышается его экспрессия (активность) (рис. 3).

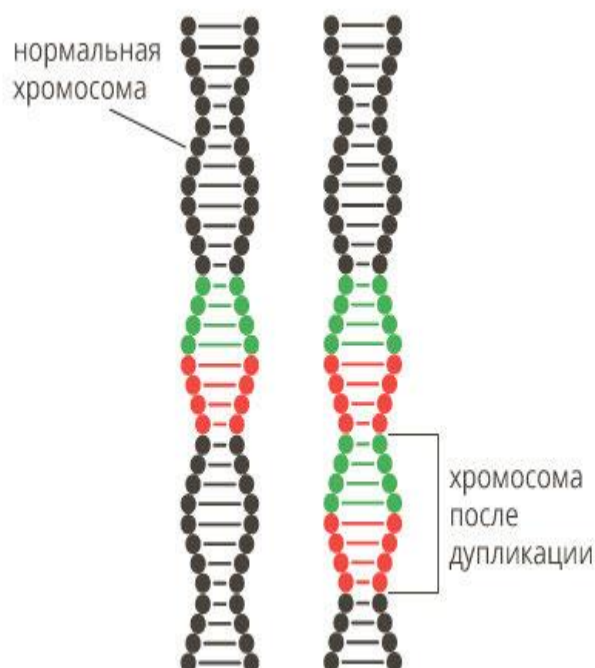


Рисунок 3. Пример мутации вида Изменения числа копий генов

4. **Фьюжн** – слияние генов, когда из двух отдельных образуется один гибридный (рис. 4).

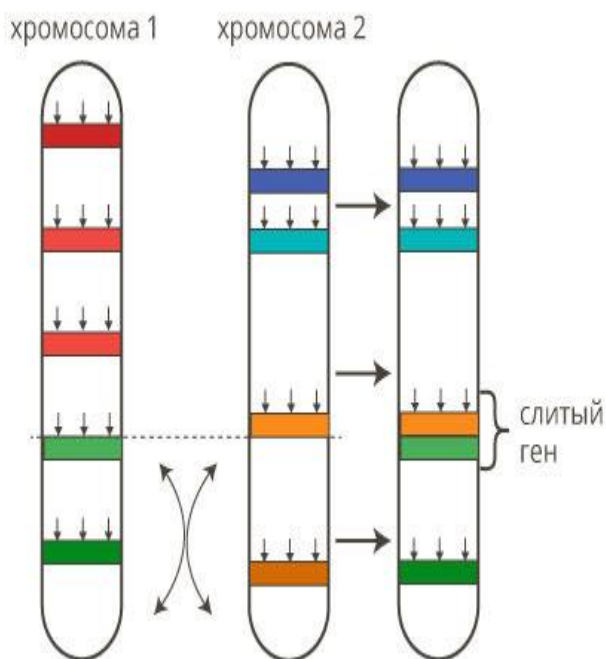


Рисунок 4. Пример мутации вида Фьюжн

Кроме того, NGS помогает выявить микросателлитную нестабильность, мутационную нагрузку – количество мутаций на определенный объем генома клеток опухолей [11].

В настоящее время в России активно применяют следующие коммерческие наборы для определения частых мутаций в генах *BRCA1* и *BRCA2*:

1. Набор реагентов для определения генетических полиморфизмов, ассоциированных с риском развития онко-патологии, методом полимеразной цепной реакции (ОнкоГенетика, НПО ДНК-Технология, РФ)

2. Набор реагентов для выявления генетической предрасположенности к развитию онкологических заболеваний различной этиологии и для определения индивидуальной чувствительности к некоторым лекарственным препаратам методом гибридизации на биологическом микрочипе (ПФ-БИОЧИП, ООО «БИОЧИП-ИМБ», РФ);

3. Набор реагентов для детекции генетических полиморфизмов методом пиросеквенирования с применением системы генетического анализа серии РугоMark «АмплиСенс Пироскрин» профиль генетического исследования «Рак молочной железы и/или яичников» (Федеральное бюджетное учреждение науки «Центральный научно-исследовательский институт эпидемиологии» Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, РФ);

4. Набор для лабораторной диагностики наследственных заболеваний методом полимеразной цепной реакции с детекцией иммуноферментным методом «Пронто» (Pronto), вариант исполнения Пронто BRCA, рак молочной железы (Израиль) [12].

Существенный шаг к выявлению значимых герминальных мутаций уже совершен. Необходимость молекулярной диагностики в раннем выявлении наследственного рака молочной железы является очевидной.

Установление генетического фактора риска развития нРМЖ позволит утвердить тактику лечения и внедрить профилактические методы, позволяющие предотвратить развитие данной онкопатологии.

Внедрение систем генетического скрининга, идентификация высокопенетрантных к развитию РМЖ генов *BRCA1* и *BRCA2* привели к усовершенствованию диагностики и лучшему пониманию молекулярного патогенеза семейного и наследственного рака, что позволит прогнозировать накопление и возникновение новых случаев заболевания в семье и, что немаловажно, обнаружить у членов семьи новообразование на ранних стадиях.

Список литературы

1. Medical-Pharma Service: Статистика по онкологии 2020/2021. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://medpharm.kz/>
2. Висковатых, А.В. Оценка распространенности BRCA-ассоциированного рака молочной железы в Москве / Клиническая медицина. – 2019.
3. ZDRAV.EXPERT: Медтех-портал. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://zdrav.expert/>
4. Лаптиева, С.А. Молекулярно-генетический «портрет» рака молочной железы / Фундаментальная медицина. – 2019.
5. Наследственный рак молочной железы: Обзорная статья. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://bit-sava.ru/news/>
6. Имянитов, Е.Н. Наследственный рак молочной железы / Практическая онкология. – 2019.
7. Карпухин, А.В. Наследственная предрасположенность к раку молочной железы / Медицинская генетика. – 2020.
8. Поспехова, Н.И. Комплексный анализ наследственной формы рака молочной железы и/или яичников: молекулярно-генетические и фенотипические характеристики. – Автореф. – 2019.
9. Сытенкова, К.В. Аллельные варианты в генах *BRCA1*, *BRCA2*, *TP53*, ассоциированные с развитием рака молочной железы.
10. Кечин, А.А. Разработка и применение метода определения мутаций в генах *BRCA1*, *BRCA2* у больных раком молочной железы и раком яичников. – Диссертационная работа. – 2020.
11. Секвенирование нового поколения Next generation sequencing, современное исследование. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.euroonco.ru/>
12. Молекулярно-генетическая диагностика в онкологии (NGS, ПЦР, секвенирование по Сэнгеру и пр.): Медицинский институт им. Березина Сергея. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://radiosurgery ldc.ru/>

Работа выполнена в Лаборатории цитогенетики Института экологии человека ФИЦ УУХ СО РАН под руководством доктора биологических наук, доцента, главного научного сотрудника В.И. Мининой.

**РОЛЬ ПОЛИМОРФИЗМА ГЕНОВ ИММУННОГО ОТВЕТА
В ПАТОГЕНЕЗЕ РАКА ЛЕГКОГО У БОЛЬНЫХ
С ИШЕМИЧЕСКОЙ БОЛЕЗНЬЮ СЕРДЦА**

**THE ROLE OF IMMUNE RESPONSE GENE POLYMORPHISM
IN THE PATHOGENESIS OF LUNG CANCER IN PATIENTS
WITH CORONARY ARTERY DISEASE**

*Столяров Антон Викторович, аспирант, Лаборатория иммуногенетики,
Институт экологии человека ФИЦ УУХ СО РАН*

*Anton V. Stolyarov, Ph.D. student, laboratory of immunogenetics
of Institute of Human Ecology of FRC CCC SB RAS
E-mail: a.v.stolyaroff@mail.ru*

Аннотация: Хроническое воспалительный процесс может провоцировать развитие различных мультифакторных заболеваний. Наиболее универсальным типовым патологическим процессом является воспаление. В определенных случаях механизмы системной воспалительной реакции сами могут выступать в качестве повреждающего фактора. Патогенез сепсиса и некоторых других острых критических состояний ныне рассматривается с позиции синдрома системной воспалительной реакции.

Целью работы является оценка генетической предрасположенности к повышенному риску развития РЛ у мужчин, проживающих на территории промышленно развитого региона.

Материалом послужили образцы ДНК, выделенные из цельной крови больных РЛ и ИБС, проходивших стационарное лечение в ГБУЗ «Кузбасский клинический онкологический диспансер». Группа сравнения была составлена из пациентов государственного бюджетного учреждения здравоохранения «Кузбасский клинический кардиологический диспансер имени академика Л.С. Барбараша» (ГБУЗ КККД) с диагнозом ИБС.

Исследовали однонуклеотидные замены (SNP) в генах *IL1B* (rs1143634 и rs16944), *TNFA* (rs1800629) и *IL10* (rs1800896), характеризующийся различным числом tandemных повторов (VNTR86bp).

Результаты эксперимента говорят о том, что увеличенная продукция ИЛ-1, связанная с носительством генотипа GG гена *IL1B* (rs16944), будет ассоциирована с рисковым эффектом в отношении развития РЛ.

Изучение однонуклеотидных замен (SNP) в генах *IL1B* (rs16944), *TNFA* (rs1800629) и *IL10* (rs1800896) у больных РЛ и ИБС может внести вклад в понимание влияния хронического воспаления на развитие РЛ и сопутствующих заболеваний.

Abstract: Chronic inflammation can provoke the development of various multifactorial diseases associated with chronic inflammation in humans. The most universal typical pathological process is inflammation. In certain cases, the mechanisms of the systemic inflammatory response (SIR) themselves can act as a damaging factor. The pathogenesis of sepsis and some other acute critical conditions is now considered from the perspective of the SVR syndrome.

The aim of the work is to assess the genetic predisposition to an increased risk of developing LC in men living in an industrialized region.

The material was DNA samples isolated from the whole blood of patients with LC and IHD who underwent inpatient treatment at the Kuzbass Clinical Oncology Center. The comparison group was composed of patients of the state budgetary healthcare institution «Kuzbass Clinical Cardiology Dispensary named after academician L.S. Barbarasha» (GBUZ KKKD) with a diagnosis of coronary artery disease.

Single nucleotide substitutions (SNPs) were studied in the *IL1B* (rs1143634 and rs16944), *TNFA* (rs1800629), and *IL10* (rs1800896) genes characterized by different numbers of tandem repeats (VNTR86bp).

The results of the experiment suggest that increased production of IL-1 associated with the carriage of the GG genotype of the *IL1B* gene (rs16944) will be associated with a risk effect in relation to the development of LC.

The study of single nucleotide substitutions (SNPs) in the *IL1B* (rs16944), *TNFA* (rs1800629), and *IL10* (rs1800896) genes in patients with LC and CAD can contribute to understanding the effect of chronic inflammation on the development of LC and concomitant diseases.

Ключевые слова: рак легкого, системная воспалительная реакция, интерлейкин, ишемическая болезнь сердца, хроническое воспаление.

Key words: Lung cancer, systemic inflammatory response, interleukin, coronary heart disease, chronic inflammation.

Обоснование

Хроническое воспаление может провоцировать развитие различных мультифакторных заболеваний у человека. Большой вклад в развитие таких заболеваний, как рак легкого (РЛ), а также ишемическая болезнь сердца (ИБС), вносит повышенная экспрессия генов, кодирующих провоспалительные и противовоспалительные цитокины.

Наиболее универсальным типовым патологическим процессом является воспаление. Воспалительный процесс, включает в себя два уровня: местный – определяемый базисными механизмами программы воспаления, и генерализованный – системную воспалительную реакцию (СВР). В определенных случаях механизмы СВР сами могут выступать в качестве повреждающего фактора. Патогенез сепсиса и некоторых других острых критических состояний ныне рассматривается с позиции синдрома СВР [1].

Интерлейкин 1 (ИЛ-1), кодируемый геном *IL1B*, является ключевым продуцируемым цитокином и секретируется многими типами клеток после активации биологическими или химическими агентами. Было идентифицировано несколько полиморфных вариантов в гене *IL1B*, некоторые из которых были связаны с повышенным риском развития рака РЛ [2].

Лица, курившие в анамнезе и имеющие хотя бы один аллель А гена *IL1B* (rs1143634), характеризуются более высоким риском развития РЛ, чем имеющие генотип GG. Скорректированное отношение шансов (ОШ) для гена *IL1B* (rs1143634) в отношении курения составило 1,45, что указывает на 45% повышение риска развития РЛ у курильщиков, имеющих хотя бы один аллель А [3].

Интерлейкин 10 (ИЛ-10) – многофункциональный цитокин, обладающий как иммунодепрессивными, так и антиангиогенными свойствами, играющий важную роль в патогенезе рака [4]. ИЛ-10 оказывает опосредованное влияние на макрофаги, что, в свою очередь, играет центральную роль в росте и метастазировании РЛ посредством передачи сигналов CCR2 и CX3CR1 в качестве основного механизма [5].

Еще один цитокин – фактор некроза опухоли альфа (TNF- α) – запускает цитокиновый каскад. Отмечено, что большое количество полиморфных вариантов гена *TNFA* ассоциировано с риском развития РЛ [5,6].

Целью работы является оценка генетической предрасположенности к повышенному риску развития РЛ у мужчин, проживающих на территории промышленно развитого региона.

Материалы и методы

Материалом послужили образцы ДНК, выделенные из цельной крови больных РЛ и ИБС, проходивших стационарное лечение в ГБУЗ «Кузбасский клинический онкологический диспансер». Группа сравнения была составлена из пациентов государственного бюджетного учреждения здравоохранения «Кузбасский клинический кардиологический диспансер имени академика Л.С. Барбараша» (ГБУЗ КККД) с диагнозом ИБС. В группу популяционного контроля вошли условно здоровые мужчины, также проходившие обследование в ГБУЗ КККД. Выделение ДНК осуществлялось из лимфоцитов периферической крови методом фенол-хлороформной экстракции.

Исследовали однонуклеотидные замены (SNP) в генах *IL1B* (rs1143634 и rs16944), *TNFA* (rs1800629) и *IL10* (rs1800896), характеризующийся различным числом tandemных повторов (VNTR86bp). Тест-системы для молекулярно-генетического анализа данных полиморфных локусов генов цитокинов были разработаны в Институте химической биологии и фундаментальной медицины СО РАН (Новосибирск). Генотипирование локусов *IL1B* (rs16944), *TNFA* (rs1800629) и *IL10* (rs1800896) проводили с помощью полимеразной цепной реакции (ПЦР) в режиме реального времени (реал-тайм ПЦР) с использованием, конкурирующих TaqMan-зондов, комплементарных полиморфным участкам ДНК. Амплификацию осуществляли с помощью термоциклера CFX-96 (Bio-Rad, США) [7].

Возрастной интервал опытной группы (73 человека) составил от 38 до 74 лет. В группу сравнения вошло 260 человек с возрастом от 37 до 74 лет, а в группу популяционного контроля – 112 человек с возрастом от 34 до 74 лет.

Обработка данных

Статистическая обработка данных производилась при помощи онлайн калькуляторов: MedCalc Online Calculator (<https://www.medcalc.org/calc/fisher.php>) и Анализ четырехпольных таблиц сопряженности (<https://medstatistic.ru/calculators/calchi.html>). Соответствие частот генотипов изученных генов равновесию Харди-Вайнберга оценивалось по критерию χ^2 Пирсона.

Результаты

Расчеты показали, что распределение изученных генотипов соответствует равновесному распределению Харди-Вайнберга. Для оценки ассоциаций генетического полиморфизма с РЛ были изучены четыре поли-

морфных локуса генов *IL1b* (rs1143634 и rs16944), *IL10* (rs1800896) и *TNFA* (rs1800629) (табл. 1).

Таблица 1

Функциональная значимость полиморфных локусов генов цитокинов

Ген	Продукт гена	Номер замены	Локализация на хромосоме	Функциональный эффект
<i>IL1B</i>	IL-1 β	rs1143634	2(q13)	Повышенный уровень продукции белка
<i>IL1B</i>	IL-1 β	rs16944	2(q14)	Регуляция экспрессии гена и индукции белка
<i>TNFA</i>	TNF- α	rs1800629	6(p21.3)	Повышенный уровень экспрессии гена и продукции белка
<i>IL10</i>	IL-10	rs1800896	1(q31.32)	Повышенный уровень транскрипционной активности гена и продукции белка

В ходе проведенного эксперимента и последующей статистической обработки были выявлены достоверные различия между группой больных РЛ и ИБС, и группой сравнения по гену *IL1B* (rs16944). Так, для генотипа GA получено значение ОШ, которое говорит о том, что он обладает проективным эффектом в отношении риска развития РЛ. Для генотипа GG получено значение ОШ, свидетельствующее об его рисковом эффекте. Полные результаты представлены в таблице 2.

Таблица 2

Ассоциация полиморфных локусов гена *IL1B* (rs16944)
с риском развития РЛ

Генотип	РЛ и ИБС, n	ИБС, n	Контроль, n	ОШ	95% ДИ	p-value
GG	24	76	46	2,13	1,49-3,04	0,0001
AA	9	37	16			
GA	40	147	50	0,54	0,39-0,77	0,0005

Примечание: n – количество наблюдений, ОШ – отношение шансов, ДИ – доверительный интервал

Полученные данные говорят о различия между опытной группой и группой популяционного контроля, что в свою очередь, подтверждает связи риска развития РЛ и полиморфных локуса генов *IL10* (rs1800896) и *TNFA* (rs1800629).

Также достоверные различия были получены при сравнении опытной группы и популяционного контроля по полиморфным локусам *IL1B* (rs16944), *IL10* (rs1800896), *TNFA* (rs1800629). Так, сравнение частот генотипов гена *IL1B* между группой пациентов с РЛ и ИБС, и группой популяционного контроля показало, что значение критерия χ^2 составляет 20,304. Критическое значение χ^2 при уровне значимости $P = 0,01$ составляет 9,21. Связь между факторным и результативным признаками статистически значима на уровне $P < 0,001$. Сравнение частот генотипов гена *TNFA* между группой пациентов с РЛ и ИБС, и группой популяционного контроля показало, что значение критерия χ^2 составляет 8,095. Критическое значение χ^2 при уровне значимости $P = 0,05$ составляет 5,991. Связь между факторным и результативным признаками статистически значима на уровне $P = 0,018$. Для гена *IL10* были получены следующие результаты: $\chi^2 = 29,357$; критическое значение χ^2 при уровне значимости $P = 0,01$ составляет 9,21; связь между факторным и результативным признаками статистически значима на уровне $P < 0,001$.

При изучении гена *IL1b* (rs1143634) не было получено достоверных результатов при сравнении группы пациентов РЛ и ИБС, группы сравнения и популяционного контроля.

Обсуждение

Полученные результаты эксперимента свидетельствует о том, что увеличенная продукция ИЛ-1, связанная с носительством генотипа GG гена *IL1B* (rs16944), будет ассоциирована с рисковым эффектом в отношении развитию РЛ, в то же время у носителей генотипа GA будет наблюдаться протективный эффект.

Исходя из проведенного исследования, можно предположить, что и РЛ, и ИБС характеризуются наличием неспецифического воспалительного процесса, при этом ключевым фактором, модифицирующим риск развития РЛ, является полиморфизм гена *IL1B* (rs16944). Известно, что воздействие цитокинов, содержащихся в воспалительном инфильтрате, влияет на развитие и прогрессию предопухолевых изменений [8]. Предопухолевые изменения развиваются в условиях хронического воспаления как проявление ускоренной регенерации и замедления дифференцировки эпителия [9].

Таким образом, изучение однонуклеотидных замен (SNP) в генах *IL1B* (rs16944), *TNFA* (rs1800629) и *IL10* (rs1800896) у больных РЛ и ИБС может внести вклад в понимание влияния хронического воспаления на развитие РЛ и сопутствующих заболеваний, связанных с СБР.

Список литературы

1. Kiyohara, C. IL1B rs1143634 Polymorphism, cigarette smoking, alcohol use, and lung cancer risk in a Japanese population / Kiyohara C., Horiuchi T., Takayama K., Nakanishi Y. // Journal of Thoracic Oncology. – 2010. – 5(3). – P. 299-304.
2. Hart, K. Allele-specific induction of IL1B –31 T/C promoter polymorphism by lung carcinogens / Hart K., Haugen A., Zienolddiny S. // Mutation Research. – 2008. – 656. – P. 14-18.
3. Chikako, Kiyohara. Genetic polymorphisms involved in the inflammatory response and lung cancer risk / Chikako Kiyohara, Takahiko Horiuchib, Koichi Takayamac, Yoichi Nakanishi, Higashiku Fukuoka // Cytokine. – 2014. – 65. – P. 88-93.
4. Keith, D Eaton. Petersdorf, Inflammatory gene polymorphisms in lung cancer susceptibility / Keith D. Eaton, Perrin E Romine, Gary E. Goodman, Mark D. Thornquist, Matt J. Barnett, Effie W. Petersdorf // Journal Thorac Oncol. – 2018. – 13(5). – P. 649-659.
5. Xiong, Lan. Department of respiratory medicine, a systematic review and meta-analysis / Xiong Lan, Tian Lan, Qin Faxiang // International Journal of Infectious Diseases. – 2015. – 197(5). – P. 15317-15328.

6. Kiyohara, C. Polymorphism, cigarette smoking, alcohol use, and lung cancer risk in a Japanese population / Kiyohara C., Horiuchi T., Takayama K., Nakanishi Y. // Journal of Thoracic Oncology. – 2010. – 5(3). – P. 299-304.

7. Гордеева, Л.А. Ассоциации полиморфизма в генах цитокинов с риском плоскоклеточного рака легкого у мужчин в зависимости от длительности курения / Мун С.А., Воронина Е.Н., и др. // Экологическая генетика. – 2018. – 16. – № 1. – P. 60-69.

8. Mohamed, Z. Inflammation as a validated prognostic determinant in carcinoma of unknown primary site / Pinato D., Mauri F., Chen K., Chang P., Sharma R. // Br J Cancer. 2014. – 110(1). – P. 208-213.

9. Kourou, K. learning applications in cancer prognosis and prediction 262 / Exarchos T., Exarchos K., Karamouzis M., Fotiadis D. Machine //Computational and Structural Biotechnology Journal. – 2015. – № 13. – P. 8-17.

Работа выполнена в Лаборатории цитогенетики Института экологии человека ФИЦ УУХ СО РАН под руководством кандидата биологических наук, ведущего научного сотрудника Л.А. Гордеевой.

**ИЗУЧЕНИЕ ПОЛИМОРФИЗМА ГЕНОВ РЕПАРАЦИИ ДНК
В ФОРМИРОВАНИИ ПРЕДРАСПОЛОЖЕННОСТИ
К РАЗВИТИЮ РАКА МОЛОЧНОЙ ЖЕЛЕЗЫ**

**STUDYING THE ROLE OF DNA REPAIR GENE POLYMORPHISM
IN FORMATION OF PREDISPOSITION TO THE DEVELOPMENT
OF BREAST CANCER**

*Торгунакова Анастасия Владимировна, ведущий инженер-технолог,
Лаборатория цитогенетики Института экологии человека
ФИЦ УУХ СО РАН*

*Anastasiya V. Torgunakova, engineer, Laboratory of cytogenetics
Institute of Human Ecology FRC CCC SB RAS
E-mail: A.VRyzhkova@yandex.ru*

Аннотация: Рак молочной железы (РМЖ) – одно из самых распространенных злокачественных новообразований среди женщин. Согласно данным литературы, известно более 1000 различных мутаций генов, способствующих возникновению РМЖ. В данном систематическом обзоре представлены наиболее распространенные мутации генов *XRCC1*, *ADPRT*, *hOGG1*, *APE1*, *XPC*, *ERCC2*, *XRCC2*, *XRCC3*, *ATM*, *BRCA1*, *BRCA2*, *NBS1*, *CHEK2*, ассоциированные с риском возникновения РМЖ.

Abstract: Breast cancer (BC) is one of the most prevalent malignant disorders in women. Accordingly to scientific literature data there are over 1000 different gene mutations that can promote BC development. In this systematic review the most widespread gene mutations in *XRCC1*, *ADPRT*, *hOGG1*, *APE1*, *XPC*, *ERCC2*, *XRCC2*, *XRCC3*, *ATM*, *BRCA1*, *BRCA2*, *NBS1*, *CHEK2* genes increasing risk to BC development have been represented.

Ключевые слова: рак молочной железы, гены репарации, мутации, *XRCC1*, *ADPRT*, *hOGG1*, *APE1*, *XPC*, *ERCC2*, *XRCC2*, *XRCC3*, *ATM*, *BRCA1*, *BRCA2*, *NBS1*, *CHEK2*.

Keywords: breast cancer, DNA repair genes, mutations, *XRCC1*, *ADPRT*, *hOGG1*, *APE1*, *XPC*, *ERCC2*, *XRCC2*, *XRCC3*, *ATM*, *BRCA1*, *BRCA2*, *NBS1*, *CHEK2*.

Введение

Рак молочной железы (РМЖ) является наиболее часто диагностируемым распространенным среди женщин во всем мире [1]. Около 1,7 млн. новых случаев РМЖ регистрируется ежегодно [2], является главной проблемой общественного здравоохранения [3, 4, 5]. Самые высокие показатели заболеваемости в США, средние значения в странах Европы и России, в странах Азии и Африки РМЖ регистрируется редко [6, 7].

Как известно, главной движущей силой канцерогенеза является нарушение процессов репарации поврежденной ДНК [8]. При наличии мутаций в генах, ответственных за репарацию и удаление поврежденных нитей ДНК, происходит накопление мутантных участков ДНК, кодирующих формирование клеток с патологическим геномом. Эти клетки ускользают из-под контроля системы апоптоза, имеют тенденцию к быстрому росту и поддерживают свое существование, несмотря на их функциональную неполноценность [9].

На сегодняшний день в России существуют панели, направленные на выявление мутаций. Такие панели используются для выявления носительства мутантных генов и оценки риска развития РМЖ. Проводится это исследование методом секвенирования следующего поколения (NGS) со 100-кратным покрытием. Данное исследование говорит о том, что если у женщины имеются изменения в каком-либо из шести генов (*BRCA1*, *BRCA2*, *PTEN*, *TP53*, *STK11*, *CDH11*), представленных в этой панели, то риск развития РМЖ у нее в течение жизни составляет 40-90% [1, 91].

Молекулярно-генетические анализы стали уже неотъемлемой частью практической онкологии, мы решили показать значимость других генов репарации ДНК в развитии РМЖ, для того, чтобы была возможность дополнить список маркеров предрасположенности к данной онкопатологии. В связи с этим изучение генетических вариантов среди генов, отвечающих за процессы репарации в молекулах ДНК при РМЖ, является обоснованным.

Методология

Чтобы получить более точную оценку взаимосвязи РМЖ и генов репарации ДНК, был выполнен данный систематический обзор. Поиск научных публикаций для обзора проводился в Medline и PubMed. Язык публикаций – русский или английский. Используемые ключевые слова для поиска: «breast cancer», «DNA repair genes».

В обзор включали:

- рандомизированные, контролируемые исследования и обзоры;
- исследования, в которых проводился анализ ассоциаций полиморфных вариантов генов репарации ДНК;
- работы, отражающие вклад полиморфизма генов репарации ДНК: *XRCC1*, *ADPRT*, *hOGG1*, *APE1*, *XPC*, *ERCC2*, *XRCC2*, *XRCC3*, *ATM*, *BRCA1*, *BRCA2*, *NBS1*, *CHEK2*, в формирование риска развития РМЖ.

Результаты

Повреждение ДНК может привести к мутациям генов, хромосомным изменениям и геномной нестабильности, которые, как известно, играют роль в иницировании рака. Соответственно, люди со сниженной способностью к репарации ДНК могут иметь повышенный риск возникновения онкологических заболеваний, в том числе и РМЖ [10, 11, 12]. В последние годы было обнаружено и изучено множество полиморфизмов в генах, кодирующих ферменты репарации ДНК, в связи с предрасположенностью к онкологическим заболеваниям [13, 14].

Эксцизионная репарация оснований (ЭРО) является одной из основных систем эукариот, которая необходима для точечного удаления поврежденных оснований ДНК.

XRCC1

Интегральным регулятором ЭРО считается белок, кодируемый геном *XRCC1*, который участвует в восстановлении оснований небольших повреждений, таких как окисленные или восстановленные основания, фрагментированные или аддукты и повреждения, вызванные метилирующими агентами [15].

Некоторые полиморфные варианты данного гена: *Arg194Trp*, *Arg280His*, *Arg399Gln*, – характеризуются изменением конформации белка *XRCC1*, снижающей средство к многокомпонентному белковому комплексу, участвующему в процессе репарации, уменьшая тем самым активность координатора эксцизионной репарации и скорость сборки всего комплекса. По мнению некоторых авторов, определенные полиморфные варианты гена *XRCC1* могут повлиять на индивидуальный риск развития злокачественных новообразований, в том числе рака молочной железы (РМЖ) [16, 17].

Полиморфизм гена *XRCC1 Arg399Gln* расположен в области, кодирующей сайт связывания PARP. PARP представляет собой семейство белков, содержащий фермент, который обнаруживает разрывы нитей ДНК

[18]. Показано, что носители аллеля *XRCC1-399 Gln*-варианта имеют более высокие уровни аддуктов ДНК [19]. Положительная связь между аллелем *XRCC1-399 Gln* и риском развития рака молочной железы наблюдалась в ряде исследований [20, 21, 22, 23]. В другом исследовании было показано, что носители аллеля *Arg/Gln* имели повышенный риск РМЖ по сравнению с аллелем *Gln/Gln* гена *XRCC1 Arg399Gln* (OR = 2,56 95% CI = 1,28-5,15) [24].

Полиморфизм *XRCC1 Arg280His* лежит между областями ДНК-полимеразы β и PARP [25]. Предполагается, что вариант аллеля 280His предполагает повышенную чувствительность к мутагенам [26] и связан с риском развития рака молочной железы [24]. Wu В. с соавторами выявили положительную взаимосвязь между РМЖ и аллелем *XRCC1-280His* у курящих женщин (OR = 4,1495%CI = 1,66-10,3) [27]. Некоторые исследования показали, риск возникновения РМЖ для комбинированных вариантных генотипов *His/His* + *Arg/His* гена *XRCC1 Arg280His* по сравнению с генотипом *Arg/Arg* (OR = 1,19 95% CI = 1,00–1,42) [28].

ADPRT

ADPRT (адениндифосфатрибозилтрансфераза) относится к семейству поли АДФ-рибозополимераз 1 (poly (ADP-ribose) polymerase (*PARP1*), наряду с *XRCC1*, является ключевым белком ЭРО [29, 30]. Замена *ADPRT Val762Ala* связывается со снижением функциональной активности белка и повышенной предрасположенностью к развитию некоторых форм рака [31, 32]. По данным литературы, риск развития РМЖ у европеоидов был значительно связан с генотипом *ADPRT - 762Val* (OR = 1,45; 95% CI = 1,03-2,03) [33].

hOGG1

Образование окисленной формы гуанина (8-гидроксигуанин – охoG) с высокой частотой приводит к замене GC-AT. У человека репарацию 8-гидроксигуанина осуществляет оксогуанин-гликозилаза человека 1 (*hOGG1*), данный белок играет ключевую роль в сохранении целостности генома и предотвращении развития рака [34]. Ген *hOGG1* является высоко полиморфным, эпидемиологические исследования связывают однонуклеотидные полиморфизмы (SNP) данного гена с риском развития онкологических заболеваний, в том числе и РМЖ [35, 36].

По мнению некоторых авторов, полиморфный вариант гена *hOGG1 Ser326Cys* ассоциирован с раком молочной железы (OR = 2,87,95%) [37], (*Cys/Cys* по сравнению с *Ser/Ser*: OR = 1,157, 95% CI = 1,013–1,321, $p =$

0,011; Cys/Cys против Ser/Cys + Ser/Ser: OR = 1,113, 95% CI = 1,009-1,227, $p = 0,014$) [38], (OR = 2,05, 95% CI = 1,14–3,69) [24]. Kashif и другие в своем метаанализе также показали наиболее значимые полиморфные варианты гена *hOGG1* ассоциированные с РМЖ *rs1473614070* (OR = 3,80 95% CI = 1,67-8,66), *rs55846930* (OR = 14,65 95% CI = 1,95-109,90), *rs1575221735* (OR = 28,85 95% CI = 3,87-207,7), *rs189302500* (OR = 12,85 95% CI = 3,97-41,56), *rs373826669* (OR = 16,85 95% CI = 2,26-125,53), *rs1052133* (OR = 18,45 95% CI = 2,49-136,99) [39].

APE1

Как известно, *APE1* является ферментом, ограничивающим скорость в процессе эксцизионной репарации оснований и ответственным за восстановление ДНК и защиту клеток от действия эндогенных и экзогенных факторов [40, 41]. Продукт гена *APE1* локализованного 14q11.2-q12, разрезает соседнюю с AP-сайтом фосфодиэфирную связь со стороны 5' конца цепи [42,43].

По мнению Al Mutairi с соавторами, ген *APE1Asp148Glu* может вызывать изменения в структуре белка и связан с риском рака молочной железы [44]. При анализе ассоциаций гена *APE1Asp148Glu* в некоторых исследованиях обнаружена повышенная значимость для генотипа *Glu/Glu* по сравнению с носителями генотипа *Asp/Asp* (OR = 0,65 95% CI = 0,38-0,94) [24].

В когортном исследовании Al Mutairi и других распределение трех генотипов *Asp/Asp*, *Asp/Glu* и *Glu/Glu* в кодоне 148 гена *APE1* значительно отличалось между контрольной группой и больными раком молочной железы ($\chi^2 = 9,44$, $df = 2$, $p = 0,0089$). Гетерозиготы *Asp/Glu* (OR = 2,20 95% CI = 0,99-4,87) и гомозиготный вариант *Glu/Glu* (OR = 3,58 95% CI = 1,55-8,24) показали значительно более высокий риск у больных раком молочной железы по сравнению с контролем. Частота аллеля *Glu rs1130409* у больных раком молочной железы была выше, чем в контрольной группе (OR = 1,89; $\chi^2 = 9,85$; $p = 0,0017$) [44].

Рассмотрим, несколько примеров эксцизионной репарации нуклеотидов (ЭРН) она включает более 30 белков, участвующих в репарации объемных химических аддуктов ДНК, пиримидиновых димеров и других повреждений [45].

XpC

Аллельный вариант *XpC 939Gln* связывается большинством источников со сниженной функциональной активностью фермента, также

у носителей данного аллеля, обнаружена взаимосвязь с онкологическими заболеваниями в том числе и РМЖ [46, 47, 48].

Malik и другие сообщили о найденных ассоциациях некоторых полиморфизмов *XPC rs2228001* - A > C (OR = 3,8 95% CI 1,9-7,6) и *rs2733532-C > T* (OR = 2,6 95% CI 1,4-5,03), связанных с риском развития РМЖ [48]. Также в исследовании других авторов, полиморфизм *PAT-/+* гена *XPC* был связан с увеличением риска РМЖ ($p < 0,05$), частота аллеля *XPC PAT+* у больных с РМЖ была значительно выше, чем у здоровых лиц (OR = 0,56 95% CI 0,40-0,77) [49]. По данным Yang и других частота генотипа *TT Ala499Val* (OR = 1,575 95% CI = 1,104–2,245; P = 0,012) и генотипа *AC Lys939Gln* (OR = 1,330 95% CI = 1,045–1,694; P = 0,020) гена *XpC*, значительно увеличивают риск развития РМЖ [50]. О повышенном риске возникновения РМЖ говорят, и исследования, проведенные в китайской популяции *XPC rs2228000* (OR = 1,39 95% CI = 1,13-1,72, $p = 0,002$) [51].

XPD/ERCC2

XPD или *ERCC2* является одним из наиболее важных низкопроницаемых генов, которые располагаются на хромосоме 19q13.3 и участвуют в пути эксцизионной репарации нуклеотидов. Связь между полиморфизмами генов *XPD Asp312Asn (G312A)* и *Lys751Gln (A429C)* с риском РМЖ довольно широко изучается.

Был проведен ряд исследований, в которых сообщалось о роли данных полиморфизмов в риске возникновения РМЖ [52, 53, 54]. По данным метаанализа, проведенного Yulan Yan с соавторами, была обнаружена значительная связь между полиморфизмом *Lys751Gln* и риском РМЖ у всех генетических моделей в общей популяции (C против A: OR = 1,10, 95% CI = 1,04-1,17, P = 0,002; CC против AA: OR = 1,17, 95% CI = 1,06-1,30, P = 0,003; AC против AA: OR = 1,06, 95% CI = 1,01-1,12, P = 0,032; CC против AC / AA: OR = 1,17, 95% CI = 1,04 -1,32, P = 0,009; CC /AC против AA: OR = 1,07, 95% CI = 1,02-1,12, P = 0,005) [55].

Также, исследование китайской популяции показало увеличение риска РМЖ гена *ERCC2/XPD rs50872* (OR = 1,32 95% CI = 1,04-1,67, $p = 0,021$) [51]. При изучении женщин южной Индии результаты показали, что генотип *XPD Gln/Gln* был в значительной степени связан с повышенным риском РМЖ (OR = 1,75; 95% CI = 1,02–2,80), особенно у пациенток в пременопаузе (OR = 2,6; 95% CI = 1,33–4,79) [56].

Значительны повышенный риск РМЖ у представителей европеоидной расы показал аллель 715Q гена *XPD K715Q* (OR = 1,05 95%

CI = 1,00-1,11), кроме того полиморфизм гена *XPB D312N* также повлиял на предрасположенность к РМЖ (OR = 0,53 95% CI = 0,32-0,90, p = 0,02) [57].

Гетерозиготный генотип rs238416 GA в сочетании с генотипами rs238416 (GA+AA) показал значительную связь с предрасположенностью к раку молочной железы (p < 0,01, OR = 0,29, 95% CI = 0,15–0,54) у представителей азиатской популяции [58].

Гомологичная рекомбинация (ГР) – еще одна система репарации ДНК, она играет важную роль для точной репарации двунитевых разрывов, которые могут приводить к летальным повреждениям клетки. В конце S-фазы – начале G2-фазы клеточного цикла – происходит ГР, включает в себя репликацию одноцепочечных нитей ДНК с использованием интактной цепи в качестве матрицы. Как известно, ГР имеет важное значение в геномной стабильности – это нарушение функциональной активности белков, участвующих в данном виде репарации, приводит к развитию разного рода онкологических заболеваний, включая РМЖ [59, 60]. Происходит репарация двунитевых разрывов ДНК в разные периоды клеточного цикла, остановка в которых приводит к возрастанию эффективности всего процесса репарации.

XRCC2 и XRCC3

Ферменты *XRCC2* и *XRCC3* принимают участие в репарации двуцепочечных разрывов ДНК путем гомологичной рекомбинации. Как известно, при репарации двухцепочечных разрывов ДНК *XRCC3* взаимодействует с *RAD51C* и *RAD51D*, дефекты в этом гене увеличивают риск РМЖ и предрасполагает к развитию других злокачественных новообразований [61].

Исследование, проведенное в Западной Индии, показало высокую частоту встречаемости генотипа *Arg/His* гена *XRCC2 Arg188His rs3218536* в группе больных РМЖ, а также обнаружена взаимосвязь между полиморфизмом данного гена и риском развития РМЖ у следующих генетических моделей: *Arg/Arg* против *Arg/His* (OR=3,2, 95% CI = 1,09-9,36, p=0,03); *Arg/Arg* против *Arg/His+His/His* (OR=2,83 95% CI = 1,03-7,74, p=0,04) [62]. По результатам работы Smolarz с соавторами, были получены следующие данные: частота встречаемости генотипов *Arg/His* (OR=0,30 95% CI = 0,10 - 0,86, p=0,04) и *His/His* (OR=6,25 95% CI = 2,38 - 16,39, p=0,0003) гена *XRCC2 Arg188His rs3218536* у больных РМЖ статистически отличалась от здоровых носителей данного генотипа [63].

Метаанализ, проведенный He с соавторами, предполагает, что вариант гена *XRCC3 Thr241Met* связан с риском возникновения РМЖ (OR = 1,10 95% CI = 1,03 - 1,16) [64]. При исследовании полиморфизмов гена *XRCC3 Thr241Met* Qureshi с соавторами наблюдали, что частоты генотипов *Thr/Met* (OR=2,88; 95% CI = 1,02-8,14; p<0,02) и *Met/Met* (OR=1,46; 95% CI = 0,89-2,40; p<0,04) были значительно выше в группе больных РМЖ, по сравнению со здоровыми женщинами. Что касается гена *XRCC2 Arg188His* в данном исследовании, было выявлено увеличение частоты встречаемости генотипа *Arg/His* (OR=1,6; 95% CI = 0,73-3,50; p<0,03). Данные результаты говорят о том, что полиморфизм генов *XRCC2 Arg188His* и *XRCC3 Thr241Met* могут быть маркерами риска РМЖ [65].

ATM

Одним из важных репаративным белком считается *ATM*, запускающий последовательный каскад фосфорилирования эффекторных белков – продуктов генов *CHEK 1/2*, *TP53*, *BRCA1/2*, что вызывает остановку клеточного цикла и ведет клетку в направлении по пути репарации ДНК или по пути апоптоза [66].

Johnson с соавторами показали значимую ассоциацию гена *ATM rs1800057* (OR=1,30; 95% CI = 1,50 -1,58; p<0,015) с риском возникновения РМЖ [67]. В исследованиях других авторов, также была обнаружена взаимосвязь гена *ATM Glu1978X* (OR = 4,56 95% CI = 1,35 – 15,42; p = 0,015) и *ATM Pro1054Arg* (OR = 1,20 95% CI = 1,01 – 1,44; p = 0,038) с РМЖ [68]. По данным литературы было показано, что полиморфизм гена *ATM Val2424Gly* (OR = 2,8 95% CI = 2,2 – 3,7) играет важную роль предрасположенности к РМЖ [69, 70, 71, 72, 73]. А также, исследование, проведенное Jerzak и другими, говорит о том, что *ATM V2424G* (OR = 11,0 95% CI = 1,42 – 85,7; p = 0,0012), имеет достаточно высокие значения риска возникновения РМЖ [74].

NBS1

Ген *NBS1* активирует белковые молекулы, ответственные за остановку клеточного цикла и индукцию апоптоза, регулируя, таким образом, пролиферацию клеток. Однако, пенетрантность мутаций гена *NBS1* может сильно варьировать, даже если он принимает участие в одном и том же молекулярном процессе в клетке [75].

Метаанализ, проведенный в исследовании случай-контроль восточноевропейских популяций, показал связь *NBS1 657del5* (OR = 2,7 95% CI – 1,9 - 3,7) с РМЖ [73]. А также, по данным литературы, известно,

что носительство мутации *657del5* в гене *NBS1* (OR = 2,63 95% CI – 1,7 - 3,93) наблюдается преимущественно у славян и ассоциировано с промежуточным риском развития РМЖ [76, 77, 78].

BRCA1/2

Как известно, *BRCA1* – опухолевый супрессор, который способен связывать рецептор эстрогенов, сдерживая избыточную пролиферацию эстрогензависимых органов, в том числе и клеток молочной железы. Инактивация гена *BRCA1* объясняет, очевидно, возникновение опухолей именно молочной железы и яичника [79]. Мутации в генах *BRCA1/2* обуславливают 20-50% наследственных форм РМЖ у женщин [80], в частности женщины-носительницы мутаций в этих генах, обладают «фатально» увеличенным риском развития карцином молочной железы и яичников [81]. На сегодняшний день известно порядка одной тысячи различных мутаций генов *BRCA1/2*, ассоциированных с раком молочной железы [82, 83].

Анализ 22 исследований 8136 женщин, имеющих в семейной истории заболевания РМЖ, 500 из них носители патологического генотипа *BRCA*, показал, что кумулятивный риск развития РМЖ к 70 годам равен 65 % у женщин с мутацией *BRCA1* и 45 % с мутацией *BRCA2* [84].

В своей работе Johnson и другие показали ассоциации некоторых полиморфизмов гена *BRCA1* *rs1799950* (OR = 1,31 95% CI = 1,14 - 1,51; $p = 0,0002$), *rs4986850* (OR = 1,73 95% CI = 1,04 - 2,68; $p = 0,017$) и *rs2227945* (OR = 1,21 95% CI – 1,04 - 1,40; $p = 0,014$) связанных с риском развития РМЖ [67]. В одном из исследований, проведенных Baretta с соавторами, выявили, что носители мутаций *BRCA1/2* представляют более высокий риск смертности от РМЖ (OR = 1,82 95% CI – 1,05 - 3,16), в отличие от лиц, не имеющих данной мутации [85].

CHEK2

CHEK2 участвует в репарации ДНК, остановке клеточного цикла или апоптозе в ответ на повреждение ДНК. Мутации гена *CHEK2* связаны с широким спектром раковых заболеваний, включая и РМЖ [78, 86]. Мутации в гене *CHEK2* увеличивают риск развития РМЖ в 2-3 раза и в 4-5 раз при наличии семейного онкологического анамнеза, что говорит о том, что пенетрантность *CHEK2* мутаций в семьях высокого риска модифицируется другими генетическими нарушениями и / или факторами внешней среды [87].

Метаанализ, проведенный Easton с соавторами, показывает связь между полиморфизмом гена *CHEK2* *Ile175Thr* (OR = 3,00 95% CI = 2,6 -

3,5) и РМЖ [73]. *CHEK2 Arg117Gly rs28909982* был связан с развитием РМЖ (OR = 2,03 95% CI = 1,10 - 3,73; p = 0,003) у выборки, состоящей из 44 случаев РМЖ и 18 контрольных случаев, все женщины европейского происхождения [88].

Для европейской популяции в выборке, состоящей из 158 случаев РМЖ и 142 здоровых лиц, была обнаружена ассоциация между полиморфизмом гена *CHEK2 Arg180Cys rs77130927* (OR = 1,34 95% CI = 1,06 – 1,70; p = 0,016) и РМЖ. Также, была выявлена взаимосвязь, между *CHEK2 Arg346Cys* (OR = 3,39 95% CI = 0,68 – 16,9; p = 0,017) и РМЖ у европеоидов [89]. Исследование женщин из Республики Башкортостан, 977 случаев РМЖ и 1069 контрольных случаев, показало доказательства того, что полиморфный вариант гена *CHEK2 del5395* (OR = 13,28 95% CI = 1,72–102,33; p = 0,003) был связан с РМЖ [90].

Заключение

В связи с выше изложенным можно сказать, что изучение предрасполагающих к развитию данной онкопатологии генов репарации ДНК и их ассоциаций, является приоритетным направлением в исследовании патогенеза РМЖ.

Как известно, выявление предрасположенности к любому онкологическому заболеванию позволяет своевременно задуматься о своем здоровье. Данные о предрасположенности к онкопатологиям помогают персонифицировать подход к каждому пациенту, а также помочь в профилактике и лечении.

Согласно литературным данным, точная генетическая идентификация формы рака молочной железы с последующей персонифицированной терапией способна снизить смертность пациентов на 90% [83].

Это позволяет рассматривать генетическое тестирование как один из важнейших инструментов для повышения эффективности профилактики групп риска РМЖ.

Список литературы

1. Каприн, А. Д. Злокачественные новообразования в России в 2015 году (заболеваемость и смертность) / А. Д. Каприн, В.В. Старинский, Г.В. Петрова. – М.: МНИОИ им. П. А. Герцена – филиал ФГБУ «НМИРЦ» Минздрава России, 2017. – 250 с.
2. Любченко, Л. Н. Медико-генетическое консультирование и ДНК-диагностика при наследственной предрасположенности к раку молочной

железы и раку яичников /Л. Н. Любченко, Е.И. Батенева. – М.: ИГ РОНЦ, 2014. – 75 с.

3. Smigal, C. Trends in breast cancer by race and ethnicity: update 2006 /C. Smigal [et al.]. – CA Cancer J Clin. – 2006. – V. 56. – P. 168-183.

4. Parkin, D.M. Global cancer statistics, 2002 / D.M. Parkin, F. Bray, J. Ferlay, P. Pisani. – CA Cancer J Clin. – 2005. – V. 55. – P. 74-108.

5. Jemal, A. Global cancer statistics / A. Jemal, F. Bray, M.M. Center, J. Ferlay, E. Ward, D. Forman. – CA Cancer J Clin. – 2011. – V. 61. – P. 69-90.

6. Семиглазов, В. Ф.Скрининг рака молочной железы / В.Ф. Семиглазов, В.В. Семиглазов // Практ. онкол. – 2010. – V. 11 (2). – С. 60-65.

7. Turnpenny, P. Emery's elements of human genetics / P. Turnpenny, S. Ellard // UK, Elsevier. – 2009. – № 13. – P.196-212.

8. Sieber, O.M. Genomic instability – the engine of tumorigenesis? / O.M. Sieber, K. Heinemann, I.P. Tomlinson // Nat. Rev. Cancer. – 2003. – Vol. 3. – P. 701-708.

9. Семетейкызы, А. Ассоциация генов XRCC1, HMMR с развитием рака молочной железы в кыргызской популяции / А. Семетейкызы, Э. К. Макимбетов, Ж. Т. Исакова, И. О. Кудайбергенова, З. П. Камарли. – Злокачественные опухоли. – 2018. – Т. 8(4). – С. 45-49.

10. Boer, J.G. Polymorphisms in DNA repair and environmental interactions / J.G. Boer // Mutat Res. – 2002. – V. 509. –P. 201-210.

11. Berwick, M. Markers of DNA repair and susceptibility to cancer in humans: an epidemiologic review / M. Berwick, P. Vineis // J Natl Cancer Inst. – 2000. – V. 92. – P. 874-897.

12. Shi, Q. Reduced DNA repair of benzo[a]pyrene diol epoxide-induced adducts and common XPD polymorphisms in breast cancer patients / Q. Shi, L.E.Wang, M.L. Bondy, A. Brewster, S.E. Singletary, Q. Wei / Carcinogenesis. – 2004. – V. 25. – P. 1695-1700.

13. Shen, M.R. Nonconservative amino acid substitution variants exist at polymorphic frequency in DNA repair genes in healthy humans / M.R. Shen, I.M. Jones, H. Mohrenweiser // Cancer Res. – 1998. – V. 58. – P. 604-608.

14. Goode, E.L. Polymorphisms in DNA repair genes and associations with cancer risk / E.L. Goode, C.M. Ulrich, J.D. Potter // Cancer Epidemiol Biomarkers. – 2002. – V. 11. – P. 1513-1530.

15. Caldecott, K.W. XRCC1 and DNA strand break repair / K.W. Caldecott // DNA Repair. – 2003. – V. 2. – P. 955-969.

16. Гервас, П.А. Генетический полиморфизм гена-онкосупрессора p53 и функционально связанных с ним генов CCR5 И XRCC1 при раке легкого: автореф. дис. канд. мед. наук: 14.00.14., 14.00.16. / П.А. Гервас. – Томск, 2007. – 28 с.

17. Ракитин, С.С. Полиморфизм генов репарации ДНК XRCC1 280, XRCC1 194, XRCC1 339 и XPD 751 при раке желудка / С.С. Ракитин, А.И. Дмитриева, В.В. Новицкий, И.А. Кузнецова, В.А. Авхименко // Бюллетень сибирской медицины. – 2011. – №. 6. – С. 35-39.

18. Shall, S. Poly (ADP-ribose) polymerase-1: what have we learned from the deficient mouse model? / S. Shall, G. Murcia // Mutat Res. – 2000. – P. 460.

19. Lunn, R.M. XRCC1 polymorphisms: effects on aflatoxin B1-DNA adducts and glycophorin A variant frequency / R.M. Lunn, R.G. Langlois, L.L. Hsieh, C.L. Thompson, D.A. Bell // Cancer Res. – 1999. – V. 59. – P. 2557-256.

20. Sigurdson, A. J. Kin-cohort estimates for familial breast cancer risk in relation to variants in DNA base excision repair, BRCA1 interacting and growth factor genes / A.J. Sigurdson, M. Hauptmann, N. Chatterjee, B.H. Alexander, M.M. Doody, J.L. Rutter, J.P. Struwing // BMC Cancer. – 2004.

21. Chacko, P. Polymorphisms in DNA repair gene XRCC1 and increased genetic susceptibility to breast cancer / P. Chacko, B. Rajan, T. Joseph, B.S. Mathew, M.R. Pillai // Breast Cancer Res Treat. – 2005. – V. 89. – P. 15-21.

22. Kim, S.U. XRCC1 genetic polymorphism and breast cancer risk / S.U. Kim [et al.] // Pharmacogenetics. – 2002. – V. 12. – P. 335-338.

23. Duell, E.J. Polymorphisms in the DNA repair gene XRCC1 and breast cancer / E.J. Duell, R.C. Millikan, G.S. Pittman, S. Winkel, R.M. Lunn, C.K. Tse, A. Eaton, H.W. Mohrenweiser, B. Newman, D.A. Bell // Cancer Epidemiol Biomarkers. – 2001. – V. 10. – P. 217-222.

24. Sangrajrang, S. Polymorphisms in three base excision repair genes and breast cancer risk in Thaiwomen / S. Sangrajrang [et al] // Breast Cancer Res Treat. – 2008. – P. 279-288.

25. Cao, W.H. Analysis of genetic variants of the poly (ADP-ribose) polymerase-1 gene in breast cancer in French patients / W.H. Cao [et al] // Mutat Res. – 2007. – V. 632. – P. 20-28.

26. Durocher, F. Genetic sequence variations and ADPRT haplotype analysis in French Canadian families with high risk of breast cancer / F. Durocher, Y. Labrie, G. Ouellette, J. Simard // J Hum Genet. – 2007. – V. 52. – P. 963-977.

27. Wu, B. Lack of an Association between Two BER Gene Polymorphisms and Breast Cancer Risk: A Meta-Analysis / B. Wu, H-L. Liu, S. Zhang, X-R. Dong, G. Wu // PLoS ONE. – 2012. – V. 7(12). – P. 50857.
28. Hu, Z. XRCC1 Polymorphisms and Cancer Risk: A Meta-analysis of 38 Case-Control Studies / Z. Hu, H. Ma, F. Chen, Q. Wei, H. Shen // Biology Cancer Epidemiology Biomarkers & Prevention. – 1 July 2005.
29. Caldecott, K.W. XRCC1 polypeptide interacts with DNA polymerase beta and possibly poly (ADP ribose) polymerase, and DNA ligase III is a novel molecular 'nick-sensor' in vitro / K.W. Caldecott, S. Aoufouchi, P. Johnson, S. Shall // Nucleic Acids Res. – 1996. – V. 24. – P. 4387-4394.
30. Khamisy, S. F. A requirement for PARP-1 for the assembly or stability of XRCC1 nuclear foci at sites of oxidative DNA damage / S.F. Khamisy, M. Masutani, H. Suzuki, K.W. Caldecott // Nucleic Acids Res. – 2003. – V. 31. – P. 5526-5533.
31. Lockett, K. L. The ADPRT V762A genetic variant contributes to prostate cancer susceptibility and deficient enzyme function / K.L. Lockett [et al.] // Cancer Res. – 2004. – V. 64. – P. 6344-6348.
32. Li, C. Polymorphisms in the DNA Repair Genes XPC, XPD, and XPG and Risk of Cutaneous Melanoma: a Case-Control Analysis / C. Li [et al.] // Cancer Epidemiol. Biomarkers Prev. – 2006. – V. 15(12). – P. 2526-2532.
33. Smith, T.R. Polygenic model of DNA repair genetic polymorphisms in human breast cancer risk / Smith T. R. [et al.] // Carcinogenesis. – November 2008. – V. 29. – P. 2132-2138.
34. Yamane, A. Differential ability of polymorphic OGG1 proteins to suppress mutagenesis induced by 8-hydroxyguanine in human cell in vivo / A. Yamane // Carcinogenesis. – 2004. – V. 25. – №. 9. – P. 1689-1694.
35. Zhang, Y. Genetic polymorphisms in base-excision repair pathway genes and risk of breast cancer / Y. Zhang [et al.] // Cancer Epidemiology Biomarkers & Prevention. – 2006. – V. 15. – №. 2. – P. 353-358.
36. Yan, Y. Association of OGG1 Ser326Cys polymorphism and pancreatic cancer susceptibility: evidence from a meta-analysis / Y. Yan [et al.] // Tumor Biology. – 2014. – V. 35. – №. 3. – P. 2397-2402.
37. Kim, K.-Y. Impact of genetic polymorphisms in base excision repair genes on the risk of breast cancer in a Korean population / K.-Y. Kim, W. Han, D.-Y. Noh, D. Kang, K. Kwack // Gene. – 2013. – V. 532. – №. 2. – P. 192-196.
38. Peng, Q.-L. Association between OGG1 Ser326Cys and APEX1 Asp148Glu polymorphisms and breast cancer risk: a meta-analysis / Q.-L. Peng [et al.] // Biology, Medicine Diagnostic Pathology. – June 2014.

39. Kashif, A. OGG1 Mutations and Risk of Female Breast Cancer: Meta-Analysis and Experimental Data Hindawi / A. Kashif, I. Mahjabeen, M. Sabir, H. Mehmood, M. A. Kayani // *Corporation Disease Markers*. – 2015. – P. 16.
40. Wood, R. D. Human DNA repair genes / R. D. Wood, M. Mitchell, J. Sgouros, T. Lindahl // *Science*. – 2001. – V. 291. – P.1284-1289.
41. Ramana, C.V. Activation of apurinic/apyrimidinic endonuclease in human cells by reactive oxygen species and its correlation with their adaptive response to genotoxicity of free radicals / C.V. Ramana, I. Boldogh, T. Izumi, S. Mitra // *Proc Natl Acad Sci U S A*. – 1998. – V. 95. – P. 5061-5066.
42. Barzilay, G. Structure and function of apurinic/apyrimidinic endonucleases / G. Barzilay, I.D. Hickson // *Bioessays*. – 1995. – V.17. – P. 713-719.
- 43 Дырхеева, Н. С. Количественный анализ 3'-5' – экзонуклеазной реакции апуриновой/апиримининовой эндонуклеазы 1 человека с ДНК, содержащими в одноцепочечном разрыве природные dYMP или их модифицированные аналоги / Н.С. Дыхарева, С.Н. Ходырева, О.И. Лаврик // *Биоорганическая химия*. – 2008. – Т.34. – № 2. – С. 210-219.
44. Mutairi, F. Association of DNA Repair Gene APE1 Asp148Glu Polymorphism with Breast Cancer Risk / F. Mutairi [et al.] // *Dis Markers*. – Jul. 2015.
45. Costa, R. M. A. The eukaryotic nucleotide excision repair pathway / R.M.A. Costa [et al.] // *Biochimie*. – 2003. – V. 85. – № 11. – P. 1083-1099.
46. Hu, Z. DNA repair gene XPC genotypes/haplotypes and risk of lung cancer in a Chinese population / Z. Hu [et al.] // *Int. J. Cancer*. – 2005. – V.115. – P. 478-483.
47. Sanyal, S. Polymorphisms in DNA repair and metabolic genes in bladder cancer / S. Sanyal [et al.] // *Carcinogenesis*. – 2004. – V. 25. – P. 729-734.
48. Malik, S.S. XPC as breast cancer susceptibility gene: evidence from genetic profiling, statistical inferences and protein structural analysis Cancer / S.S. Malik [et al.]. – 2020. – V. 27(6). – P. 1168-1176.
49. Qazvini, M.G. A33512C and Intronic Poly(AT) Insertion/Deletion (PAT-/+) Polymorphisms of the XPC Gene and Their Association With the Risk of Breast Cancer / M.G. Qazyini [et al.] // *Clin Breast Cancer*. – 2020. – V. 20(6). – P. 771-777.
50. Yang, X. Association of XPC polymorphisms with susceptibility and clinical outcome to chemotherapy in breast cancer patients / X. Yang [et al.] // *Cancer Sci*. – 2012. – V. 103(7). – P. 1207-14.

51. He, B.-S. Nucleotide excision repair pathway gene polymorphisms are linked to breast cancer risk in a Chinese population / B.-S. He [et al.] // *Oncotarget*. – 2016. – V. 7(51). – P. 84872-84882.
52. Hussien, Y. M, Impact of DNA repair genes polymorphism (XPD and XRCC1) on the risk of breast cancer in Egyptian female patients / Y.M. Hussien, A.F. Gharib, H.A. Awad, R.A. Karam, W.H. Elsayy // *Mol Biol Rep*. – 2012. – V. 39. – P.1895-901.
53. Samson, M. Xpd lys751gln increases the risk of breast cancer / M. Samson, S.S. Singh, R. Rama, V. Sridevi, T. Rajkumar // *Oncol Lett*. – 2011. – V. 2. – P. 155-9.
54. Jelonek, K. Association between single-nucleotide polymorphisms of selected genes involved in the response to DNA damage and risk of colon, head and neck, and breast cancers in a Polish population / K. Jelonek [et al] // *J. Appl Genet*. – 2010. – V. 51. – P. 343-52.
55. Yulan, Y. XPD Asp312Asn and Lys751Gln polymorphisms and breast cancer susceptibility: A meta-analysis / Y. Yulan [et al.] // *Tumor Biol*. – 2014. – V. 35. – P. 1907-1915.
56. Samson, M. XPD Lys751Gln increases the risk of breast cancer / M. Samson, S.S. Singh, R. Rama, V. Sridevi, T. Rajkumar // *Oncol Lett*. – 2011. – V. 2(1). – P. 155-159.
57. Jiang, Z. Associations between XPD polymorphisms and risk of breast cancer: a meta-analysis / Z. Jiang, C. Li, Y. Xu, S. Cai, X. Wang // *Breast Cancer Research and Treatment*. – 2010. – V. 123(1). – P.203-212.
58. Wang, T. Polymorphisms in the DNA Repair Gene ERCC2/XPD and Breast Cancer Risk: A Hap-Map-Based Case-Control Study Among Han Women in a Chinese Less-Developed Area / T. Wang [et.al.] // *Genetic Testing and Molecular Biomarkers*. – 2014. – V.18.
59. Romanowicz - Makowska, H. Single nucleotide polymorphisms in the homologous recombination repair genes and breast cancer risk in Polish women / H. Romanowicz-Makowska [et al.] // *Tohoku J Exp Med*. – 2011. – V. 224(3). – P. 201-208.
60. Silva, S.N. Breast cancer risk and common single nucleotide polymorphisms in homologous recombination DNA repair pathway genes XRCC2, XRCC3, NBS1 and RAD51 / S.N. Silva [et al.] // *Cancer Epidemiol*. – 2010. – V. 34(1). – P. 85-92.
61. He, X.F. Association between the XRCC3 T241M polymorphism and risk of cancer: evidence from 157 case-control studies / X. F. He [et al.] // *Gene*. – 2013. – V. 4. – P. 523.

62. Kinjal, D. XRCC2 and XRCC3 Polymorphisms and Breast Cancer – A Case – Control Study from West India / D. Kinjal [et al.] // GCSMC J Med Sci. – V. 6. – No. 1.

63. Smolarz, B. Association between single nucleotide polymorphisms (SNPs) of XRCC2 and XRCC3 homologous recombination repair genes and triple – negative breast cancer in polish women / B. Smolarz, M. Makowska, D. Samulak, M.M. Michalska, E. Mojs, M. Wilezak, H. Romanowicz // Clin Ezp Med. – 2015. – V. 15. – P. 151-157.

64. He, X.F. Association between the XRCC3 polymorphisms and breast cancer risk: meta-analysis based on case–control studies / X.F. He, W. Wei, J. Su, Z.X. Yang, Y. Liu, Y. Zhang, D.P. Ding, W. Wang // Mol Biol Rep. – 2012. – V. 39. – P. 5125-5134.

65. Qureshi, Z. Correlation between selected XRCC2, XRCC3 and RAD51 gene polymorphisms and primary breast cancer in women in Pakistan / Z. Qureshi, I. Mahjabeen, R. Baig, M. Kayani // Asian Pac J Cancer. – 2014. – V.15 (23). – P. 10225-9.

66. Чумаков, П. М. Белок p53 и его универсальные функции в многоклеточном организме / П.М. Чумаков // Успехи биолог. химии. – 2007. – № 47. – С. 3-52.

67. Johnson, N. Counting potentially functional variants in BRCA1, BRCA2 and ATM predicts breast cancer susceptibility / N. Johnson // Human Molecular Genetics. – 2007. – V. 16. – № 9. – P. 1051-1057.

68. Zhang, B. Genetic variants associated with breast-cancer risk: comprehensive research synopsis, meta-analysis, and epidemiological evidence / B. Zhang, A. Beeghly-Fadiel, J. Long, W. Zheng // Lancet Oncol. – 2011. – V. 12. – P. 477-88.

69. Renwick, A. ATM mutations that cause ataxia-telangiectasia are breast cancer susceptibility alleles / A. Renwick [et al.] // Nat Genet. – 2006. – V. 38. – P. 873-5. 27.

70. Thompson, D. Cancer risks and mortality in heterozygous ATM mutation carriers / D. Thompson [et al.] // J Natl Cancer Inst. – 2005. – V. 97. – P. 813-822.

71. Janin, N. Breast cancer risk in ataxia telangiectasia (AT) heterozygotes: haplotype study in French AT families / N. Janin [et al.] // Br J Cancer. – 1999. – V.80. – P. 1042-1045.

72. Olsen, J.H. Breast and other cancers in 1445 blood relatives of 75 Nordic patients with ataxia telangiectasia / J.H. Olsen [et al.] // Br J Cancer. – 2005. – V. 93. – P. 260-265.

73. Easton, D.F. Gene-panel sequencing and the prediction of breast-cancer risk / D.F. Easton [et al.] // *N Engl J Med.* – 2015. – V.372. – P. 2243-2257.

74. Jerzak, K.J. Ataxia–telangiectasia gene (ATM) mutation heterozygosity in breast cancer: a narrative review / K.J. Jerzak, T. Mancuso, A. Eisen // *Current Oncology.* – April 2018. – V. 25. – № 2.

75. Groep, P. Pathology of hereditary breast cancer / P. Groep, E. Wall, P.J. Diest // *Cellular Oncology.* – 2011. – V. 34(2). – P. 71-88.

76. Zhang, Z.H. Current evidence on the relationship between two polymorphisms in the NBS1 gene and breast cancer risk: a meta-analysis / Z.H. Zhang, L.S. Yang, F. Huang, J.H. Hao, P.Y. Su, Y.H. Sun // *Asian Pac J Cancer Prev.* – 2012. – V. 13. – P. 5375-5379.

77. Damiola, F. Rare key functional domain missense substitutions in MRE11A, RAD50, and NBN contribute to breast cancer susceptibility: results from a Breast Cancer Family Registry case-control mutation-screening study / F. Damiola // *Breast Cancer Research.* – 2014. – V. 16. – P.58.

78. Соколенко, А. П. Что нужно знать о наследственном раке молочной железы и яичников / А.П. Соколенко, А.Г. Ивлева, Е.Н. Имянитов. – СПб.: СЗГМУ им. И. И. Мечникова МЗ РФ. – 2016. – 46с.

79. Заридзе, Д. Г. Канцерогенез / Д.Г. Заридзе. – М.: Медицина, 2004. – 576 с.

80. Батенева, Е.И. Высокая частота мутаций в генах BRCA1, BRCA2, CHEK2, NBN, BLM у больных раком яичников в российской популяции / Е.И. Батенева, М.Г. Филиппова, А.С. Тюляндина, А.А. Мещеряков, К.И. Жордания, А.Н. Грицай, В.В. Кадочникова, Д.Д. Абрамов, А.А. Рагимов, Д.Ю. Трофимов, Л.Н. Любченко // *Опухоли женской репродуктивной системы.* – 2014. – С. 51-56.

81. Имянитов, Е.Н. Наследственный рак молочной железы / Е.Н. Имянитов // *Практическая онкология.* – 2010. – №11(4). – С. 258-266.

82. Снигирева, Г.П. Алгоритм молекулярно-генетического обследования для выявления наследственного BRCA-ассоциированного рака молочной железы / Г.П. Снигирева [и др.] // *Альманах клинической медицины.* – 2019. – № 47 (1). – С.54-65.

83. Гимаева, Р.Р. Мутации в генах BRCA1 и BRCA2 как этиологический фактор наследственного рака молочной железы / Р.Р. Гимаева, Е.А. Куприянова, Д.И. Габелко // *Вестник современной клинической медицины.* – 2020. – Т. 13. - Вып. 4. – С. 39-43.

84. Будик, Ю.А. Генетически обусловленный рак молочной железы: особенности, хирургическая профилактика / Ю.А. Будик, О. В. Крохина, В. А. Соболевский, Л.Н. Любченко // Вестник РОНЦ им. Н. Н. Блохина РАМН. – 2012. – Т. 23. – № 2.
85. Baretta, Z. Effect of BRCA germline mutations on breast cancer prognosis / Z. Baretta [et al.] // Medicine (Baltimore). – 2016. – V. 95(40). – P. 4975.
86. Ansari, N. Prognostic Significance of CHEK2 Mutation in Progression of Breast Cancer / N. Ansari, S. Shahrabi, A. Khosravi, R. Shirzad, H. Rezaeean // Lab Med. – 2019. – V. 50(3). – P. 36-41.
87. Hemminki, K. Low-risk variants FGFR2, TNRC9 and LSP1 in German familial breast cancer patients / K. Hemminki [et al.] // Int J Cancer. – 2010. – V. 126. – P. 2858-2862.
88. Weitzel, J.N. Pathogenic and likely pathogenic variants in PALB2, CHEK2, and other known breast cancer susceptibility genes among 1054 BRCA-negative Hispanics with breast cancer / J.N. Weitzel [et al.] // Cancer. – 2019. – V. 125 (16). – P. 2829-2836.
89. Southey, M.C. PALB2, CHEK2 and ATM rare variants and cancer risk: data from COGS / M.C. Southey [et al.] // Med Genet. – 2016. – V. 53. – P. 800-811.
90. Bermishevaa, M.A. Frequency of CHEK2 Gene Mutations in Breast Cancer Patients from Republic of Bashkortostan / M. A. Bermishevaa [et al.] // Molecular Biology. – 2014. – V. 48. – № 1. – P. 46-51.
91. Медико-генетический центр (лаборатория молекулярной патологии). – [Электронный ресурс]. – URL: <https://genomed.ru>

Работа выполнена в Лаборатории цитогенетики Института экологии человека ФИЦ УУХ СО РАН под руководством доктора биологических наук, доцента В.И. Мининой.

**ИЗУЧЕНИЕ ГЕНОТОКСИЧЕСКИХ ЭФФЕКТОВ ВОЗДЕЙСТВИЯ
ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ СРЕДЫ НА РАБОЧИХ УГОЛЬНЫХ
ТЕПЛОЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ**

**STUDY OF GENOTOXIC EFFECTS OF THE WORK ENVIRONMENT
ON WORKERS OF COAL-FIRED THERMAL POWER PLANTS**

*Федосеев Владислав Игоревич, аспирант, Лаборатория цитогенетики
Института экологии человека ФИЦ УУХ СО РАН*

*Vladislav I. Fedoseev, graduate student, Laboratory of cytogenetics
Institute of Human Ecology FRC CCC SB RAS
E-mail: fedoseev.vlig@gmail.com*

Аннотация: Тестирование показателей у работников, контактирующих с промышленными мутагенами, позволяет судить о воздействии факторов производственной среды на геном человека. Используя микроядерный тест с цитохалазиновым блоком были обследованы 279 человек: 128 сотрудников угольной теплоэлектростанции и 151 здоровый житель Кемеровской области. Процесс получения энергии из каменного угля сопровождается целым комплексом вредных воздействий на человека: угольные пылевые частицы разного размера, полициклические ароматические углеводороды (ПАУ), тяжёлые металлы и природные радиоактивные вещества. Установлено повышение частоты встречаемости клеток с микроядрами, мостами и протрузиями у рабочих по сравнению со здоровыми жителями региона. Рассмотрено влияние пола, возраста, типа работы на предприятии на показатели тестирования. Полученные данные подтверждают существующее представление о потенциальной опасности угольной энергетики для здоровья человека и обосновывают необходимость модернизации существующих производств и целесообразность перехода к другим источникам энергии.

Abstract: Testing indicators in workers exposed to industrial mutagens makes it possible to judge the impact of factors of the industrial environment on

the human genome. Using a cytochalasin-block micronucleus test 279 people were examined: 128 employees of a coal-fired thermal power plant and 151 healthy inhabitants of the Kemerovo region. The process of obtaining energy from hard coal is accompanied by a whole complex of harmful effects on humans: coal dust particles of different sizes, polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs), heavy metals and natural radioactive substances. An increased incidence of cells with micronuclei, bridges and protrusions was found in workers compared to healthy residents of the region. The influence of sex, age, type of work at the enterprise on the testing indices was considered. The obtained data confirm the existing idea about the potential danger of coal energy for human health and substantiate the necessity of modernization of existing productions and expediency of transition to other energy sources.

Ключевые слова: микроядра, микроядерный тест, экология, цитогенетика, теплоэлектростанции.

Key words: micronucleus, micronucleus test, ecology, cytogenetics, thermal power plants.

Введение

Микроядерный тест с цитокинетическим блоком (СВМН) на лимфоцитах крови в настоящее время распространён достаточно широко. Данный метод уже нашёл обширное применение в медицине, биологии, экологии. Микроядерный тест (МЯ) используется для тестирования новых материалов, биологически активных веществ и лекарств; регистрации последствий, вызванных различными заболеваниями и оксидативным стрессом.

На 2020 год, по официальной статистике, на территории Российской Федерации зарегистрированы 376 электростанций, использующих различное топливо и материалы для генерации и выработки электроэнергии. В Западных и Северо-Западных областях находится 41 электростанция, из которых только 7,32%, т.е. 3 комплекса используют уголь как основное топливо. По мере продвижения на восток, на Урале, фактическое число таких предприятий увеличивается до 6, но в процентном соотношении всё ещё минимально – 6,13%. Уже в Сибирском Федеральном Округе (СФО) подавляющее большинство предприятий вырабатывают энергию только из угля: 43 ТЭС из 53 по округу. СФО является лидером по числу угольных перерабатывающих предприятий, на которых задействовано огромное количество работников.

Одной из текущих проблем медицинской и экологической генетики является необходимость оценки индивидуальных рисков у работников, непосредственно контактирующих в процессе своей трудовой деятельности с целым рядом мутагенов и канцерогенов. При получении энергии из каменного угля фиксируется воздействие на человека, задействованного на производстве, целого ряда факторов и соединений, негативно сказывающихся на сохранении стабильности генетического материала, провоцировании перестроек и разрывов ДНК, изменении экспрессии генов: полициклические ароматические углеводороды (ПАУ), угольные пылевые частицы различного размера, природные радиоактивные вещества ториевых, урановых и актиноурановых рядов, тяжёлые металлы.

Ряд этих факторов представляет работу на предприятиях по переводу топлива в энергию экологически опасной для человека. В связи с этим, данная проблема достаточно остра, необходимо установить причины и последствия с целью минимизирования рисков для работников теплоэлектростанций.

Материалы методы

Исследуемые выборки. Всего было обследовано 279 человек, проживающих на территории Кемеровской области (табл. 1). В опытную группу (сотрудники Ново-Кемеровской угольной ТЭЦ и ГРЭС) вошли 128 человек, непосредственно контактирующие с угольным топливом. Это слесари, аппаратчики, машинисты и прочие специалисты, работающие, в основном, в производственных цехах (топливно-транспортный, химический, котельный). Средний возраст в группе – 51 год. Группа популяционного контроля сформирована из жителей Кемеровской области, не работающих на промышленных предприятиях и являющихся донорами Кемеровской областной станции переливания крови. В составе группы 151 человек со средним возрастом 49 лет. Все участники информированы о целях и задачах исследования. Это подтверждено информационным согласием, утверждённым Этической комиссией Института экологии человека ФИЦ УУХ СО РАН (Федеральный исследовательский центр угля и углехимии Сибирского отделения Российской академии наук).

Таблица 1

Характеристика изученных групп

Параметры	Ново-Кемеровская угольная ТЭЦ и ГРЭС	Популяционный контроль
Число обследованных	128	151
Возраст, лет		
Медиана (мода)	53 (60)	49 (50)
25-75% (квартили)	46 – 58,5	46-54
Статус курения		
Курящие, %	45 (31,15%)	49 (32,45%)
Некурящие, %	83 (68,85%)	102 (67,55%)
Хронические заболевания		
Имеются, %	45 (31,15%)	43 (28,48%)
Отсутствуют, %	83 (68,85%)	108 (71,52%)

Микроядерный тест с цитохалазиновым блоком на лимфоцитах крови человека in vitro

Микроядерный тест на лимфоцитах периферической крови выполнялся на основе метода М. Fenech и соавторством [1] и рекомендациями Ф.И. Ингель [2].

Подготовка препаратов выполнялась строго в стерильных условиях. Клетки периферической крови культивировали в течение 72 ч в условиях цитокинетического блока: к 200 мкл венозной крови добавлялась среда RPMI-1640 с добавлением L-глутамина (40 мкг/мл) и антибиотиком гентамицином (40 мкг/мл) в объеме 3 мл и 800 мкл бычьей эмбриональной сыворотки. Итоговый объем рабочего препарата равнялся 4 мл. Перед инкубированием на 44 ч при температуре 37 градусов Цельсия, добавлялось 30 мкг фитогемагглютинаина в каждый флакон. По прошествии первого периода инкубации, в каждый образец вносился цитохалазин В в объеме 24 мкл до конечной концентрации в 6 мкг/мл и начинался второй период инкубации на 28 ч при той же температуре.

Следующим этапом являлась гипотоническая обработка 0,9% раствором KCl и фиксация метанол-уксусным фиксатором (пропорция 3 к 1). Полученная рабочая суспензия лимфоцитов (около 1,5 мл на каждый образец) переносилась в эппендорфы для дальнейшего хранения и последующего анализа.

Окрашивание проводилось 2% красителем Гимза (Merck) с предварительным капельным нанесением образца на предметное стекло. Среднее время окрашивания каждого препарата составило 12 минут.

На каждом полученном предметном стекле оценивался пролиферативный пул из 500 клеток с различной степенью ядерности. При анализе 500 клеток отмечались различные виды цитогенетических нарушений: число клеток с МЯ (микроядрами), с протрузиями и нуклеоплазменными мостами. Затем проводился дополнительный подсчёт числа клеток с двумя ядрами до общего пула данных клеток в 1000 с полным описанием наблюдаемых цитогенетических нарушений.

Статистический анализ

Статистическая обработка полученных показателей проводилась с использованием пакетов прикладных программ Statistica 10. Пролиферативные показатели подсчитывались в процентах (%), частоты цитогенетических нарушений фиксировались в промилле (‰). Группы сравнивались при помощи рангового U-теста Манна-Уитни. Достоверными считались различия при $p < 0,05$.

Результаты и обсуждение

Результаты по цитогенетическим нарушениям представлены в таблице 2.

Таблица 2

Цитогенетические показатели в рассматриваемых группах

Показатель, ‰	ТЭЦ и ГРЭС			Контроль			Р
	Мо	Ме	20-75%	Мо	Ме	25-75%	
Клетки с 1 МЯ	8	8	5,5-11	6	6	5-8	0,000027*
Клетки с 2 МЯ	1	0	0-2	0	0	0-1	0,000021*
Клетки с 3 МЯ	0	0	0-0	0	0	0-0	0,159093

Всего клеток с МЯ	11	11	7-17	8	8	6-9	0,000001*
Клетки с мостоми	0	11,35	6,77-19,23	3	3	1-3	0,000001*
Клетки с внутр. мостоми	0	4,05	0-10,83	0	1	0-1	0,000024*
Клетки с протрузиями	0	23,81	13,39-36,72	0	15	10-19	0,000001*

Примечание: МЯ – микроядро, Мо – мода, Ме – медиана, 25-75% – нижний и верхний квартили, * – достоверные отличия по U-критерию Манна-Уитни.

Отмечается качественное увеличение всех цитогенетических показателей у работников углеперерабатывающего предприятия, кроме частоты клеток с 3 микроядрами. Данное увеличение характеризует общий уровень вредности на предприятии в сравнении с условиями жизни в Кемеровской области.

При сравнении показателей пролиферативной активности не отмечается повышения частоты одно- и двуядерных клеток у группы работников, однако все остальные показатели повышены (табл.3).

Таблица 3

Пролиферативная активность в образцах рассматриваемых групп

Показатель	ТЭЦ и ГРЭС			Контроль			Р
	Mean	Me	20-75%	Mean	Me	25-75%	
1яд клетки, %	25,51	23,80	21,10-28,20	26,38	25,00	18,20-31,20	0,967165
2яд клетки, %	48,64	49,20	44,00-53,30	48,67	49,60	46,60-53,20	0,575073
3яд клетки, %	6,99	7,00	4,60-9,10	5,82	5,20	4,40-6,60	0,000365 *
4яд клетки, %	16,98	17,40	14,30-20,20	13,65	14,30	10,80-16,80	0,000001 *
5яд клетки, %	0,96	0,60	0-1,40	1,00	0,80	0,60-1,60	0,029307 *

бяд клетки, %	0,25	0	0-0,40	0,23	0,20	0-0,40	0,011095 *
7яд клетки, %	0,005	0	0-0	0,03	0	0-0	0,014103 *
8яд клетки, %	0	0	0-0	0,01	0	0-0	0,042156 *
Индекс репликации	2,09	2,15	2,08-2,20	1,88	2,01	1,87-2,09	0,000001 *
Индекс пролиферации	1,98	2,00	1,96-2,06	1,77	1,81	1,67-1,82	0,000001 *
Апоптоз, %	0,51	0,40	0,20-0,60	1,21	1,20	0,60-1,80	0,000001 *
Митоз, %	0,76	0,60	0,20-1,20	3,29	3,60	2,60-4,20	0,000296 *

Примечание: Mean – среднее значение, Me – медиана, 25-75% – нижний и верхний квартили, * – достоверные отличия по U-критерию Манна-Уитни.

Возникновение в клетке микроядра не является простым постмитотическим событием, хоть и принято считать, что это происходит в результате отставания ацентрических фрагментов от веретена деления во время анафазы или телофазы митоза с последующей невозможностью включения данных фрагментов в дочерние ядра. В результате, принято считать, что повышенная частота микроядер обуславливается воздействием генотоксических агентов с общим кластогенным эффектом [3]. Зафиксированная частота в группе работников - $12,23 \pm 0,62\%$, в контроле – $7,60 \pm 0,27\%$.

На углеперерабатывающем предприятии сотрудники подвержены влиянию радиации, будь то α -излучения радона или же β - и γ -радиации самого угля [4]. В результате такого воздействия анафазные мосты не разрываются, их окружают ядерные мембраны с последующим формированием нуклеоплазменных мостов [5]. Данный факт подтверждается результатами исследования с более чем трёхкратным возрастанием часто обнаружения мостов в группе энергетиков: с $4,01 \pm 0,62\%$ до $15,06 \pm 1,78\%$.

Протрузии, или ядерные почки, морфологически, максимально схожи с описанными ранее микроядрами, однако их выделяет соединение самой структуры с ядром при помощи узкого или широкого «стебелька»

нуклеоплазменного материала, причем сам вид протрузии целиком и полностью зависит от стадии формирования данной структуры.

Данные структуры в настоящее время описаны достаточно скудно, однако ряд работ позволяет понимать общие принципы и варианты образования:

1. Воздействие на клетку гамма-излучения. В результате в ядре обнаруживались различные белковые комплексы семейства «Rad», они формировались на протяжении трёх часов после факта облучения и формировали протрузии, вытесненные за пределы ядра и содержащие концентрированные комплексы [6].

2. При дефиците фолиевой кислоты. В клетках, испытывающих дефицит данной кислоты могут отсутствовать теломерные и центромерные последовательности ДНК, что приводит к образованию как МЯ, так и протрузий. Отмечается, что ДНК без указанных последовательностей чаще замечена в протрузиях (43% случаев), чем в МЯ (13% случаев). Для фиксации данного нарушения используют центромерные и теломерные зонды [7].

3. При разрушении нуклеоплазменного моста, когда его остатки формируют целые обрывки постов при перемещении к ядру клетки [8].

В реалиях данной работы фиксируется повышение частоты протрузий у работников предприятия более чем в два раза, что обуславливается характером работы и условиями труда на предприятии.

Полученные в ходе исследования результаты перекликаются с работами, где проводится анализ вредности угля и его производных, будь то шахтёры [9] или работники угольно-перерабатывающей сферы [10].

В литературе отмечается, что сама угольная пыль и летучая зола уже являются сильными канцерогенами и могут индуцировать цитогенетические повреждения. Например, у работников открытых угольных шахт отмечается более чем двукратное повышение частот клеток с микроядрами с $(3,1 \pm 0,4)\%$ у контрольной группы до $(7,5 \pm 0,7)\%$ у работников и повышенная частота фиксаций протрузий с $(5,5 \pm 0,5)\%$ до $(12,3 \pm 1,2)\%$ [11]. Так же, уже в другой работе, отмечается, что и у работников, задействованных лишь в транспортировке золы, присутствует явно выраженное повышение частот микроядер в сравнении с контрольной группой $((8,20 \pm 0,61)\%$ против $(6,56 \pm 0,43)\%$).

Было проведено более детальное сравнение показателей в обследуемых группах. Добавлены критерии пола, возраста, статуса

курения, наличия хронических заболеваний и зоны работы (цеха) для энергетиков.

При сравнении только мужчин и только женщин установлено, что выявленное качественное повышение показателей сохраняется для обоих полов (табл. 4 – 5).

Таблица 4

Цитогенетические показатели у мужчин

Показатели, ‰	М Контроль №=71			М Работники №=88			p
	Mean	20-75%	SE	Mean	20-75%	SE	
Клетки с 1 МЯ	6,74194	5-8	0,289911	9,13636	6-11	0,578521	0,008568 *
Клетки с 2 МЯ	0,35484	0-1	0,086340	1,48864	0-2	0,212584	0,000006 *
Клетки с 3 МЯ	0,01613	0-0	0,016129	0,13636	0-0	0,046232	0,024589 *
Всего клеток с МЯ	7,50000	6-9	0,344750	12,57955	7-17	0,783636	0,000005 *
Клетки с мостами	4,55565	0—3	1,213356	14,22665	4,55-19,69	1,350797	0,000001 *
Клетки с внутр. мостами	0,86690	0-1	0,175596	7,05722	0-9,88	1,160201	0,000010 *
Клетки с протрузиями	12,16719	0-19	1,433909	29,80023	12,96-35,96	2,762512	0,000001 *

Примечание: Mean – среднее значение, 25-75% – нижний и верхний квартили, * – достоверные отличия по U-критерию Манна-Уитни.

Таблица 5

Цитогенетические показатели у женщин

Показатели, ‰	Ж Контроль №=71			Ж Работники №=40			p
	Mean	20-75%	SE	Mean	20-75%	SE	
Клетки с 1 МЯ	6,11940	5-7	0,213224	8,80000	5-11	0,767280	0,004335 *

Клетки с 2 МЯ	0,76119	0-1	0,216975	1,15000	0-2	0,197906	0,064906
Клетки с 3 МЯ	0,00000	0-0	0,000000	0,10000	0-0	0,048038	0,391669
Всего клеток с МЯ	7,70149	6-8	0,402398	11,4500 0	6,5- 15,5	1,008267	0,000492 *
Клетки с мостами	3,53106	2-3	0,475832	16,9025 1	7,95- 18,60	2,315880	0,000001 *
Клетки с внутр. мостами	1,15625	0-1,5	0,168902	8,19892	0-12,35	1,670364	0,001220 *
Клетки с протрузиями	15,88806	12 -19	0,759119	30,6568 9	15,99- 39,36	3,664635	0,000003 *

Примечание: Mean – среднее значение, 25-75% – нижний и верхний квартили, * – достоверные отличия по U-критерию Манна-Уитни.

Стоит отметить отсутствие клеток с тремя микроядрами у здоровых женщин Кемеровской области, вероятно, данный факт стоит соотносить с более здоровым образом жизни и меньшим влиянием канцерогенных и деструктивных для ДНК факторов.

Для дальнейшего анализа, внутри каждой группы проведено дополнительное разделение на индивидов возрастом до 50 лет и возрастом старше 50 лет. Повышение показателей сохраняется для каждой возрастной когорты (табл. 6 – 7).

Таблица 6

Цитогенетические показатели в группах до 50 лет

Показатели, ‰	Контроль до 50 лет, №=94			Работники до 50 лет, №=80			p
	Mean	20- 75%	SE	Mean	20- 75%	SE	
Клетки с 1 МЯ	6,37037	5-8	0,238594	9,47917	6-11,5	0,847394	0,001581 *
Клетки с 2 МЯ	0,51852	0-1	0,080720	1,37500	0-2	0,280300	0,006046 *
Клетки с 3 МЯ	0,00000	0-0	0,000000	0,16667	0-0	0,074931	0,001200 *
Всего клеток с МЯ	7,45679	6-9	0,264137	12,83333	6-17	1,220152	0,000377 *

Клетки с мостами	3,06201	1-3	0,644446	14,34709	4,62-21,69	1,772629	0,000001 *
Клетки с внутр. мостами	1,16902	0-2	0,152568	7,69723	0-13,71	1,260064	0,000217 *
Клетки с протрузиями	14,79062	12-19	0,665919	30,48406	12,56-39,46	3,420607	0,000037 *

Примечание: Mean – среднее значение, 25-75% – нижний и верхний квартили, * – достоверные отличия по U-критерию Манна-Уитни.

Таблица 7

Цитогенетические показатели в группах старше 50 лет

Показатели, ‰	Контроль старше 50 лет, №=57			Работники старше 50 лет, №=48			p
	Mean	20-75%	SE	Mean	20-75%	SE	
Клетки с 1 МЯ	6,50000	6-8	0,275839	8,58974	5-11	0,534347	0,016816 *
Клетки с 2 МЯ	0,65217	0-1	0,309616	1,38462	0-2	0,196736	0,001163 *
Клетки с 3 МЯ	0,02174	0-0	0,021739	0,10256	0-0	0,034574	0,456267
Всего клеток с МЯ	7,86957	6-8	0,580362	11,69231	7-15	0,685298	0,000070 *
Клетки с мостами	5,65318	1-4	1,258275	15,04679	6,90-17,86	1,541503	0,000001 *
Клетки с внутр. мостами	0,81579	0-1	0,205894	7,23063	0-10,45	1,359119	0,000156 *
Клетки с протрузиями	13,58206	0-19	1,788683	30,11870	14,39-34,88	2,962093	0,000001 *

Примечание: Mean – среднее значение, 25-75% – нижний и верхний квартили, * – достоверные отличия по U-критерию Манна-Уитни.

Для фактора курения выводы были идентичными: курящие работники имели более высокие показатели цитогенетических нарушений по сравнению с курящими из популяционного контроля, однако внутри групп не удалось установить качественного повышения уровня нарушений

в зависимости от употребления табака: показатели либо максимально приближены, либо незначительно повышены.

В 1989 и 1993 годах было проведено исследование на предприятии по переработке летучей золы угля. В 1989 году было установлено повышение частот микроядер у работников предприятия, по сравнению с контрольной группой. Авторы обуславливали этот факт лишь влиянием угольной золы, т.к. в качестве группы сравнения выступали сотрудники мукомольного производства со схожими условиями труда, различающимися ли присутствием в воздухе рабочей зоны золы. После чего, в течение двух лет, на производстве были внедрены новые средства защиты, улучшена фильтрация воздуха в рабочей зоне и исследование было проведено вновь [12]. После улучшения условий труда, на общем фоне повышение частот МЯ более не фиксировалось, однако было установлено, что курящие работники имели большее число цитогенетических нарушений, чем некурящие в контрольной группе. При этом у курящих индивидов сложилась прямо противоположная ситуация: сотрудники характеризовались частотой МЯ = $(5,2 \pm 3,3) \text{ ‰}$, тогда как в группе сравнения данный показатель увеличивался до $(7,1 \pm 4,4) \text{ ‰}$ [13].

В ситуации с хроническими заболеваниями установлено, что наличие таковых неблагоприятно влияет на стабильность генома индивидов и повышает частоту нарушений вкупе с факторами рабочего процесса. Наиболее явно выделяется частота клеток с мостами: у жителей Кемеровской области, имеющих хронические заболевания данный показатель равен $(5,30 \pm 0,18) \text{ ‰}$, в то время как у работников ТЭЦ и ГРЭС, так же имеющих хронические заболевания, данное значение возрастает многократно, до $(16,13 \pm 2,15) \text{ ‰}$.

Нельзя не отметить факт того, что сам принцип работы теплоэлектростанций подразумевает множество типов работы с разной степенью негативного влияния на организм. Для более точной характеристики работы, было произведено разделение работников по цехам. Результаты представлены на рисунке 1.

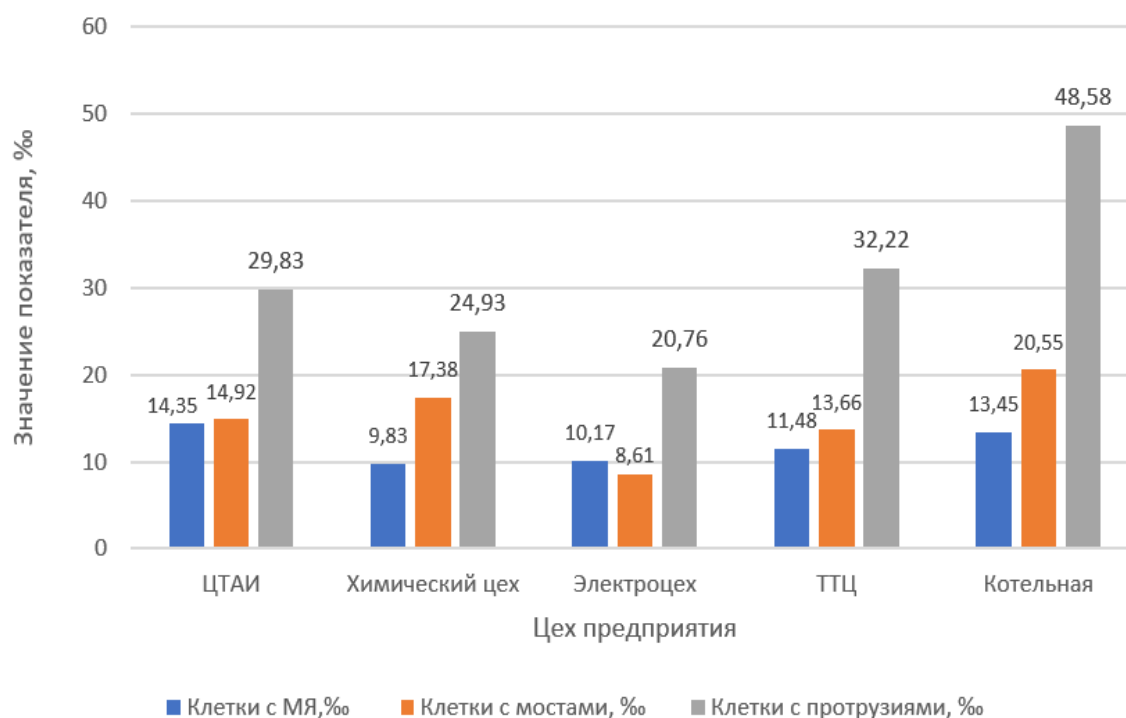


Рисунок 1. Показатели цитогенетических нарушений у работников основных цехов ТЭЦ и ГРЭС

Примечание: ЦТАИ – цех тепловой автоматики и измерений, ТТЦ – топливно-транспортный цех

По результатам исследования определено, что котельная является самым вредным для человека подразделением на теплоэлектростанции. Показатели теста у работников данного цеха превышают таковые в любом другом отделении. В котельной регистрируется высокое содержание ПАУ, тяжёлых металлов, радиоактивных частиц и различных примесей. Повышенные показатели связаны с принципом работы и применяемыми методами: работники занимаются подачей топлива, золоудалением, удалением продуктов сгорания, контактируют с легколетучими соединениями [14].

Самые низкие показатели установлены для электроцеха, так как он служит в основном для контроля работы оборудования и там отсутствует или минимизирован контакт с негативными факторами труда.

Заключение

В результате проведённой работы установлено качественное повышение показателей микроядерного теста на лимфоцитах периферической крови у работников углеперерабатывающей

промышленности. Не обнаружено связи возраста и курения на показатели теста внутри исследуемых групп. Кроме того, предполагается, что наличие хронических заболеваний увеличивает частоту возникновения цитогенетических нарушений при негативном влиянии производственной среды. Так же отмечено, что котельная является цехом с наибольшим содержанием вредных веществ и соединений, впоследствии влияющих на частоты микроядер, мостов и протрузий.

Список литературы

1. HUMN project: detailed description of the scoring criteria for the cytokinesisblock micronucleus assay using isolated human lymphocyte cultures / M. Fenech [et al.] // *Mutat Res.* – 2003. – V. 534. – No. 1-2. – P. 65-75.
2. Ингель, Ф.И. Перспективы использования микроядерного теста на лимфоцитах крови человека, культивируемых в условиях цитокинетического блока. Часть 2. Факторы среды и индивидуальные особенности в системе нестабильности генома человека. Дополнительные возможности теста. Методика проведения экспериментов и цитогенетического анализа // *Экологическая генетика.* – 2006. – Т. 4. – № 4. – С. 38-54.
3. Resolution of anaphase bridges in cancer cells / D. R. Hoffelder [et al.] // *Chromosoma.* – 2004. – Vol. 112. – № 8. – P. 389-397.
4. Сравнительная оценка радиационных и токсических рисков в Ангарске / С. В. Панченко [и др.] // *Радиация и риск.* – 2017. – Т. 26. – № 2. – С. 83-96.
5. Chromosomal changes: induction, detection methods and applicability in human biomonitoring / R. A. Mateuca [et al.] // *Biochimie.* – 2006. – V. 88. – № 11. – P. 1515-1531.
6. Sequestration of mammalian Rad51-recombination protein into micronuclei / T. Haaf [et al.] // *J. Cell Biol.* – 1999. – V. 144 (1). – P. 11-20.
7. Origin of nuclear buds and micronuclei in normal and folate-deprived human lymphocytes / H.K. Lindbergh [et al.] // *Mutat. Res.* – 2007. – V. 617 (1-2). – P. 33-45.
8. Emergence of micronuclei and their effects on the fate of cells under replication stress / K. Utani [et al.] // *PLoS One.* – 2010. – V. 5 (4). – P. 1-12.
9. Susceptibility to DNA damage in workers occupationally exposed to pesticides, to tannery chemicals and to coal dust during mining / K. Kvitko [et al.] // *Genet Mol Biol.* – 2012. – V. 35. – P. 1060-1068.

10. Cytogenetic monitoring of coal workers and patients with coal workers' pneumoconiosis in Turkey / O. C. Ulker [et al.] // Environ Mol Mutagen. – 2008. – V. 49(3). – P. 232-237.

11. The influence of polymorphisms of xenobiotic-metabolizing and DNA repair genes in DNA damage, telomere length and global DNA methylation evaluated in open-cast coal mining workers / M. R. de Souza [et al.] // Ecotoxicol Environ Saf. – 2020. – V. 189. – P. 1-9.

12. Genotoxicity of coal fly ash, assessed in vitro in Salmonella typhimurium and human lymphocytes, and in vivo in an occupationally exposed population / J. C. S. Kleinjans [et al.] // Mutation Res. – 1989. – V. 224. – P. 127–134.

13. Stierum RH. Evaluation of exposure reducing measures on parameters of genetic risk in a population occupationally exposed to coal fly ash / R. H. Stierum [et al.] // Mutat Res. – 1993. – V. 319(4). – P. 245-255.

14. Степанов, Д.Д. Частота микроядер в лимфоцитах крови у рабочих Новокемеровской ТЭЦ / Д.Д. Степанов, В.И. Федосеев // Кузбасс: образование, наука, инновации. – 2018. – Вып. 5. – С. 350-352.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Кемеровской области в рамках научного проекта № 20-44-420012 p_a.

Работа выполнена в Лаборатории цитогенетики Института экологии человека ФИЦ УУХ СО РАН под руководством доктора биологических наук, главного научного сотрудника В.И. Мининой.

**ВКЛАД ВАРИАНТОВ ГЕНОВ *FTO*, *ADRB3*, *LEP* И *LEPR*
В РАЗВИТИЕ ОЖИРЕНИЯ: ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ**

**CONTRIBUTION OF *FTO*, *ADRB3*, *LEP*, AND *LEPR* GENE VARIANTS
TO OBESITY: A LITERATURE REVIEW**

*Яковлева Анастасия Александровна, магистр,
кафедра генетики и фундаментальной медицины,
ФГБОУ ВО Кемеровский государственный университет*

*Anastasia A. Yakovleva, first-year master's degree in department
of genetics and fundamental medicine
FSBEI HPE Kemerovo State University
E-mail: asya-kemerovo2012@yandex.ru*

Аннотация: Генетическая компонента является одной из важных составляющих развития ожирения. В данном обзоре рассмотрены исследования по 4 полиморфным вариантам, которые предположительно имеют ассоциацию с ожирением. Рассматривались статьи на русском и английском языках. Поиск статей производился с помощью поисковых систем: PubMed, eLibrary, Google Scholar. Ген *FTO* и лептин, вместе с его рецептором, влияя на гипоталамус, могут участвовать в регуляции пищевого поведения и напрямую влиять на уровень ИМТ человека. Также *ADRB3* регулирует уровень жировой ткани в организме путем липолиза, и нарушения в работе данного гена могут пагубно сказаться на состоянии организма и привести к ожирению. Результаты найденных исследований подтверждают связь полиморфизма rs9939609 с повышенным риском развития ожирения. Исследования по другим трем полиморфизмам достаточно неоднозначны и требуют дальнейшего уточнения.

Abstract: The genetic component is an important component in the development of obesity. This review reviewed studies on 4 polymorphic variants that are hypothesized to have an association with obesity. Articles in Russian and English were reviewed. The articles were searched using the following search engines: PubMed, eLibrary, and Google Scholar. The *FTO* gene and

leptin, together with its receptor, affecting the hypothalamus can participate in the regulation of eating behavior and directly influence the human BMI level. Also *ADRB3* regulates adipose tissue levels in the body through lipolysis and disorders of this gene can be detrimental to the body and lead to obesity. The results of the studies found confirm the association of the rs9939609 polymorphism with an increased risk of developing obesity. Studies on the other three polymorphisms are rather ambiguous and require further clarification.

Ключевые слова: ожирение, гены, полиморфизм, *FTO*, *ADRB3*, *LEP*, *LEPR*.

Keywords: Obesity, genes, polymorphism, *FTO*, *ADRB3*, *LEP*, *LEPR*.

Введение

Количество людей, страдающих ожирением, растет с каждым годом. ВОЗ прогнозирует, что к 2030 г. количество людей с избыточным весом будет превышать цифру в 2 млрд. По данным Роспотребнадзора за период с 2011 по 2018 года распространенность ожирения у детей увеличилась на 27,4%, а среди подростков на 66,5%. В России от ожирения страдают 26,6% мужчин и 24,5% женщин до 45 лет и 33,7% мужчин и 46,5% женщин после 45 лет. [1, 2]. Ожирение может являться предиктором таких заболеваний как: артериальная гипертензия, фибрилляция предсердий, хроническая сердечная недостаточность, атеросклероз, сахарный диабет 2 типа и многие другие.

На данный момент самым распространенным способом определения ожирения и его степени является показатель индекса массы тела (ИМТ), предложенный ВОЗ еще в 1997 году (таблица).

Таблица

Классификация ожирения в соответствии со значением ИМТ

Диагноз	ИМТ кг/м ²
Недостаточный вес	<18,5
Нормальное питание	18,5-24,9
Избыточный вес	25,0-29,9
Ожирение I степени	30,0-34,9
Ожирение II степени	35,0-39,9
Ожирение III степени (морбидное)	≥40,0

Вместе с ИМТ в последнее время стали измерять показатели, определяющие количество жировой, скелетной и мышечной ткани для более точного определения состояния организма испытуемого. Тем не менее, показатель ИМТ все еще используется для прогнозирования неблагоприятных исходов на популяционном уровне [3].

Ожирение – это многофакторное заболевание, и в большинстве случаев ожирение обусловлено большим комплексом причин, среди которых можно выделить: действие окружающей среды, образ жизни, генетическую предрасположенность. Наиболее частым фактором развития ожирения является малоподвижный образ жизни в сочетании с высококалорийным питанием. Наследственность влияет на повышенный уровень ИМТ в 40-70% случаев [4]. На данный момент выявлено несколько сотен полиморфных вариантов, ассоциированных с ожирением и этот список продолжает пополняться. Среди них, по данным многих исследований, сильную ассоциацию с ожирением имеет ген *FTO* [5, 6]. Так же существуют работы, направленные на установление ассоциации риска развития с такими генами как *ADRB3*, *LEP* и *LEPR* и многими другими [7, 8].

Целью данного обзора явилось обобщение накопленных данных по 4 полиморфным вариантам 4 генов (rs9939609 гена *FTO*, rs4994 гена *ADRB3*, rs7799039 гена *LEP*, rs1137101 гена *LEPR*), предположительно ассоциированных с ожирением.

Методология

Данный обзор включает в себя статьи на русском и английском языках. Поиск исследований производился в помощью следующих ресурсов: PubMed, eLibrary, Google Scholar. Для поиска необходимой литературы использовались следующие ключевые слова: ожирение, obesity, *FTO*, *ADRB3*, *LEP*, *LEPR*, rs9939609, rs7799039, rs1137101, rs4994.

В обзор включали: 1) рандомизированные, контролируемые оригинальные исследования; 2) метаанализы, посвященные анализу ассоциации ожирения с полиморфными вариантами rs9939609, rs7799039, rs1137101, rs4994; 3) исследования, оценивающие значимость 4 вышеперечисленных полиморфных вариантов для развития ожирения.

Из обзора исключались: 1) работы, в которых изучалось влияние полиморфных вариантов на другие болезни (все, кроме ожирения); 2) работы, опубликованные до 2010 года.

После проведенного отбора статей были найдены: 11 статей посвященный гену *FTO*; 8 статей, посвященных генам *LEP* и *LEPR*; 6 статей, посвященных гену *ADRB3*.

Результаты

FTO

Ген *FTO* располагается на хромосоме (16q12.2), состоит из 16 экзонов, кодирует альфа-кетоглутарат-зависимую диоксигеназу. Экспрессия *FTO* осуществляется различными клетками организма (в том числе жировыми и скелетными), но наиболее активная экспрессия происходит в гипоталамусе. Предполагается, что *FTO* принимает участие в энергетическом обмене и регуляции пищевого поведения [9]. Исследования на мышах показывают высокую функциональную значимость *FTO* для всего организма в целом: мыши, имеющие гомозиготную мутантный генотип, который приводил к потере функции исследуемого гена, погибали, а у гетерозиготных особей отмечались пороки развития [10]. У человека данный ген связан не только с повышенной массой тела, но и с другими проблемами со здоровьем: ишемическая болезнь сердца, фибрилляция предсердий, сахарный диабет и другие.

Для *FTO* отмечено несколько десятков SNV, которые могут быть ассоциированы с ожирением. Среди них наиболее часто упоминают rs8050136, rs99305069 и rs1558902 для европейской популяции и rs9939609, rs17817449, rs12149832 для восточноазиатской и также для европейской популяций. Однако данные по африканской популяции оказались не такими однозначными и *FTO* не показал настолько сильной взаимосвязи с ожирением как у европейской популяции. Следует отметить, что поскольку большая часть исследований проводилась на представителях европейской популяции, данные по другим популяциям еще требуют уточнения [11].

Среди перечисленных выше вариантов *FTO* rs9939609 является самым известным и чаще других фигурирует в различных научных работах. Исследование rs9939609 на 150 жителях Великобритании показало значительное увеличение потребления пищи (на 1231 кДж у носителей мутанного генотипа AA), что может иметь прямую взаимосвязь со значением ИМТ [12]. В следующем эксперименте, проведенном на 1066 людях итальянской популяции, авторы обнаружили статистически значимую взаимосвязь между rs9939609 и ИМТ, а также окружностью рук

и живота [13]. Другое исследование было проведено учеными на 200 представителях турецкой популяции. После проведения генотипирования авторы установили, что носительство генотипа АА связано с увеличенным количеством жира во всем теле. Однако статистического подтверждения значимости *FTO* для значения ИМТ не обнаружено [14].

Взаимосвязь между ожирением и геном *FTO* попытались установить ученые на выборке из 500 монголов. Для данного исследования выбрали два варианта гена, а именно rs9939609 и rs1421085. Проведенный эксперимент показал, что носительство генотипа АА у rs9939609 увеличивает риск ожирения в 1,896 раза. Ассоциации между rs1421085 и ожирением исследователи не установили [15].

Влияние *FTO* (rs1421085, rs17817449 и rs9939609) на организм при гипокалорийной диете изучили на выборке из 47 испытуемых европейской популяции. При снижении калорийности питания на ~20-25% при сохранении обычного режима нагрузок у всех участниках эксперимента наблюдались схожие изменения в организме, связанные с изменённым режимом питания и никак не зависящие от гена *FTO* [16].

На выборке из 540 женщин в Иране исследовали влияние варианта rs9939609 *FTO* на риск развития ожирения и рака груди. Данный эксперимент показал, что выбранный полиморфизм может увеличивать риск развития рака груди у женщин, имеющих избыточный вес. Однако после более точной корректировки, учитывающей такие факторы как курение, употребление алкоголя, потребление калорий и макроэлементов и физическую активность полученная ранее ассоциация исчезла [17].

Исследование 205 русских мужчин также подтвердило ассоциацию мутантного аллеля А у rs9939609 с предрасположенностью к ожирению, а в частности к его абдоминальной форме [18].

Мета-анализ, проведенный для китайской популяции и включающий в себя 5345 основных и 9523 контрольных случаев (в общем авторы проанализировали 8 исследований) был нацелен на определение корреляции между rs9939609 и риском развития ожирения. Авторы установили, что аллель А повышал риск набора избыточной массы тела у взрослых, однако для детей и подростков такой ассоциации установлено не было [19].

LEP и LEPR

Лептин является пептидным гормоном адипоцитов, выработку которого стимулируют глюкокортикоидные гормоны и инсулин. Значение

лептина в крови прямо пропорционально зависит от массы белой жировой ткани. Действуя на гипоталамус через рецепторы, находящиеся в нем, данный гормон может оказывать влияние на пищевое поведение человека, а также регулировать энергетический обмен [20]. Хотя своим действием лептин способствует уменьшению аппетита, у людей с ожирением его концентрация в крови значительно выше, однако у таких людей наблюдается лептиновая десенсибилизация и организм не может получить чувство насыщения. Ген *LEP* локализован на 7 хромосоме (7q32.1) и имеет 3 экзона. Полиморфизм rs7799039 представляет собой замену гуанина на аданин (G2548A) и предположительно может иметь корреляцию с ожирением [21]. Рецепторы лептина представлены в 6 изоформах и синтезируются в различных тканях организма. На данный момент существуют сведения более чем о 9 тысячах полиморфизмах рецептора лептина. Ген, кодирующий лептин рецептор располагается на 1 хромосоме (1p31.3), имеет 24 экзона. В отношении ожирения особый интерес представляет вариант замены глутамина на аргинин в 223 позиции белка rs1137101 (Gln223Arg) [22]. Однако данные, полученные учеными на разных популяциях, достаточно противоречивы.

Исследование на 86 жителях республики Азербайджан, больных сахарным диабетом 2 типа (СД2) показало, что рискованный аллель G rs7799039 гена *LEP* и аллель G полиморфизма rs1137101 гена *LEPR* чаще встречались у испытуемых СД2, которых развился на фоне висцерального ожирения и артериальной гипертензии [23].

В другом эксперименте авторы рассмотрели сразу 3 гена, потенциально связанных и повышенным ИМТ (*MC4R*, *LEP* и *LEPR*). Это исследование включает 1082 участника в возрасте 12-13 лет и 509 участников в возрасте 48-49 лет. Для взрослых испытуемых авторы обнаружили корреляцию между вероятностью ожирения и носительством генотипа CT/CC варианта rs17782313 гена *MC4R*. Генотип GG гена *LEP* оказался ассоциирован с повышенным ИМТ, более высокими окружностью талии и уровнем висцерального жира у взрослых мужчин. rs1137101 гена *LEPR* не показал никакой корреляции с антропометрическими данными и уровнем лептина у участников исследования [24]. В следующей работе генотипировали rs7799039 *LEP* и rs1137101 *LEPR* у 147 беременных женщин из Бразилии. У носителей генотипа AA варианта rs7799039 на протяжении всей беременности сохранялась наименьшая масса тела в сравнении с носителями генотипов

GA + GG или GG. Аллель А также оказался ассоциирован с избыточной гестационной прибавкой веса. Однако ни *LEP*, ни *LEPR* не показали значимой ассоциации с риском ожирения до беременности и содержанием в крови лептина во время беременности [25].

Следующее исследование rs7799039 гена *LEP* проводилось в Испании на 122 участниках со средним возрастом 59,4 года и средним ИМТ 39,3. После гипокалорийной диеты ИМТ масса тела, жировая масса, окружность талии и другие показатели снизились у всех испытуемых вне зависимости от генотипа. Вместе с этим, люди с аллелем А показали статистически значимое улучшение уровня липопротеинов низкой плотности, холестерина и триглицеридов после диеты [26].

ADRB3

Адренергический бета-3 рецептор (*ADRB3*) в основном синтезируется в жировом депо, висцеральной жировой ткани. Он активирует аденилатциклазу, которая располагается в жировой ткани, и участвует в термогенезе бурой жировой ткани и регуляции липолиза. Ген *ADRB3* расположен на 8 хромосоме (8p11.23), состоит из 2 экзонов. Важную роль в регуляции жировой массы и липолизе играет мутация в 64 кодоне гена *ADRB3*. При такой мутации происходит замена триптофана на аргинин (rs4994, Trp64Arg). Мутантный аллель подавляет липолиз и ассоциирован с увеличенным ИМТ. Некоторые исследования указывают, что аллель С данного полиморфизма связан с повышенным уровнем липидов и адипокинов, что позволяет рассматривать этот вариант еще и в качестве предиктора риска развития ишемической болезни сердца [27]. Данные метаанализа, включающие результаты 11000 человек свидетельствуют о повышенном ИМТ у людей с генотипом Trp64Arg в сравнении с носителями генотипа Trp64 Trp [28]. Исследование 281 пациента с СД 2 типа не выявило ни одного генотипа Arg64Arg, что свидетельствует о редкой представленности этого генотипа. Сравнение группы контроля с основной по данному полиморфизму не показало существенных отличий, соответственно ассоциации rs4994 с ожирением не выявлено [29]. Следующий метаанализ включил в себя данные по детям и подросткам и объединил 5147 пациентов с избыточным весом/ожирением и 7350 человек в группе контроля. В общей выборке значительная ассоциация между rs4994 и риском ожирения была обнаружена в аллельной модели, гетерозиготной модели и доминантной модели, однако не в гомозиготной или рецессивной модели. Такие данные оказались

достоверны как для мужской, так и для женской подгруппы. Анализ с поправкой на географические регионы показал, статистическую значимость в подгруппе жителей Восточной Азии в аллельной модели, гомозиготной модели, гетерозиготной модели и доминантной модели [30].

Исследование, включившее в себя 88 здоровых участников с ожирением и 84 участников без ожирения (контроль), проводилось на территории Саудовской Аравии. Его результаты показали, что носительство гетерозиготного генотипа по исследуемому полиморфизму rs4994 ассоциировано с пониженным риском ожирения среди жителей Саудовской Аравии [31]. Другое исследование так же рассматривало популяцию жителей Саудовской Аравии. В обследовании приняли участие 329 человек в возрасте 18-39 лет. Авторы выяснили, что частота Arg64 гена *ADRB3* оказалась значительно выше у испытуемых с избыточным весом и ожирением в сравнении с лицами, которые имеют нормальный вес. Вместе с этим, носители Arg64, независимо от ИМТ, имели большую окружность талии и бедер, повышенный уровень холестерина, триглицеридов, ЛПНП, лептина, инсулина и глюкозы в плазме крови по сравнению с носителями аллеля Trp [32].

Заключение

Таким образом, в представленном обзоре продемонстрирована роль 4 полиморфных вариантов 4 генов в развитии ожирения у людей различных этнических групп. Представленные данные по гену *FTO* практически однозначно указывают на его связь с повышенным ИМТ. Однако результаты работ по другим 3 генам достаточно противоречивы и требуют дальнейшего рассмотрения и уточнения.

Список литературы

1. Драпкина, О.М Эпигенетика ожирения / О.М. Драпкина, О.Т. Ким // Кардиоваскулярная терапия и профилактика. – 2020. – № 19. – С. 94-100.
2. Ожирение: оценка и тактика ведения пациентов / О.М. Драпкина [и др.]. – М.: ФГБУ «НМИЦ ТПМ» Минздрава России; ООО «Силицея-Полиграф», 2021. – 174 с.
3. «Парадокс ожирения» и степень его доказанности / С. В. Миклишанская [и др.] // Терапевтический архив. – 2020. – № 92. – С. 84-90.

4. Ожирение / И.И. Дедов [и др.] // Consilium Medicum. – 2021. – № 23. – С. 311-325.
5. Mizuno, T. M. Fat Mass and Obesity Associated (FTO) Gene and Hepatic Glucose and Lipid Metabolism / T. M. Mizuno // Nutrients. – 2018. – № 10 (11). – С. 1-11.
6. The effect of rs9930506 FTO gene polymorphism on obesity risk: a meta-analysis / S. Doaei [et al] // Biomol Concepts. – 2019. – № 10(1). – С. 237-242.
7. Methylation profile of the ADRB3 gene and its association with lipid profile and nutritional status in adults / M. R. Ribeiro [et al] // Biol Res. – 2019. – № 52(1). – С. 1-21.
8. LEPTin and Obesity: Role and Clinical Implication / M. Obradovic // Front Endocrinol (Lausanne). – 2021. – № 12. – С 1-22.
9. FTO – A Common Genetic Basis for Obesity and Cancer / Lan N [et al] // Front Genet. – 2020. – № 11. – С. 1-12.
10. Кучер, А. Н. Ген FTO и болезни: значимость генетического полиморфизма, эпигенетических модификаций и средовых факторов / А. Н. Кучер // Генетика. – 2020. – Т. 56. – № 9. – С. 985-1005.
11. Ruth J F Loos. The bigger picture of FTO: the first GWAS-identified obesity gene / Ruth J F Loos, Giles S H Yeo // Nature reviews. Endocrinology. – 2014. – № 10. – С. 51-61.
12. FTO and Obesity: Mechanisms of Association / Xu Zhao [et al] // Obesity. – 2014. – № 14. – С. 1-9.
13. FTO rs9939609 influence on adipose tissue localization in the Italian population / Merra G [et al] // Eur Rev Med Pharmacol Sci. – 2020. – № 24(6). – С. 3223-3235.
14. Ağagündüz D Association of FTO common variant (rs9939609) with body fat in Turkish individuals / D. Ağagündüz, M. Gezmen-Karadağ // Lipids Health Dis. – 2019. – № 18(1). – С. 1-12.
15. Relationship Between Fat Mass and Obesity-Associated (FTO) Gene Polymorphisms with Obesity and Metabolic Syndrome in Ethnic Mongolians / Q. Zhang [et al] // Med Sci Monit. – 2018. – № 24. – С. 8232-8238.
16. . Assessment of the FTO gene polymorphisms (rs1421085, rs17817449 and rs9939609) in exercise-trained men and women: the effects of a 4-week hypocaloric diet / J. Antonio [et al] // Journal of the International Society of Sports Nutrition. – 2019. – № 16. – С. 1-9.

17. Interactions of anthropometric indices, rs9939609 FTO gene polymorphism and breast cancer: A case-control study / D. Saeid [et al] // Journal of cellular and molecular medicine. – 2021. – № 25. – С. 3252-3257.

18. Бондарева, Э. А. Т/а-полиморфизм гена FTO и образ жизни ассоциированы с накоплением жира в разных возрастных группах мужчин / Э. А. Бондарева, Л. В. Задорожная, И. А. Хомякова // Ожирение и метаболизм. – 2019. – № 16. – С. 49-53.

19. Rs9939609 polymorphism of the fat mass and obesity-associated (FTO) gene and metabolic syndrome susceptibility in the Chinese population: a meta-analysis / D. Wang [et al] // Endocrine. – 2020. – № 69. – С. 278-285.

20. Байдаченко, В. Ю. Роль лептина и нейропептида у в развитии первичного ожирения / В. Ю. Байдаченко // Материалы всероссийского научного форума студентов с международным участием «Студенческая наука – 2019». – С. 885-886.

21. Рычкова, И. В. Встречаемость аллелей и генотипов полиморфных генов лептина G(-2548)A, адипонектина G(276)T и рецептора адипонектина A(+219)T у больных псориазом, страдающих алиментарным ожирением / И. В. Рычкова, О. А. Притуло, К. Д. Малый // Вестник Российской Военно-медицинской академии. – 2019. – № 2(66). – С. 24-27.

22. Метаболизм и ожирение: вклад гена рецептора лептина / К. Д. Иевлева [и др.] // Acta Biomedica Scientifica. – 2017. – Т. 2. – №. 5-1 (117). – С. 56-62.

23. Фараджева, С. С. Определение уровня корреляции полиморфизма генов и выраженности висцерального ожирения и артериальной гипертензии у пациентов с сд2 в популяции жителей республики Азербайджан / С. С. Фараджева // Научный диалог: Вопросы медицины : Сборник научных трудов по материалам XX международной научной конференции. – Санкт-Петербург: Центр Научных Публикаций Международной Объединенной Академии Наук, 2019. – С. 13-14.

24. Associations of MC4R, LEP, and LEPR Polymorphisms with Obesity-Related Parameters in Childhood and Adulthood / A. Raskilene [et al] // Genes. – 2021. – № 12(6). – С 1-12.

25. Polymorphisms in the LEPTin (rs7799039) gene are associated with an increased risk of excessive gestational weight gain but not with LEPTin concentration during pregnancy / M. C. Martins [et al] // Nutr Res. – 2017. – №. 47. – С. 53-62.

26. Primo D. LEPTin gene polymorphism (rs 7799039;G2548A) is associated with changes in lipid profile during a partial meal-replacement hypocaloric diet / D. Primo, O. Izaola, D. de Luis // J Hum Nutr Diet. – 2021. – № 34(2). – С. 456-463.

27. The Trp64Arg polymorphism in β 3 adrenergic receptor (ADRB3) gene is associated with adipokines and plasma lipids: a systematic review, meta-analysis, and meta-regression / Z. Luo [et al] // Lipids in Health and Disease. – 2020. – №. 19. – С. 1-12.

28. Изучение сочетанного влияния генетических полиморфизмов rs9939609 гена FTO и rs4994 гена ADRB3 на риск развития ожирения / А. К. Батулин [и др.] // Вопросы питания. – 2016. – № 85 (4). – С. 29-34.

29. Изучение полиморфизма rs4994 гена ADRB3 у пациентов с ожирением и сахарным диабетом 2 типа / А. М. Назарова [и др.] // Вопросы питания. – 2018. – № 87. – С. 100-105.

30. The ADRB3 rs4994 polymorphism increases risk of childhood and adolescent overweight/obesity for East Asia's population: an evidence-based meta-analysis / X. Chenyao [et al] // Adipocyte. – 2020. – № 9. – С. 77-86.

31. Aishah, A. Study of the association of Trp64Arg mutation of beta three adrenergic receptor with obesity in Saudi population / A. Aishah, M. AlZogaibi, M. Abdelkarim // Biomedical Research and Therapy. – 2018. – V.5.– №3. – С 2050-2063.

32. ADRB3 polymorphism rs4994 (Trp64Arg) associates significantly with bodyweight elevation and dyslipidaemias in Saudis but not rs1801253 (Arg389Gly) polymorphism in ARDB1 / M. Daghestani [et al] // Lipids Health Dis. – 2018. – № 17(1). – С. 1-11.

Работа выполнена в Лаборатории цитогенетики Института экологии человека ФИЦ УУХ СО РАН под руководством доктора биологических наук, доцента, главного научного сотрудника В.И. Мининой.

УДК 581.9

ЭКОТОПОЛОГИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА ФЛОРЫ ГОРОДА КЕМЕРОВО

ECOTOPOLOGICAL STRUCTURE OF KEMEROVO CITY FLORA

*Андреев Борис Германович, Лаборатория Гербарий
Института экологии человека, ФИЦ УУХ СО РАН*

*Boris G. Andreyev, Herbarium laboratory
of Institute of Human Ecology, FRC CCC SB RAS
E-mail: b.g.andreev@mail.ru*

Аннотация: При изучении флоры гетерогенных ландшафтов, которым и является город, необходимо создание классификации экотопов для проведения сравнительного анализа. В статье демонстрируется иерархия флоры города Кемерово и приводятся характеристики её парциальных флор. В основу классификации экотопов положены типы почв, целенаправленность воздействия человека на окружающую среду и набор присущих местообитаний для каждой из групп. Во флоре города Кемерово выделено 14 групп местообитаний, для которых заложено 77 модельных выделов площадью 6,25 Га. Группы местообитаний представлены в разной степени, площадь парциальной флоры составляет от 0,02 до 22% от площади города. Также различаются показатели видового богатства: от 54 до 289 видов. Установлено, что наиболее рациональным является исследование отношения между модельными выделами приусадебной, малоэтажной селитебной и многоэтажной селитебных групп, а также между собственно промышленной зоной,

складской и гаражными капиталами внутри промышленной группы местообитаний.

Abstract: To conduct the comparative analysis is needed to create the system of ecotops. A cities have complex, heterogenous landscape structure. There is hierarchy of Kemerovo cities flora. The partial floras characterized by the soil types, by the purposefulness of human impact on flora structure, by the habitat types. There are 14 types of habitat groups in cities flora, 77 model areas has been allocated. The square of each model area is 6,25 acres. A patrial flora is characterized by the number of species (54–289) and by the percentage of the city area (0,02-22%). The prospective research area is comparing the rural building zone, the residential high buildings zone, the one of residential low-rise buildings. The comparing of industrial sites, garage ones and industrial storages is important too.

Ключевые слова: урбанофлора, метод модельных выделов, парциальная флора.

Keywords: urban flora, model areas method, partial flora.

Город является результатом целенаправленной человеческой деятельности по трансформации окружающей среды. Антропогенные ландшафты отличаются высокой степенью гетерогенности, что определяет особый интерес при изучении отдельных экотопов города.

Для изучения флоры города Кемерово использовали метод модельных выделов, являющийся совокупностью современных методов и методик сравнительной флористики. Как и в любой другой науке, сравнительная флористика изучает влияние частных элементов на целое [1, 2]. Изначально в сравнительной флористике вся флора отдельного города рассматривалась как конкретная флора, что являлось определяющим в выборе методик по сбору материалов [3]. На следующем этапе развития методов флоры городов стали изучаться как локальные флоры, что породило ряд проблем: наличие анклавов, отделённых от города естественными участками, и существование вне административных границ города экономически значимых для города объектов. Вышеописанное стало предпосылкой для разграничения в работах флор естественных и антропогенных местообитаний, что также привело к появлению новых методов [4]. В работах Ильминских Н.Г. и его учеников флора города стала рассматриваться как совокупность парциальных флор, что решало проблемы: с определением границы флоры, поэтому метод

модельных выделов является самым перспективным для получения принципиально нового истинного научного знания [5].

Для выделения парциальных флор (модельных выделов) исследователю на данный момент приходится руководствоваться субъективными представлениями, основанными на индивидуальном опыте, что ставит под сомнение возможность сравнения данных разных исследователей. В основу классификации закладывается характер образования почвенного покрова, гидрологический режим, воздействие антропогенного фактора и совокупность типов растительных сообществ по классификации «EUNIS» [6].

Цель: создание системы экотопов флоры города Кемерово для последующего анализа и сравнения с другими городами.

Задачи:

- 1) Характеристика каждого экотопа с позиций абиотических, биотических и антропогенных факторов;
- 2) Выявление перспективных направлений исследований парциальных флор города на основе противоречий, выявленных в ходе полевой работы.

В основу классификации экотопов города Кемерово положена классификация Ильминских Н.Г. [4, 7], где высшими таксонами являются отделы: «урбанофлора» (застроенная часть) и «субурбанофлора» (незастроенная часть, на которую оказывается в той или иной степени влияние города). Формирование почв отделов происходит по 2 различающимся путям: в случае урбанофлоры на участках перед застройкой уничтожается почвенный покров со всем растительным разнообразием, после чего появляется новый под влиянием антропогенных факторов, в случае субурбанофлоры происходит медленная трансформация под экстенсивным воздействием антропогенных факторов [8].

В отделе урбанофлоры выделяются 2 класса, в основу подразделения положены целенаправленность и массовость возделывания некоторых видов растений. В возделываемых экотопах влияние на видовой состав оказывается профессионалами в целях получения пищевых, технических или декоративных ресурсов, т.е. оказывается интенсивное селективное воздействие на флору. В рудеральных экотопах увеличивается косвенная антропогенная нагрузка, на видовой состав влияют преимущественно косвенным путём экономически значимые сектора города,

а целенаправленное воздействие (в малых масштабах) оказывают садоводы-любители жители населённого пункта [9].

При рассмотрении субурбанофлоры города Кемерово, которая представлена только незастроенными участками, выделено 4 группы местообитаний:

1. Лесная группа представлена берёзовыми колками, берёзово-осиновыми, сосново-берёзовыми, сосновыми лесами. В последние годы в прилегающих частях города объём лесных массивов уменьшается. В травянистом ярусе леса часто встречаются *Trifolium repens* L., *T. Pratense* L., *Equisetum sylvaticum* L., *Pulmonaria mollis* Wolff ex F.Heller, *Filipendula ulmaria* (L.) Maxim., *Fragaria viridis* Duchesne, *Galium boreale* L., *Thalictrum minus* L., *Melica nutans* L. и *Vicia sepium* L. Часть лесных массивов была сведена для строительства дорог, оставшаяся испытывает на себе нагрузку от прилегающих трасс. Частично лесная группа представлена участками с малым количеством деревьев.

2. Луговая группа представлена влажными лугами с преобладанием *Dactylis glomerata* L., *Lathyrus pisiformis* L., *Vicia unijuga* A.Braun, *Trifolium pratense*. В пойменных лугах преобладают лапчатка золотистоцветковая, погребок, поповник. Луга г. Кемерово испытывают влияние прилегающих трасс, железнодорожных путей, сельскохозяйственных участков, где ранее вёлся выпас скота, малоэтажной застройки и дачных участков, с территории которых приходят чужеродные виды, трансформируя луга в нечто принципиально новое.

3. Прибрежно-водная группа представлена фитоценозами, расположенными в и вдоль водоёмов со стоячей (озёра, лужи, бывшие технические водоёмы) и проточной водой (реки, ручьи), а также был взят для анализа участок, расположенный на острове р. Томь. В самих водоёмах часто произрастают представители рода *Potamogeton* L., а по берегам водоёмов *Phalaroides arundinacea* (L.) Rauschert, *Butomus umbellatus* L., *Alisma plantago-aquatica* L.

4. Естественные обнажения с сухим субстратом представлены небольшими остепнёнными участками на склоне южной экспозиции коренного берега р. Томь, где отмечаются 3 вида Красной книги Кемеровской области: *Stipa pennata* L., *Iris humilis* Georgi и *Gypsophila patrinii* Ser. [10].

В возделываемый класс урбанофлоры вошли 3 группы местообитаний:

1. Декоративная группа представлена на территории парков, скверов и бульваров, где проводится выращивание декоративных видов, некоторые из которых могут распространяться либо в пределах декоративной зоны, либо за её пределы. Данная группа местообитаний помимо описания лужаек требует анализа цветников, клумб, живых изгородей. Также в данную группу вошла территория Кузбасского ботанического сада, а также территория бывшего плодopитомника [11].

2. Приусадебная группа расположена на территории садовых обществ, садовых некоммерческих товариществ и дачных участков. Особый интерес в данной группе представляют сады, палисадники, огороды, как источник чужеродных видов и потенциальных инвазий.

3. Сельскохозяйственная зона в пределах города Кемерово представлена залежами и пастбищами, на территории которых могут находиться кормовые виды, ранее не встречавшиеся на территории региона, например *Trifolium pannonicum* Sm. [12].

Самый обширный класс в пределах города Кемерово – рудеральный – представлен 7 группами местообитаний:

1. Придорожная группа расположена вдоль дорог разного характера. В рамках данной работы придорожная группа исследовалась на территории трасс – крупных миграционных коридорах для растений. Хотя данная группа достаточно широко представлена на территории всего города, разделяя на участки все другие группы местообитаний.

2. Железнодорожная группа представлена в пространстве между железнодорожным полотном, на насыпях, в дренажных канавах и кавальерах, а также на станциях. Данная группа местообитаний также как и предыдущая является миграционным коридором, например в 2021 году на ст. Латыши был найден вид, внесённый в чёрную книгу Кузбасса – *Chaenorhinum minus* (L.) Lange [12, 13].

3. Кладбищенская группа, несмотря на факт того, что город Кемерово является молодым, представлено достаточно широко. Важно отметить, что при анализе выделяют межмогильные участки и собственно могилы, на которых может проводиться обработка почвы с высаживанием уникального набора чужеродных и аборигенных видов, которые в совокупности образуют принципиально новый кладбищенский фитоценоз. На примере данной группы можно продемонстрировать расширение вторичного ареала некоторых видов, например *Convallaria majalis* L. за последние 50-60 лет сбежал с территории кладбищ и прочно закрепился в

лесах, от чего у неопытного исследователя может создаться впечатление, будто данный вид является аборигенным.

4. Многоэтажная селитебная группа на современном этапе развития города является одной из наиболее представленных и разнообразных, так как только внутри этой зоны можно провести разделение по времени застройки на старую и новую. Внутри данной группы выделяются дворовые площадки, рудеральные газоны, тропы, стадионы, детские и спортивные площадки, малые клумбы и цветники. Также необходимо отметить факт того, что в старой зоне жилой застройки встречаются участки с искусственными земляными валами, на склонах которых формируются рудеральные газоны с преобладанием крестоцветных.

5. Малоэтажная (одно-, двухэтажная) селитебная группа представлена рудеральными газонами, тропами, грунтовыми дорогами (иногда с дренажными канавами), стадионами и детскими площадками. Данный тип застройки является самым значительным по площади в городе Кемерово: располагается во всех административных районах, а также включает в себя черты как лесной, так и лесостепной зоны города.

6. Промышленная группа расположена на территории заводов, гаражных капиталов и складов. Данная группа местообитаний характеризуется переуплотнёнными почвами, сильной пылевой, химической, температурными нагрузками, оказывающейся вследствие экономической деятельности человека. Промышленная зона по историческим причинам обширно представлена на территории города, но обладает очень низкими показателями видового богатства.

7. Свалочная группа объединяет в себе стихийные свалки, мусорные кучи, развалины или руины. Группа представляет особый интерес из-за наличия свободных экологических ниш для выживания и акклиматизации чужеродных видов, попавших в природу как часть посевного материала. Например, на свалках города Кемерово отмечены крупные популяции *Impatiens glandulifera* Royle., *Helianthus tuberosus* L. и *Solidago canadensis* L.

Внутри каждой из групп местообитаний, по возможности, закладывалось несколько модельных выделов для учёта редких видов, которые могут быть упущены исследователем из-за выбора только наиболее типичных представителей данной группы и минимизации воздействия случайного фактора, из-за чего возможно неправильное указание статуса вида в той или иной парциальной флоре. Только для

группы естественных обнажений был заложен один модельный выдел меньшей площади по сравнению с остальными (площадь стандартного модельного выдела составляет 6,25 Га) из-за слабой представленности. Для остальных групп местообитаний заложено от 2 до 10 модельных выделов в зависимости от занимаемой площади и разнообразия создаваемых человеком условий (табл.).

Таблица

Характеристики парциальных флор во флоре города Кемерово

Группа местообитаний	Площадь, занимаемая данной группой, %	Кол-во модельных выделов, шт.	Кол-во видов, шт.
Лесная	5,7	8	86
Луговая	16,2	4	93
Прибрежно-водная	4,6	9	192
Естественные обнажения	0,02	1	54
Декоративная	1	5	289
Приусадебная	2,2	6	194
Сельскохозяйственная	0,8	2	77
Придорожная	15	4	49
Железнодорожная	0,2	4	159
Кладбищенская	1	5	201
Многоэтажная селитебная	10	10	164
Малоэтажная селитебная	22	9	265
Промышленная	15	4	59
Свалочная	1,3	6	134

Таким образом, к настоящему времени в результате проведенных исследований самое большое количество видов отмечено для декоративной (289 видов), малоэтажной селитебной (265) и кладбищенской (201) групп, которые насчитывают более 200 видов.

Самую малочисленную группу составляют промышленные местообитания (59) и естественные обнажения (54).

В соответствии с данной классификацией экотопов города Кемерово с помощью метода модельных выделов возможен сбор материалов для изучения, как всей городской флоры, так и парциальной флоры, а также позволяет при помощи расчётов получать активность и гемеробиальность видов.

В заключении важно отметить сходство целенаправленной деятельности человека на территории приусадебной группы и части малоэтажной застройки, в результате которой распространяются диаспоры культивируемых видов. Основываясь на этом факте, селитебная группа была разделена на много- и малоэтажную. Как следствие, необходимо проведение кластерного анализа как между группами местообитаний, так и внутри них, для подтверждения или опровержения целесообразности дробление групп на более мелкие.

Дискуссионным вопросом также является необходимость разделения промышленную группу на собственно промышленную и складскую из-за воздействия на растения в границах первой группы экстремальными значениями температуры и химическими веществами.

Список литературы:

1. Груздев, В.М. Основы градостроительства и планировка населенных мест: учеб. Пособие. – Н. Новгород: ННГАСУ, 2017. – 105 с.
2. Энгельс, Ф. Диалектика природы. – М.: ОГИЗ. ГОСПОЛИТИЗДАТ, 1941. – 338 с.
3. Юрцев, Б.А. Основные понятия и термины флористики / Б.А. Юрцев, Р.В. Камелин // Пермь: Перм. ун-т, 1991. – 80 с.
4. Ильминских, Н.Г. Флорогенез в условиях урбанизированной среды. – Екатеринбург: Изд-во УрО РАН, 2014. – 470 с.
5. Третьякова, А.С. Урбановфлористика в России: современное состояние и перспективы / А.С. Третьякова, О.Г. Баранова, С.А. Сенатор, Н.Н. Панасенко, А.В. Суткин, М.Х. Алихаджиев // Turczaninovia, 24, 1., 2021. – С. 125-144.
6. European Environment Agency <https://eunis.eea.europa.eu/habitats.jsp> (дата обращения 15.04.2022)
7. Андреев, Б.Г. О рациональности использования метода модельных выделов при изучении флоры крупных промышленных центров (на

примере Кемерово) // Флора и растительность Сибири и Дальнего Востока: чтения памяти Л.М. Черепнина и материалы седьмой Всероссийской конференции с международным участием, посвящённые 90-летию КГПУ им. В.П. Астафьева и кафедры биологии, химии и экологии, 115-летию со дня рождения Л.М. Черепнина (KRAS). – Красноярск, 2022. – С. 146-151.

8. Раменский, Л.Г. Избранные работы: Проблемы и методы изучения растительного покрова. – Л.: Наука, 1971. – 336 с.

9. Древесные растения в озеленении Сибирских городов / Л.Н. Чиндяева, М.А. Томошевич, А.П. Беланова, Е.В. Банаев. – Новосибирск: Академическое изд-во «ГЕО», 2018. – 457 с.

10. Красная книга Кузбасса. Т1. / Андреев Б.Г. [и др.]. – Кемерово: «ВЕКТОР-ПРИНТ», 2021. – 240 с.

11. Кузбасский ботанический сад / Вронская О.О. [и др.]. – Кемерово, 2021. – 92 с.

12. Новые и редкие виды во флоре Кузбасса / С. А. Шереметова, И. А. Хрусталева, А. Л. Эбель, А. Н.Куприянов, Б. Г. Андреев, Т. О. Стрельникова, Т. В. Эбель, П. Д. Гудкова // Turczaninowia. – 2022. – Т. 25. – № 1. – С. 86-104.

13. Чёрная книга флоры Сибири / А.Л. Эбель [и др.]. – Новосибирск: Академическое изд-во «ГЕО», 2016. – 440 с.

Работа выполнена в лаборатории Гербарий Института экологии человека ФИЦ УУХ СО РАН под руководством доктора биологических наук, доцента С.А. Шереметовой.

**ОЦЕНКА СОДЕРЖАНИЯ СУММЫ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ
В ГЕНЕРАТИВНЫХ ОРГАНАХ РЯБИНЫ СИБИРСКОЙ
(*SORBUS SIBIRICA* HEDL.) В УСЛОВИЯХ
С РАЗЛИЧНОЙ АНТРОПОГЕННОЙ НАГРУЗКОЙ**

**EVALUATION OF THE CONTENT OF THE TOTAL PHENOLIC
COMPOUNDS IN THE GENERATIVE ORGANS OF THE SIBERIAN
SEABERRY (*SORBUS SIBIRICA* HEDL.) UNDER CONDITIONS
WITH DIFFERENT ANTHROPOGENIC LOAD**

Круглая Кристина Алексеевна, магистрант, КемГУ

Kruglaya Kristina Alekseevna, graduate student, KemSU

E-mail: k181911@outlook.com

Аннотация: Экологическая обстановка в Кемерово довольно напряженная. Атмосферный воздух загрязняют предприятия химической и металлургической промышленности. Для оценки экологической ситуации очень часто используют методы биоиндикации, в частности, определение фенольных соединений в растениях (травянистых и древесных). Накопление этих веществ является одним из защитных механизмов растений на возрастающую антропогенную нагрузки окружающей среды. Целью работы является оценка содержания суммы фенольных соединений в генеративных органах рябины сибирской (*Sorbus sibirica* Hedl.) в условиях с различной антропогенной нагрузкой. Количественное определение суммы фенольных соединений проводили методом спектрофотометрии. В работе представлены результаты количественного определения суммы фенольных соединений в генеративных органах рябины сибирской (*Sorbus sibirica* Hedl.) по фазам вегетации с осени 2020 по осень 2021 года, произрастающей на территории пяти районов г. Кемерово. Установлено, что наибольшее содержание суммы фенольных соединений в генеративных органах накапливается в фазу цветения. В фазу бутонизации: Мах 48,876% – участок 4, min 29,679% – участок 5. В фазу цветения: Мах 61,067% – участок 4, min 48,915% – участок 3. В фазу плодоношения: Мах 26,769% и 43,937% (2020 и 2021 г.) – участок

2, min 15,048% (2020 г.) и 18,874% (2021 г.) – участок 5. В результате исследования наибольшее содержание фенольных соединений в генеративных органах *Sorbus sibirica* Hedl было отмечено на участке 4 (фаза бутонизации и цветения) и на участке 2 (фаза плодоношения), это Рудничный и Центральный район.

Abstract: The ecological situation in Kemerovo is quite tense. Atmospheric air is polluted by enterprises of the chemical and metallurgical industries. To assess the ecological situation, bioindication methods are very often used, in particular, the determination of phenolic compounds in plants (herbaceous and woody). The accumulation of these substances is one of the protective mechanisms of plants against the increasing anthropogenic load of the environment. The aim of the work was to estimate the content of the total phenolic compounds in the generative organs of the Siberian mountain ash (*Sorbus sibirica* Hedl.) under conditions with different anthropogenic load. Quantitative determination of the amount of phenolic compounds was carried out by spectrophotometry. The paper presents the results of quantitative determination of the amount of phenolic compounds in the generative organs of the Siberian mountain ash (*Sorbus sibirica* Hedl.) by the vegetation phases from autumn 2020 to autumn 2021, growing in five districts of Kemerovo. It has been established that the highest content of the sum of phenolic compounds in the generative organs accumulates in the flowering phase. In the budding phase: Max 48.876% plot 4, min 29.679%. – plot 5. In the flowering phase: Max 61.067% plot 4, min 48.915% – plot 3. In the fruiting phase: Max 26.769% and 43.937% (2020 and 2021) plot 2, min 15.048% (2020) and 18.874% (2021) – plot 5. As a result of the study, the highest content of phenolic compounds in the generative organs of *Sorbus sibirica* Hedl was noted in plot 4 (budding and flowering phase) and in plot 2 (fruiting phase), these are Rudnichny and Central districts.

Ключевые слова: *Sorbus sibirica* Hedl., фенольные соединения, бутоны, цветы, плоды, спектрофотометрия

Keywords: *Sorbus Sibirica* Hedl., phenolic compounds, buds, flowers, fruits, spectrophotometry

Введение

Город Кемерово является областным центром Кузбасса. Экологическая обстановка в Кемерово довольно напряженная. Атмосферную среду загрязняют предприятия химической и

металлургической промышленности. В результате, в атмосферу попадают такие вещества как: бензапирен, формальдегид, аммиак и диоксид азота, концентрация которых превышает ПДК в несколько раз [1, 2].

Определение содержания суммы фенольных соединений древесными растениями можно рассматривать как метод биоиндикации загрязнения окружающей среды, так как фенольные соединения выполняют в растениях защитные функции [3].

В городах на территории Кемеровской области для улучшения экологической обстановки осуществляют мероприятия по озеленению улиц. Рябина сибирская (*Sorbus sibirica* Hedl) достаточно широко распространена, встречается в лесах, по берегам рек и ручьев [4], а из-за своих декоративных качеств и устойчивости к антропогенным воздействиям используется в озеленении и введена в культуру городов.

Поэтому целью данной работы была оценка содержания суммы фенольных соединений в генеративных органах рябины сибирской (*Sorbus sibirica* Hedl.) в условиях с различной антропогенной нагрузкой.

Материалы и методы

Объектом исследования являлись генеративные органы (бутоны, цветы и плоды) *Sorbus sibirica* Hedl. Образцы были собраны на пяти учетных площадках (в разных районах города), которые отличаются уровнем загрязнения атмосферного воздуха:

1 участок – Ленинский район (пересечение проспекта Октябрьский и бульвара Строителей);

2 участок – Центральный район (парк им. Жукова);

3 участок – Заводской район (по улице Мичурина);

4 участок – Рудничный район (дворовая территория по проспекту Шахтеров, 57);

5 участок – Кировский район (аллея на улице 40 лет Октября);

6 участок – Контрольный – Топкинский район (окрестности с. Старые Топки). Расположение участков представлено на рисунке 1.

Отбор проб проводили по фазам вегетации, с отдельно стоящих деревьев (5-10 деревьев на каждой точке) одного возраста с высоты 1,5-1,7 метра:

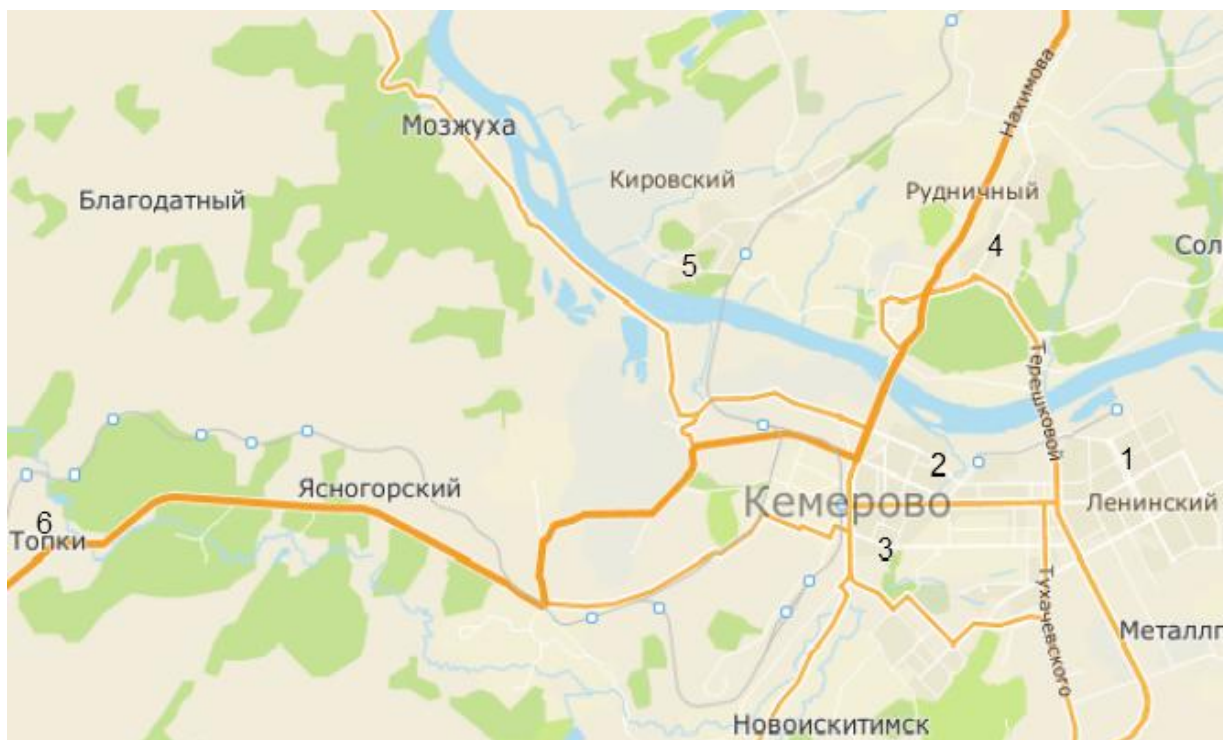
1. Фаза плодоношения – 21 сентября 2020 года;

2. Фаза бутонизации – 17 мая 2021 года;

3. Фаза цветения – 31 мая 2021 года;

4. Фаза плодоношения – 21 сентября 2021 года.

Собранный материал подвергался естественной сушке. Для проведения анализа образцы измельчали в мельнице VLM-6 до размера частиц – 5 мм.



1 – участок 1; 2 – участок 2; 3 – участок 3;
4- участок 4; 5 – участок 5; 6 – участок 6

Рисунок 1. Расположение участков на карте

Количественное содержание суммы фенольных соединений определяли спектрофотометрическим методом [5].

Расчет суммы фенольных соединений в процентах (X) в пересчете на галловую кислоту в абсолютно сухом сырье вычисляли по формуле:

$$X = \frac{D * V_1 * V_2 * 100}{V_3 * m * (100 - W) * E_{1\text{см}}^{1\%}},$$

где D – оптическая плотность исследуемого раствора;

V₁ – объем экстракта, мл (50 мл);

V₂ – объем раствора для спектрофотометрирования, мл (10 мл);

V₃ – объем экстракта, взятый для определения, мл (0,2 мл);

$E_{1\text{см}}^{1\%}$ – удельный показатель поглощения галловой кислоты в комплексе с реактивом Фолина-Чокальтео при длине волны 720 нм, равный 90;

m – масса сырья в граммах;

W – потеря в массе при высушивании сырья в процентах [5].

Анализ проводили в трехкратной повторности. Полученные результаты статистически обрабатывались с применением программ STATISTICA и Microsoft Excel.

Результаты и их обсуждение

В ходе проведения исследования было установлено, что наибольшее количество фенольных соединений в генеративных органах рябины обыкновенной накапливается в фазу цветения. Это хорошо видно на представленной диаграмме (рис. 2).

Наибольшее содержание фенольных соединений было отмечено в бутонах на участке 4 – 48,876% (рис. 2), а наименьшее на участке 5 – 29,679%.

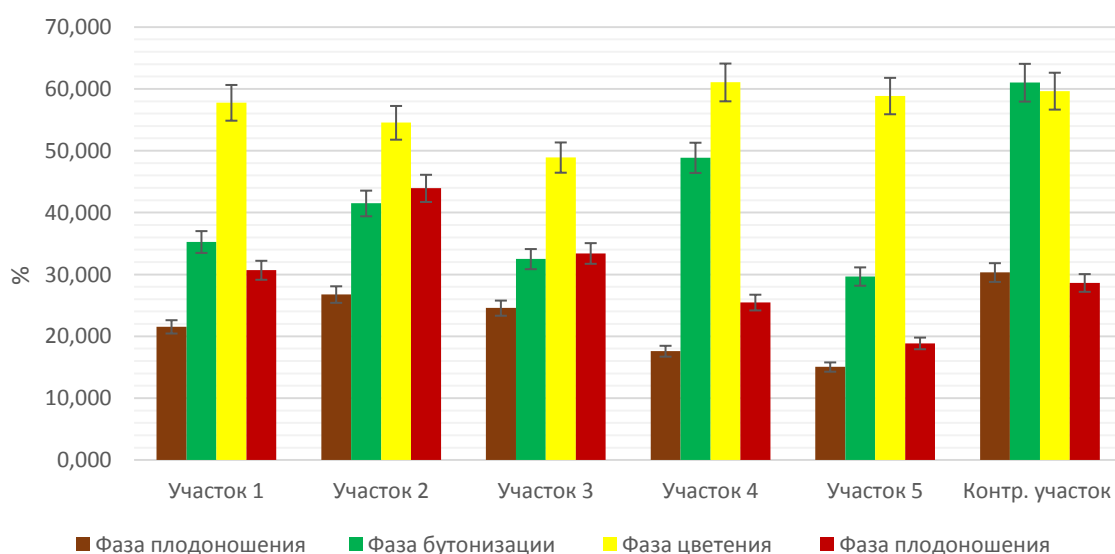


Рисунок 2. Содержание суммы фенольных соединений в генеративных органах рябины сибирской, %

В фазу цветения содержание фенольных соединений было наибольшим так же на участке 4 – 61,067%, а наименьшее значение было на участке 3 – 48,915%. Кроме того, на рисунке 2 видно, что наибольшее количество фенольных соединений в генеративных органах накапливается именно в фазу цветения.

Известно, что погодные условия (температура воздуха, влажность и др.), так же, как и антропогенные факторы, оказывают влияние на развитии растений. При неблагоприятных условиях происходит увеличение выработки фенольных соединений, так как они выступают в качестве защитных механизмов растений [6-9].

В ходе исследования выявилось, что в фазу плодоношения в 2021 году содержание фенольных соединений в плодах рябины сибирской было больше чем в 2020 году. Данные о погодных условиях, взятые с сайта [10], представлены в таблице 1. Из данных, представленных в таблице, видно, что погодные условия в 2021 году были хуже, чем в 2020 году.

Максимальные значения в эту фазу установлены на участке 2 – 26,769 и 43,937% (2020 и 2021 год). На участке 3 – 24,571 и 33,413%, на участке 1 – 21,548 и 30,696%, что свидетельствует о неблагоприятных экологических условиях в этих районах.

Наименьшие значения по фенольным соединениям в годы обследования получены в фазу плодоношения на участке 5 – 15,048% (2020 г.) и 18,874% (2021 г.), и на участке 4 – 17,609 и 25,475% соответственно.

Таблица 1

Погодные условия в городе Кемерово в 2020 и 2021 году

Месяц	Среднее за месяц, °С		Влажность воздуха, %	
	2020 год	2021 год	2020 год	2021 год
Май	14,40	12,90	63	58
Июнь	16,0	15,50	66	67
Июль	19,10	19,60	75	71
Август	18,30	17,60	74	76
Сентябрь	10,00	8,90	79	75

Заключение

В результате исследования выявлено наибольшее содержание фенольных соединений в генеративных органах *Sorbus sibirica* Hedl. на участке 4 (фаза бутонизации и цветения) и на участке 2 (фаза плодоношения), находящиеся в Рудничном и Центральном районах города Кемерово. Полученные результаты подтверждают факт высокой

антропогенной нагрузки на данной территории, так как выделение фенольных соединений растением является ответной реакцией на стрессовые факторы.

Список литературы

1. Экология вашего города [Электронный ресурс]. – 2022. – Режим доступа: <https://betosteel.ru/ecology/kemerovo-8.html>. – [15.02.2022].

2. Доклад о состоянии и охране окружающей среды Кемеровской области – Кузбасса в 2020 году [Электронный ресурс] // Департамент природных ресурсов и экологии Кемеровской области. – 2021. – Режим доступа: <http://kuzbasseco.ru/doklady/o-sostoyanii-okruzhayushhej-sredy-kemerovskoj-oblasti/>. – [16.04.2021].

3. Запрометов, М. Н. Фенольные соединения растений биосинтез, превращения и функции / М. Н. Запрометов // Новые направления в физиологии растений. – М.: Наука, 1985. – 286 с.

4. Бережная, З. Г. Рябина / З. Г. Бережная. – М.: Лесн. пром-ть, 1985. – 79 с.

5. Ермаков, А. И. Методы биохимического исследования растений / А. И. Ермаков и др.; под ред. А. И. Ермакова. – Л.: Агро-промиздат. Ленинградское отделение, 1987. – 430 с.

6. Березина, Е. В. Накопление фенольных соединений у брусники (*Vaccinium vitis-idaea* L.) и клюквы (*Oxycoccus palustris* Pers., *O. macrocarpus* (Ait.) Pers.) в условиях *in vivo*, *in vitro* и *ex vitro*: дисс. ... канд. биол. наук: 03.01.05. – Москва, 2019. – 160 с.

7. Брилкина, А. А. Особенности накопления фенольных соединений в листьях и ягодах некоторых представителей рода *Vaccinium* из коллекции НИИ Ботанический сад Нижегородского государственного университета / А. А. Брилкина, М. Н. Агеева, Е. В. Березина и др. // Вестник Нижегородского университета им. Н. И. Лобачевского. – 2014. – № 3. – С. 30-34.

8. Брежнев, Т. А. Изучение биологически активных веществ листьев рябины черноплодной / Т. А. Брежнев, Е. И. Недолужко [и др.] // Вестник ВГУ, серия: химия. биология. Фармация. – 2018. – С. 306-311.

9. Cheynier, V. Plant phenolics: recent advances on their biosynthesis, genetics, and ecophysiology. *Plant Physiol* / V. Cheynier, G. Comte, K. M. Davis, V. Lattanzio, S. Martens // *Biochem*, 2013. – P. 1-20.

10. Погода и климат [Электронный ресурс]. – 2022. – Режим доступа: <http://www.pogodaiklimat.ru/weather.php?id=29645>. – [14.02.2022].

Работа выполнена в Лаборатории рекультивации и биомониторинга Института экологии человека ФИЦ УУХ СО РАН под руководством кандидата биологических наук, старшего научного сотрудника И. Н. Егоровой.

УДК 903.02(571.53)

**КЕРАМИКА БРОНЗОВОГО ВЕКА СТОЯНКИ ГЕНЕРАЛОВА
(СЕВЕРНОЕ ПРИАНГАРЬЕ)**

**BRONZE AGE POTTERY OF THE GENERALOV SITE (NORTHERN
ANGARA REGION) (NORTHERN ANGARA REGION)**

*Абрашина Мария Евгеньевна, инженер-исследователь,
Научно-исследовательский центр «Байкальский регион»
Иркутского государственного университета,
аспирант, Институт экологии человека ФИЦ УУХ СО РАН*

*Maria E. Abrashina, engineer researcher, Scientific Research Center
«Baikal Region» Irkutsk State University,
postgraduate, Institute of Human Ecology of FRC CCC SB RAS
E-mail: mariya28_09@mail.ru*

Аннотация: Представлены результаты исследования керамического комплекса бронзового века стоянки Генералова, полученных в результате раскопок 2013–2014 гг. Ввиду стратиграфической специфики памятника (компрессионный характер отложений) культурно-хронологическая атрибуция археологических материалов ограничена применением методов керамической типологии. Керамический комплекс стоянки Генералова насчитывает более 7,5 тысяч фрагментов сосудов, относящиеся к эпохе от раннего неолита до средневековья. Для более точной демонстрации морфо-технологических характеристик и особенностей выделенных групп сосудов целесообразно рассматривать данный керамический комплекс по хронологическим эпохам. Поэтому целью данного исследования является атрибуция керамического комплекса бронзового века по культурно-

хронологическим группам. В ходе исследования проанализировано более 3 тысяч фрагментов, принадлежащие минимум 80 сосудам. Проведение комплексного технико-технологического анализа сосудов позволило атрибутировать материалы комплекса к минимум 5 группам. К данным группам отнесены такие типы, как: рубчатая, улахан-сегеленняхская, а также группа сосудов, орнаментированная гребенчатым штампом. В ходе атрибуции возник ряд проблем, требующие более детальной разработки в будущем. Также отмечается, что культурно-хронологическое определение группы с рубчатой керамикой требует дальнейших разработок с привлечением материалов других стоянок в виду её неоднородного состава, выявленные по морфо-технологическим признакам.

Abstract: This article presents the results of the study of the Bronze Age ceramic complex of the Generalov site obtained during excavations in 2013–2014. Due to the stratigraphic specificity of the site (compression character of deposits), the cultural and chronological attribution of archaeological materials is limited by the use of ceramic typology methods. The ceramic complex of the Generalov site in the main has more than 7,5 thousand fragments of vessels dating back to the era from the early Neolithic to the Middle Ages. For more precise illustration of the morpho-technological characteristics and features of the identified groups of vessels, it is advisable to consider this ceramic complex according to chronological epochs. Therefore the purpose of this article is the attribution of the ceramic complex of the Bronze Age according to cultural and chronological groups. During the study more than 3 thousand fragments were analyzed and attributed to at least 80 vessels. Comprehensive technical and technological analysis of the vessels made it possible to ascribe the materials of the complex to at least 5 groups. These groups include such types as: ribbed ceramics (3 subspecies, including smoke-curing vessels), ceramics of Ulakhan-Segelennyakh type, as well as a group of vessels ornamented with a comb stamp. A number of issues arose during attribution that require more detailed development in the future. It is also noted that the cultural and chronological attribution of the group with ribbed ceramics requires further development with the involvement of materials from other sites in view of its heterogeneous composition, identified by morphological and technological features.

Ключевые слова: керамика, типология, улахан-сегеленняхская керамика, рубчатая керамика, сосуды-дымокуры, неолит, бронзовый век, Северное Приангарье, стоянка Генералова.

Keywords: ceramics, typology, ribbed pottery, ceramics of Ulakhan-Segelennyah type, Neolithic, bronze age, Northern Angara Region, Generalov site.

Введение

Местонахождение стоянки Генералова расположено на границе Иркутской области и Красноярского края – на севере Тайшетского района на правом берегу р. Чуны [8, с. 151]. Ввиду стратиграфической специфики местонахождения, а именно – компрессионного характера отложений, культурно-хронологическая атрибуция археологических материалов ограничена применением методов керамической типологии.

Керамический комплекс стоянки Генералова в общем счете насчитывает более 7,5 тысяч фрагментов сосудов, относящиеся к эпохе от раннего неолита до средневековья. По результатам предыдущего исследования было определен атрибутивный состав всего комплекса, который насчитывал 15 керамических групп (не менее 154 сосудов) [1, с. 150]. Большая часть фрагментов отнесена к бронзовому веку, что характеризует материалы данной эпохи самыми многочисленными в количественном отношении. Таким образом, для более точной демонстрации морфо-технологических характеристик и особенностей выделенных групп сосудов целесообразно рассматривать их отдельно, по хронологическим этапам. Исходя из этого, целью данного исследования является введение в научный оборот коллекции керамики бронзового века со стоянки Генералова и проведение комплексного изучения технологии ее изготовления, необходимого для культурно-хронологической атрибуции керамических комплексов стоянки.

Материалы

Всего к бронзовому веку отнесены 3272 фрагмента (45% от общего числа фрагментов комплекса), принадлежащие минимум 80 сосудам. Наиболее полно сохранились 24 сосуда, включая 8 археологически целых (с сохранившимися донными частями). Больше половины сосудов комплекса представлены фрагментами только приустьевой части (23 экз.) или имеют в наличии, как приустьевую часть, так и фрагменты тулова (29 экз.). Остальные 4 сосуда выделены по фрагментам приустьевой части без венчика. В результате атрибутивного анализа предварительно выделено 5 групп.

1 группа – рубчатая керамика

К данной группе отнесены сосуды с типичными чертами для так называемой рубчатой керамики (рис. 1–7). Под «рубчатостью» понимается характер декорирования поверхности сосуда, который заключается в выбивке сосуда лопаткой, с вырезанными на ней параллельными желобками разной конфигурации, образующие так называемые «рубчатые» оттиски (негативы). Практически неотъемлемым атрибутом для данной керамики является поясok «жемчужин», но существуют различные девиации.



Рисунок 1. Стоянка Генералова. Рубчатая керамика

Всего к данной группе относится 2621 фрагмента минимум от 69 сосуда. Из них 94 фрагмента минимум от 13 сосудов принадлежат к сосудам-дымокурам, которые отличаются миниатюрным размером и наличием характерных конструктивных элементов для подвешивания («ушки») (рис. 6).

Археологически целую степень сохранности имеют 22 сосуда, из них 7 экземпляров имеют донную часть. Части остальных сосудов представлены в основном венчиком и туловом. Размеры по диаметру определены у 49 емкостей. Миниатюрный размер (d до 14 см) имеет 12 сосудов (рис. 5) – из них 5 дымокуров. Большая часть сосудов (31 экз.) среднего размера (d от

15 до 29 см) и лишь небольшая часть (6 экз.) имеет размер больше 30 см в диаметре. Толщина венчика варьирует в 0,5 до 1,2 см (ср. знач. = 0,8 см), толщина стенок тулова от 0,3 до 1 см (ср. знач. = 0,5 см). Придонные и донные части в основном имеют небольшую толщину – от 0,3 до 0,6 см, у нескольких экземпляров дно утолщенное – от 0,9 до 1,3 см. Точная высота определена только у нескольких миниатюрных сосудов (3 экз., один экземпляр относится к группе дымокуров) и он варьирует от 10 до 15 см. Определение высоты у археологически целых сосудов затруднено в связи с отсутствием некоторых промежуточных фрагментов для их полной реставрации, однако, у трех сосудов среднего размера примерная высота определена больше, чем 18 и 20 см.

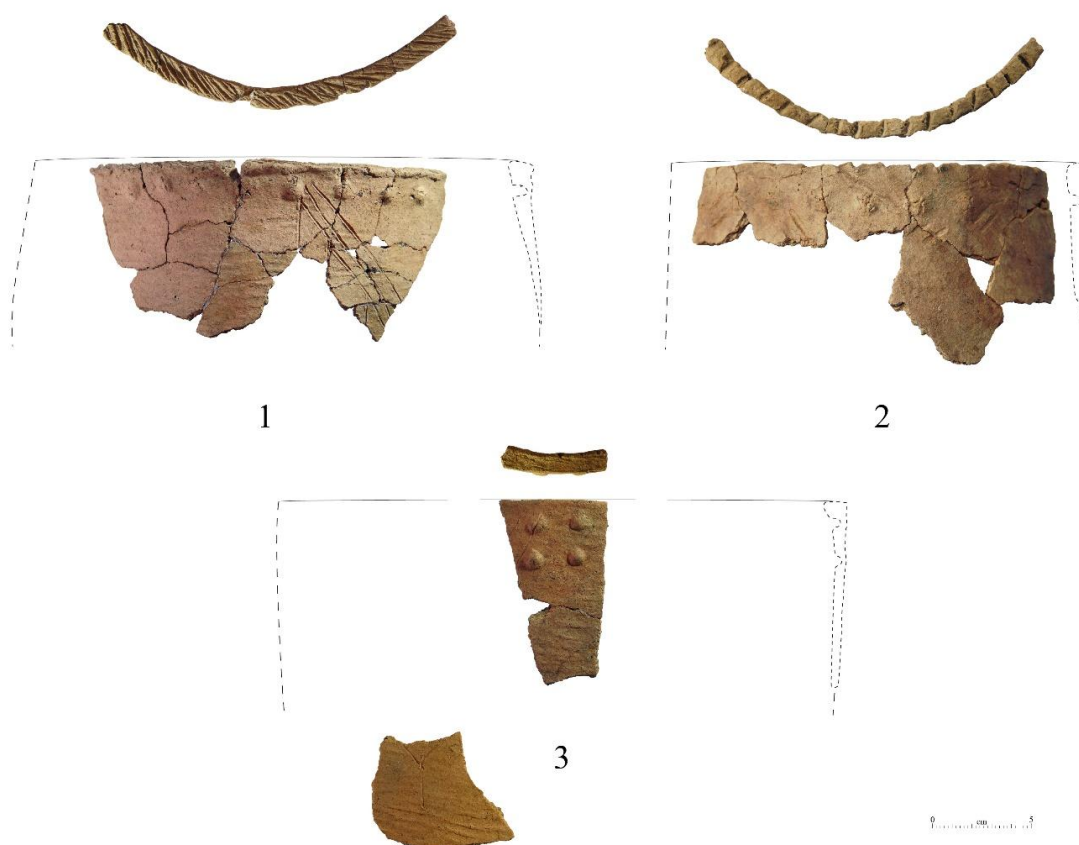


Рисунок 2. Стоянка Генералова. Рубчатая керамика

Больше половины сосудов данной группы (39 экз.) имеют простую закрытую форму, на 14 экземплярах фиксируется легкая профилировка. Простую открытую форму имеют лишь 10 сосудов, а закрытую форму, усложненную профилировкой, имеют всего 3 экземпляра. Форма венчика

преимущественно прямая (35 экз.), либо приостренная (19 экз.), реже встречается овальная форма (8 экз.). Форма дна во всех имеющихся вариантах – круглая. В 38 случаях отмечается утолщение венчика дополнительным конструктивным элементом двух типов: внутренний подтреугольный и овальный (расформованный внахлест).

Во всех случаях, кроме одного, орнамент локализован в верхней трети сосуда (в приустьевой части и на верхней части тулова). В единственном случае сосуд (миниатюрный) орнаментирован полностью пересекающимися прочерченными линиями, образующие сетку из ромбовидных ячеек. Почти все сосуды имеют устойчивые элементы композиции – преобладает горизонтальный мотив (в 9 случаях – в сочетании с отдельными вертикальными элементами), наличие пояса «жемчужин» и горизонтальных рядов наколов гладким (вероятно, ребро лопатки) или гребенчатым штампом. В некоторых случаях зафиксированы оттиски, которые, вероятно, производились костями мелких животных, о чем говорят необычные следы внутри таких наколов, схожие с негативами эпифиза. Положение орнамента зачастую под наклоном, реже встречается прямое (горизонтальное) и вертикальное его расположение. В технологии нанесения превалирует прием накалывания с прерыванием, реже встречается накалывание с отступанием и прочерчивание. В единичных случаях данные приемы встречаются в комбинации друг с другом.

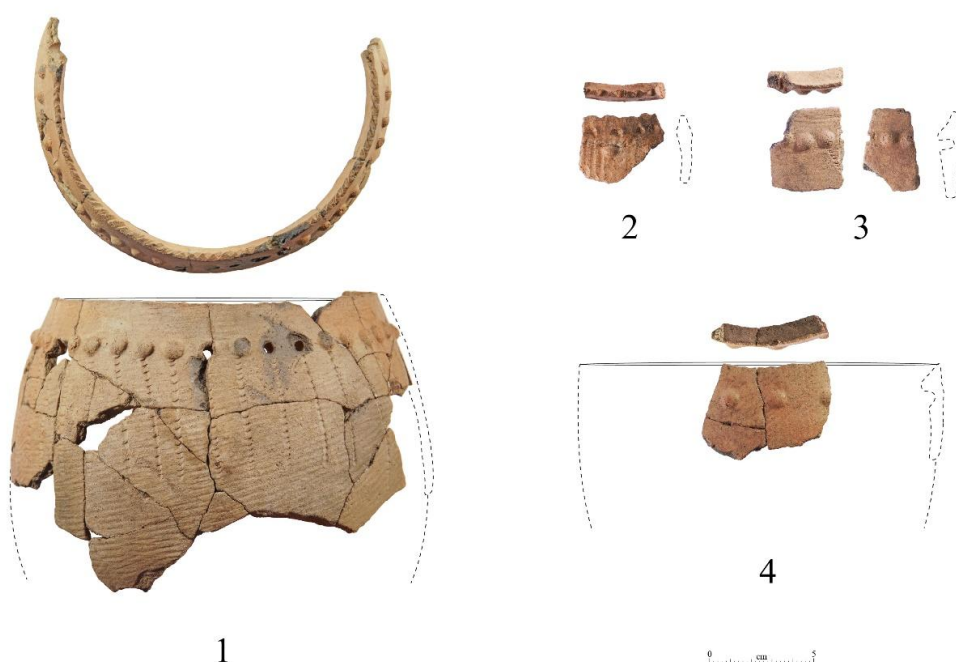


Рисунок 3. Стоянка Генералова. Рубчатая керамика

Для орнаментации данной группы сосудов характерно использование дополнительных элементов (14 экз.), зачастую располагающиеся ниже горизонтальных рядов на тулове, иногда в единичном варианте, а иногда – повторяются с большим отступом по всей окружности сосуда. Наиболее встречаемые из них: композиции из прочерченных линий (на одном сосуде интерпретируется как схематичное изображение лося) (рис. 4: 2), композиции из наколов отступающей лопатки (вертикальные линии или геометрические фигуры, наподобие квадрата) (рис. 3: 1, 3), композиции из наколов гребенчатым или гладким штампом (образуют крестики, либо треугольники с вертикальной линией от вершины) (рис. 2: 1, 3).

По морфологии ушек сосудов-дымокуроров можно выделить основные типы. Круглые, продолговатые в сечении налпы имеют 6 сосудов из группы, они крепились в верхней части сосуда (рис. 6: 1). «Язычковые» ушки (рис. 6: 2–4) встречаются двух типов – утолщенные, горизонтально ориентированные налпы с отверстиями, которые зачастую крепились к самому краю венчика (5 экз.) и плоские с отверстиями, крепившиеся к тулову (2 экз.).



Рисунок 4. Стоянка Генералова. Рубчатая керамика

Классический рубчатый технический декор присутствует на 62 сосудах. Общая ориентация оттисков относительно оси среза сосуда – горизонтальная, иногда с небольшим отклонением, однако некоторые емкости имеют вертикальную направленность (4 экз.). На большей части сосудов

оттиски имеют четкий характер (40 экз.), поверхность остальных сосудов вероятно была заглажена после её технической обработки, т. к. данные оттиски фиксируются лишь на отдельных фрагментах. Признаки заглаживания внешней поверхности зафиксированы на 15 сосудах. Судя по значениям толщины оттисков, толщина рубцов инструмента (резной лопаточки) могла составлять от 0,05 до 0,3 см, а интервалы между ними варьируют от 0,1 до 0,6 см. Стоит отметить, что один сосуд из группы имеет, отличный от классического рубчатого, вафельный технический декор, при этом сохраняет в себе морфологические сходства с остальными емкостями из данной группы.

Определение состава сырья и формовочной массы проводилось методом визуальной диагностики с применением бинокулярного микроскопа (Альтами СМ-0745 носит) и носит пока предварительный характер. Исходным сырьем служили ожелезненные глины, при этом в большинстве случаев визуально отмечается повышенная концентрация песка, а в некоторых случаях – дресвы. Кроме того, в изломе одного сосуда зафиксированы нечеткие следы, похожие на следы от выгоревшей органики. Однако необходимо провести специальное исследование данного аспекта для получения более точных результатов.

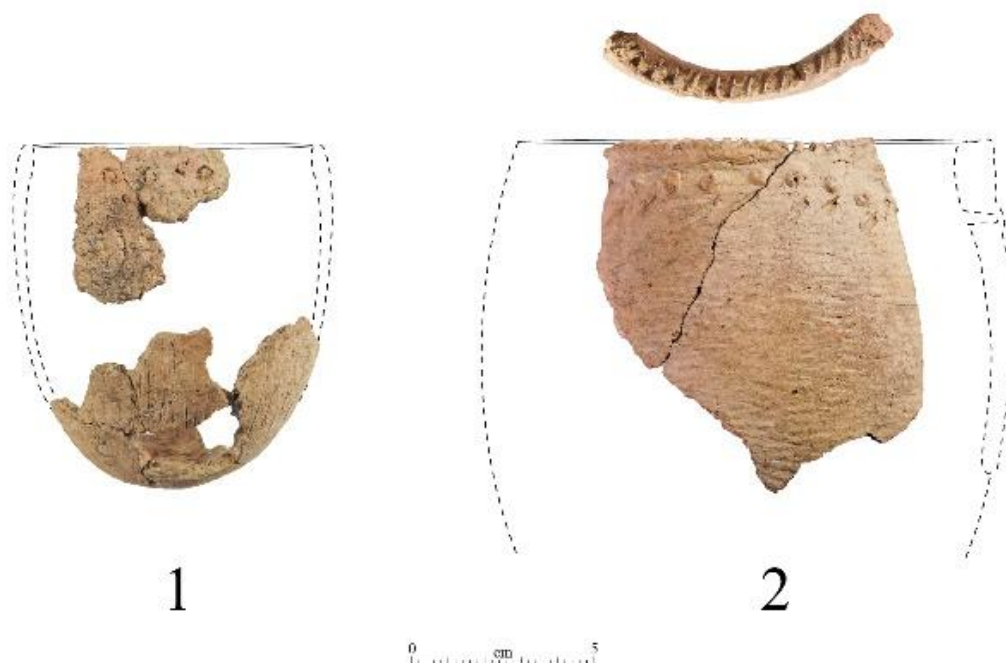


Рисунок 5. Стоянка Генералова. Рубчатая керамика

Изломы большинства емкостей (36 экз.) имеют однородный черный или темно-серый цвет, еще 7 сосудов имеют однородный красноватые оттенки, либо светло-коричневый цвет. Некоторые сосуды (12 экз.) имеют неоднородный цвет излома, как двух- (рыжего цвета у внешней поверхности и черного – у внутренней, и наоборот), так и трехслойные (с двух сторон черный, внутри – рыжий, и наоборот). Изломы остальных сосудов не были продиагностированы из-за малой величины фрагментов.



Рисунок 6. Стоянка Генералова. Рубчатая керамика. Сосуды-дымокуры

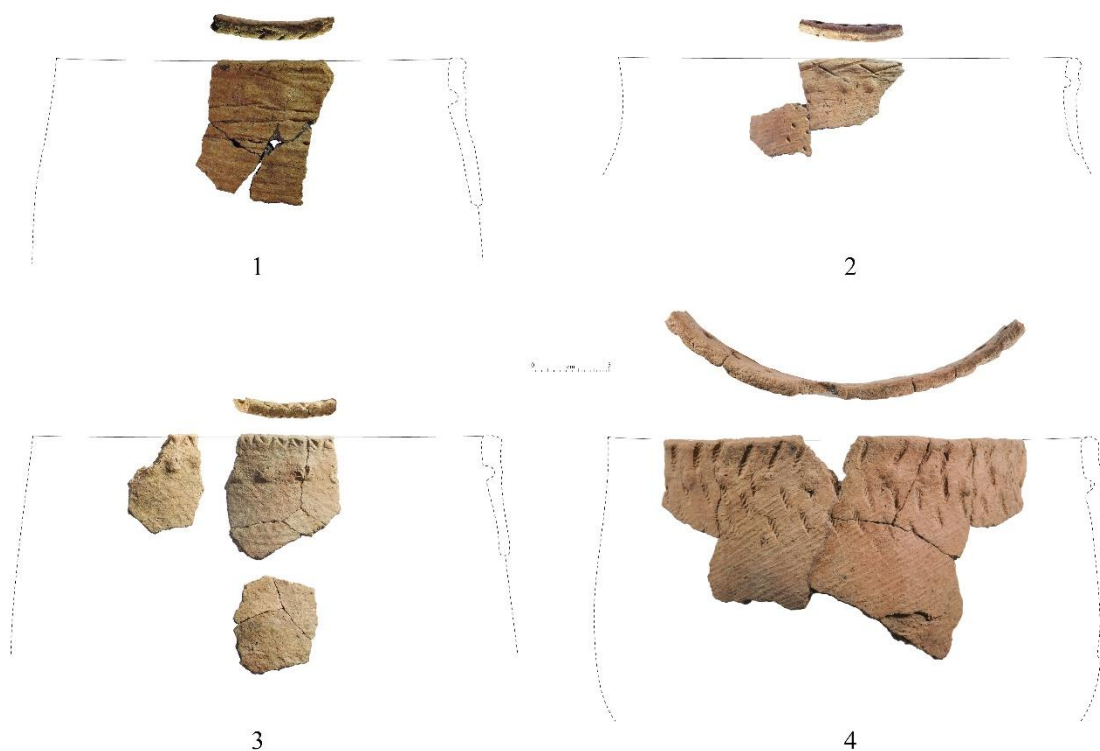


Рисунок 7. Стоянка Генералова. Рубчатая керамика

2 группа – керамика улахан-сегеленняхского типа

К керамике улахан-сегеленняхского типа отнесены 335 фрагментов от 3 сосудов. Археологически целую степень сохранности имеет один сосуд, однако донная часть не сохранилась (рис. 8: 1). Форма сосуда сложная (с выраженной шейкой) закрытая, размер по диаметру 17 см, венчик утолщен (0,9–1,0 см), отогнут наружу, толщина стенок не превышает 0,3 см. Высота не определена. Части другого сосуда представлены фрагментами венчика и сильно фрагментированными частями тулова (рис. 8: 2). Форма и конструктивные особенности аналогичны предыдущему. Остальные метрические параметры, кроме толщины венчика (0,8 см) и тулова (0,4 см) не определены. Третий сосуд выделен лишь по двумя фрагментам венчика (рис. 8: 3).

Срез венчика первого сосуда орнаментирован глубокими наколами зубчатого штампа, остальные два – глубокими оттисками инструмента с гладкой поверхностью. На отогнутой части венчика во всех случаях расположен один ряд «жемчужин». На внешней поверхности первого сосуда за-

фиксированы следы выбивки резной ячейистой колотушкой («вафельный» декор), другие сосуды – гладкостенные. Орнамент на тулове сосудов отсутствует. Цвет излома во всех случаях однородный черный. В составе исходного сырья наблюдается большая концентрация песка и дресвы.

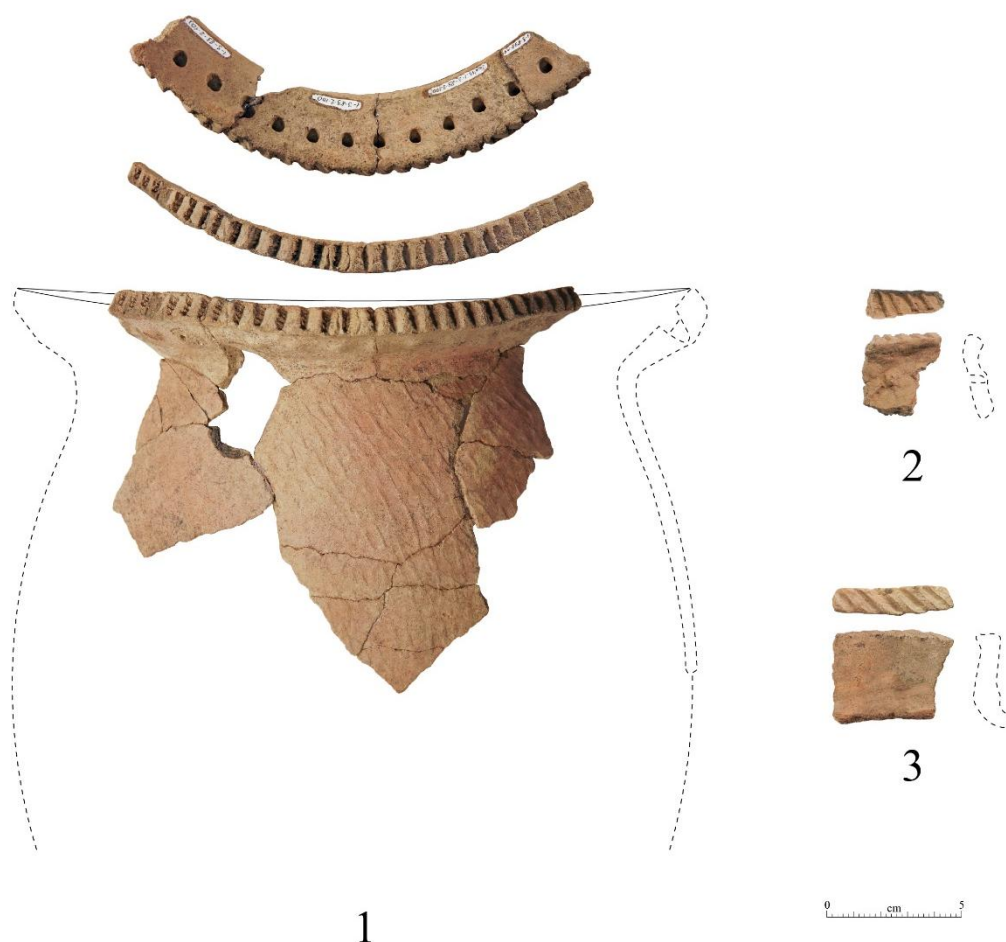


Рисунок 8. Стоянка Генералова. Керамика улахан-сегеленняхского типа

3 группа – керамика с оттисками гребенчатого штампа

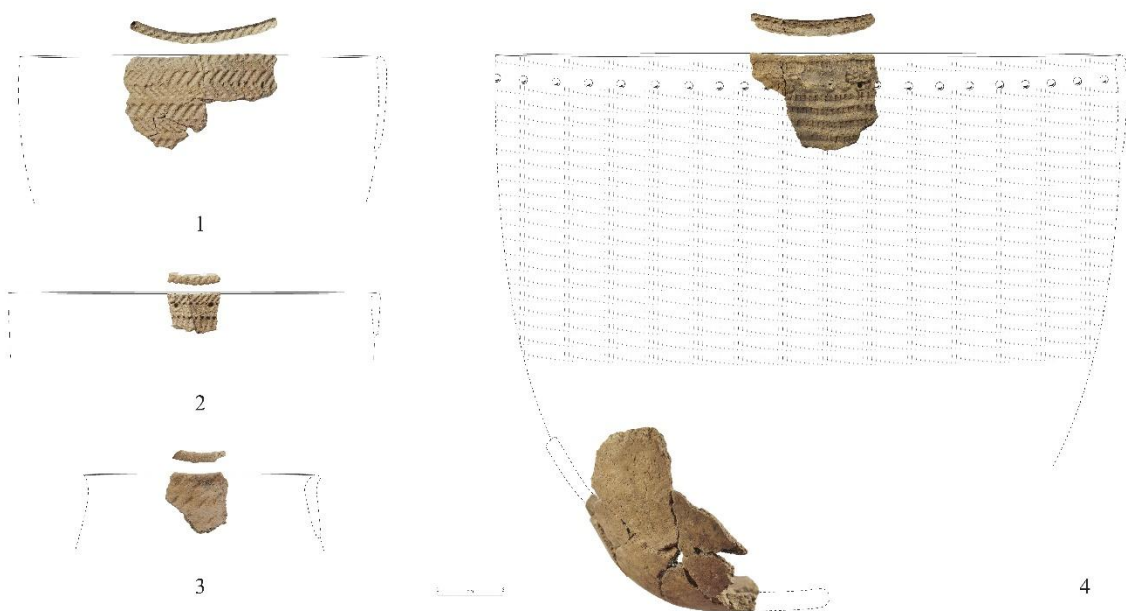
К третьей группе отнесены 67 фрагментов от 4 сосудов орнаментированные оттисками гребенчатого штампа (рис. 8: 1–3). Первый сосуд имеет простую открытую форму, форма венчика приостренная, диаметр по венчику составляет 29 см. Внутренний край венчика орнаментирован наколами ребра гладкого орнамента. Начиная с внешнего края, вся поверхность сосуда украшена горизонтальными рядами глубоких оттисков гребенчатого штампа с чередующимся наклоном, образующий мотив «елочка». В изломе фрагмент венчика имеет однородный темно-серый/черный, а у фрагмента тулова излом двуслойный – у внешнего края

рыжий (большая часть прослойки), у внутреннего – темно-серый. Исходное сырье содержит песок и дресву.

Второй сосуд представлен небольшими фрагментами приустьевой части и тулова, что не позволяет конкретизировать его форму (вероятно, простая), однако его размер по диаметру установить удалось, он составляет 15 см. Венчик прямой, орнаментирован в плотную поставленными наколами гребенчатого штампа. Как и на предыдущем сосуде, гребенчатые оттиски покрывают всю поверхность сосуда, с чередованием направления. В 0,5 см ниже от среза – поясок округлых ямок. Цвет излома привенчиковой части – по краям, прилегающие к поверхности, тонкие прослойки темно-коричневого цвета, а внутри прослойка рыжего цвета. Тулово в изломе с внешней стороны имеет рыжий цвет, а с внутренней – черный.

Третий сосуд (1 фр.) имеет сложную закрытую форму. Венчик отогнут наружу, срез прямой. Сразу от края декорирован минимум 3 рядами отдельно стоящих оттисков овального гребенчатого штампа под наклоном. Цвет излома и состав формовочной массы и исходного сырья не производился из-за единичности фрагмента.

Еще один сосуд выделен по небольшому фрагменту венчика (прямой формы), орнаментированный двумя рядами мелкого гребенчатого штампа под наклоном в противоположные друг от друга стороны, которые образуют «елочку», а в 1,3 см от данного ряда – отдельные элементы в виде вертикальных оттисков того же орнамента, сгруппированные как минимум по два элемента. В изломе по краям имеет черный, а в середине – рыжий цвета.



1–3 – керамика с оттисками гребенчатого штампа; 4 – сосуд, орнаментированный отступающей лопаточкой и «жемчужинами»

Рисунок 8. Стоянка Генералова

4 группа – сосуд, орнаментированный жемчужинами и рядами отступающей лопаточки

В данную группу вошел один археологически целый (147 фр.) гладкостенный сосуд, орнаментированный жемчужинами и оттисками отступающей лопаточки (рис. 8: 4). Это сосуд простой открытой формы, диаметром 31 см. Венчик приостренный, декорирован по срезу оттисками стека, ниже среза на 1,0 см наблюдается утолщение неширокой наклепной лентой. Большая часть внешней поверхности сосуда декорирована горизонтальными рядами оттисков отступающей лопаточки, в некоторых местах горизонтальные ряды наколов сменяются аналогичными вертикальными, образуя квадрат. Дно сосуда слегка уплощенное, толстое (1,0–1,2 см) и гладкостенное. Изломы венчика демонстрируют однородную темно-серую окраску, тулова – бледно-желтый, а у внутренней поверхности рыжеватый цвет, а излом фрагмента дна имеет светло-серый оттенок.

5 группа – гладкостенные

Данную группу составляют два гладкостенных сосуда, представленные фрагментами венчика (36 фр.). Форма первого сосуда не реконструируется. Диаметр предположительно 20 см. Форма венчика приостренная внешне симметричная, по срезу орнаментирован редкими насечками.

В 1 см ниже среза – горизонтальный ряд округлых отверстий. Второй сосуд отличается грибовидной формой венчика, по его срезу присутствуют отпечатки широкого округлого инструмента (возможно пальцевые вдавления). Форма простая, вероятно открытого типа. В 1 см от края – очень мелкие и неглубокие наколы, образующие жемчужины, вероятно выполненные мелкой костью. Венчики обоих сосудов утолщены дополнительными конструктивными элементами.

Обсуждение

В результате исследования выявлено, что все керамические группы, кроме одной (керамика улахан-сегеленняхской культуры) [4], вызывают затруднения при определении их к какому-либо типу и хронологическому этапу. Отнесение к бронзовому веку сосудов третьей и пятой группы носит условный характер, поскольку не находит аналогов как в неолитических, так и более поздних комплексах раннего железа и средневековья.

В настоящее время точных аналогов сосуду четвертой группы не найдено, однако можно предположить, что он сочетает в себе признаки нескольких культурных традиций. Такие же девиации свойственны некоторым сосудам из первой группы – например, вафельный декор на поверхности емкости (рис. 7: 3), по всем остальным признакам схожей с рубчатой керамикой, а также замена пояса жемчужин округлыми отверстиями или наколами полой палочкой (рис. 5: 1). Есть вероятность, что это типичный для Северного Приангарья феномен смешения культурных традиций. Также стоит обратить внимание, что один сосуд из первой группы демонстрирует схожесть с серовскими сосудами позднего неолита по способу орнаментации вертикальными группами округлых ямок (рис. 4: 1).

Сосуды первой группы, несмотря на сходство некоторых орнаментальных и технических элементов, демонстрируют морфологическое и орнаментальное разнообразие. В настоящее время данная керамика не определяется как тип, несмотря на широкое распространение в материалах Прибайкалья, Северного Приангарья и лесостепной зоны среднего Енисея [3; 6; 7; 9]. Это связано в первую очередь с неоднородностью комплексов, отсутствия эталонной классификации [5, с. 119].

Ввиду этого вопрос разработки типологии рубчатой керамики требует пристального внимания, поскольку является основной для

разработки культурно-хронологической схемы бронзового века Байкало-Енисейской Сибири. Из-за фрагментированного характера сосудов затруднена полная реставрация сосудов, которая могла бы внести ясность в вопросы её типологии. Однако, несмотря на это, по итогам морфотехнологического анализа и на основе наиболее целых сосудов данную группу предварительно можно поделить на 3 подтипа. Первый подтип – «классическая» рубчатая керамика, которая по многим сходствам соответствует позднесеровской традиции (рис. 1; 4: 1). Ко второму можно отнести сосуды, сочетающие в себе облик сосудов средненеолитического времени (рис. 2). К третьему типу – сосуды овалоидной формы с приостренным, обращенным вовнутрь венчиком (рис. 3). Для определения более точных характеристик выделенных групп необходимо изучение других комплексов с данной керамикой и тщательная реставрация наиболее сохранившихся емкостей.

Также интересную закономерность демонстрируют результаты определения типа обжига по цвету излома. Реконструкция данного приема позволяет определить технологические особенности и результаты, которой добивались древние гончары, создавая свои емкости. Так, сосуды первой группы обжигались преимущественно в восстановительной среде (41 экз.). В условиях окислительной среды обжигались всего 8 сосудов. Комбинированная окислительно-восстановительная среда характерна для обжига 6 сосудов из группы, которые, вероятно, во время обжига стояли на устье. Для емкостей второй группы – керамики улахан-сегеленняхской культуры, характер только восстановительный обжиг. Сосуды третьей группы, напротив, обжигались в условиях окислительной среды, некоторые экземпляры группы, судя по многослойности цвета, также могли стоять на устье. Окрас излома сосуда четвертой группы указывает на горизонтальное положение в костре, поскольку венчик и дно, судя по их цвету, пребывали в восстановительной среде, а внутренняя поверхность – в окислительной. Вероятно, в заполнении сосуда присутствовала зола и пепел от древесного угля, т. к. это ограничивает доступ воздуха [2, с. 82]. Преимущество обжига в восстановительной среде еще предстоит выяснить.

Заключение

Данное исследование носит в основном обзорный характер и является попыткой дополнить имеющиеся данные по анализу материалов

керамических комплексов бронзового века для решения вопросов культурной и хроно-типологической атрибуции, а также расширить возможности для определения комплекса с рубчатой керамикой как нескольких керамических типов.

Таким образом, обозначены основные перспективы для дальнейшей работы над данной проблематикой. Главная из них состоит в выявлении признаков керамического разнообразия и более тщательной реконструкции облика археологически целых сосудов. Детальная разработка типологии исследуемых и привлекаемых в последующем комплексов позволит решить проблему с недостаточной изученностью данного этапа, восполнить лакуны в хроно-типологической схеме региона в период бронзового века.

Список литературы

1. Абрашина, М. Е. Культурно-хронологический и планиграфический аспект изучения керамических комплексов неолита – раннего средневековья стоянки Генералова (Северное Приангарье) / М. Е. Абрашина // Развитие – 2021 : Научное электронное издание, Кемерово, 11–13 мая 2021 года. – Кемерово: Федеральный исследовательский центр угля и углехимии Сибирского отделения Российской академии наук, 2021. – С. 146–171. – DOI 10.53650/9785902305620_146.
2. Глушков, И. Г. Керамика как археологический источник / И. Г. Глушков. – Новосибирск : ИАЭТ СО РАН, 1996. – 328 с.
3. Гурулев, Д. А. Керамика бронзового века Северного Приангарья / Д. А. Гурулев, Л. А. Максимович // Древние культуры Монголии, Байкальской Сибири и Северного Китая: материалы VII Международной научной конф. – Красноярск : Сиб. федер. ун-т, 2016. – С. 185–194.
4. Дьяконов, В. М. Керамика улахан-сегеленняхской культуры бронзового века Якутии // Археология, этнография и антропология Евразии. – 2012. – № 4 (52). – С. 106–115.
5. Леонтьев, С. Н. Керамика эпохи бронзы памятников острова Сергушкин (Северное Приангарье) / С. Н. Леонтьев, П. В. Герман // Древности Приенисейской Сибири. – 2019. – Вып. X. – С. 108–122.
6. Мандрыка, П. В. Керамические комплексы бронзового века нижней Ангары: проблемы хронологии и культурной принадлежности / П. В. Мандрыка, П. О. Сенотрусова // Древности Восточной Европы,

Центральной Азии и Южной Сибири в контексте связей и взаимодействий в евразийском культурном пространстве (новые данные и концепции). – 2019. – С. 98–101.

7. Пупаева, Л. А. Материалы бронзового века с поселения-могильника Скородумный Бык / Л. А. Пупаева, С. М. Фокин // Древности Приенисейской Сибири. – 2015. – Вып. 7. – С. 59–67.

8. Стоянка им. Генералова (р. Чуна). Результаты спасательных работ 2013 года / Н. Е. Бердникова [и др.] // Известия Иркутского государственного университета. Серия Геоархеология. Этнология. Антропология. – 2013. – № 7. – С. 150–191.

9. Тимощенко, А. А. Бронзовый век Канско-Рыбинской котловины (современное состояние проблемы) / А. А. Тимощенко, Н. А. Савельев // Вестник НГУ. Серия: История, филология. – 2013. – Т. 12. – № 5. – С. 19–27.

Исследование выполнено в рамках гранта Правительства РФ, проект №075-15-2021-631 «Байкальская Сибирь в каменном веке: на перекрестке миров».

Работа выполнена в Лаборатории археологии Института экологии человека ФИЦ УУХ СО РАН под руководством д-ра ист. наук, профессора В. В. Боброва.

**НАХОДКИ ПРЕДМЕТОВ ДОСУГА ИЗ КОСТЕЙ ЖИВОТНЫХ
В МАТЕРИАЛАХ РАСКОПОК ДЕРЕВНИ КЕМЕРОВО:
ПРОБЛЕМЫ ИНТЕРПРЕТАЦИИ**

**ANIMAL BONE LEISURE OBJECTS FOUND IN EXCAVATION
MATERIALS IN KEMEROVO VILLAGE:
INTERPRETAION PROBLEMS**

*Беляева Юлия Степановна, лаборант
Лаборатории археологии Института экологии человека
ФИЦ УУХ СО РАН*

*Yulya S. Belyaeva, laboratory assistant
Archaeology laboratory, Institute of Human Ecology FRC CCC SB RAS
E-mail: yulya_belyaeva_00@bk.ru*

Аннотация: Статья посвящена проблеме интерпретации находок костей животных как предметов досуга из раскопок деревни Кемерово (XVIII – XX вв.). Игра в бабки была одной из самых популярных у русского населения в Сибири. Приведено подробное описание материала и представлен остеологический анализ находок, включая установление вида (*Bos taurus* (бык домашний), *Sus scrofa domesticus* (свинья домашняя), *Ovis aries* (овца домашняя)) и возраста животных, к которым относятся данные кости. Среди материалов выделяют проксимальные и средние фаланги, а также пястные кости домашнего скота. Были также описаны особенности предметов – трещины, отверстия, следы погрызов. Представлены аналогии с городских и сельских памятников русского населения Сибири: Мангазея, Кузнецкий острог, Томский кремль, Красноярский острог, Берёзово городище, Тара, сельские памятники – Ананьино-I и Изюк-I. Согласно типологии, приводимой Ю. В. Шириным, находки были интерпретированы как бабки без доработки и бабки с пометками. Данные предметы являются отражением культурного единства русского населения и связывают деревню Кемерово с русским миром Сибири.

Abstract: The article deals with the interpretation of animal bones as leisure objects from Kemerovo village excavation site (XVIII-XX). Knucklebones game was one of the most popular games with Russians in Siberia. The paper presents a detailed description of the material and osteological study of found objects including species determination (*Bos taurus* (cattle), *Sus scrofa domestica* (pig), *Ovis aries* (sheep)) and age of the animals whose bones were used. A special part of such material are phalanx proximalis and middle phalanx, as well as metacarpal bones of livestock. Peculiarities of those objects have been described as well – cracks, holes, biting marks. The article presents analogies with urban and rural sites of the Russian population in Siberia: Mangazeya, Kuznetsk Ostrog, Tomsk Kremlin, Krasnoyarsk Ostrog, Beryozovo settlement, Tara, rural sites – Ananyino-I and Izyuk-I. According to the typology by Yu. V. Shirin, the findings have been interpreted as untreated knucklebones and marked knucklebones. These objects reflect the cultural unity of the Russian population and connect Kemerovo village with the Russian world of Siberia.

Ключевые слова: находки костей животных, игры русского населения Сибири, Новое время, Притомье, деревня Кемерово.

Keywords: animal bones findings, games of the Russian population in Siberia, Modern Age, Tom River region, Kemerovo village.

Введение

Сахаров И. П. в 1841 году писал: «По милости греков русские обучились играть в бабки... В русской семейной жизни эта игра занимает самое почётное место, и нет местечка, где бы она не существовала» [1]. Астргалы, фаланги, пястные кости находят повсеместно при исследовании памятников русского населения в Сибири. Популярность игры в бабки отмечают многие учёные.

В 2019-2020 гг. были проведены археологические работы на месте бывшей старожильской русской деревни Кемерово (XVIII – XX вв.) [2, 3]. За это время учёные из ФИЦ УХХ СО РАН и КемГУ исследовали площадь 64 м². Изучены остатки углубленной постройки XVIII – начала XIX века, которая после разрушения использовалась жителями деревни под сброс бытового мусора [4]. Была собрана представительная коллекция находок – 11218 экземпляров. Самые многочисленные категории составляют фрагменты керамических сосудов – 6782 экз., металлических изделий – 736 экз., фрагменты и целые экземпляры костей животных – 1924 экз.

Среди остеологического материала выделяется группа из 17 экземпляров, которые предварительно могут быть определены как игральные кости. Данные находки залегали как в верхних и нижних горизонтах культурных напластований (3 – 6 пласты), так и над перекрытием, и в нижнем заполнении постройки №1.

Целью данной статьи является описание, поиск аналогий и функциональная интерпретация данной группы костей.

Характеристика предметов

Остеологический анализ был выполнен кандидатом биологических наук С. С. Онищенко. Предметы представлены проксимальными и средними фалангами, а также пястными костями домашнего скота. Большинство из них (15 экз.) принадлежат *Bos taurus* (бык домашний), 1 – *Sus scrofa domesticus* (свинья домашняя), 1 – *Ovis aries* (овца домашняя) (табл. 1, рис. 1).

Остеологический анализ показал, что приблизительный возраст домашнего быка немногим превышал 1,5 лет, в холке они составляли в среднем 105-110 см. Домашняя свинья же была, примерно, в возрасте 2 лет. Возраст домашней овцы не был установлен из-за недостаточности информации.

Таблица 1

Предметы, интерпретируемые как игральные кости для игры в бабки

№	Горизонт	Размеры	Видовое определение	Остеологическое определение	Возраст, лет	Особенности
96а	3	Высота – 33 мм, длина – 25 мм, ширина – 20 мм	<i>Bos taurus</i> (бык домашний)	Средняя фаланга	от 1,5	Имеет трещины
96б	3	Высота – 30 мм, длина – 21 мм, ширина – 25 мм	<i>Bos taurus</i> (бык домашний)	Средняя фаланга	от 1,5	Без особенностей
97	3	Высота – 33 мм, длина и ширина – 24 мм	<i>Bos taurus</i> (бык домашний)	Средняя фаланга	от 1,5	Без особенностей

98a	3	Высота – 50 мм, длина – 27 мм, ширина -17 мм	<i>Bos taurus</i> (бык домашний)	Проксимальная фаланга	от 1,5	Следы погрызов
98б	3	Высота – 50 мм, длина – 26 мм, ширина -23 мм	<i>Bos taurus</i> (бык домашний)	Проксимальная фаланга	от 1,5	Без особенностей
99a	3	Высота – 55 мм, длина – 27 мм, ширина -25 мм	<i>Bos taurus</i> (бык домашний)	Проксимальная фаланга	от 1,5	Без особенностей
99б	3	Высота – 53 мм, длина – 22 мм, ширина -21 мм	<i>Bos taurus</i> (бык домашний)	Проксимальная фаланга	от 1,5	Без особенностей
114	4	Высота – 32 мм, длина – 22 мм, ширина -21 мм	<i>Bos taurus</i> (бык домашний)	Средняя фаланга	от 1,5	Без особенностей
118	5	Высота - 55 мм, длина и ширина – 16 мм	<i>Sus scrofa domesticus</i> (свинья домашняя)	Пястная кость	2 года	Сквозное отверстие диаметром 8 мм в центре диафиза
131	5	Высота – 55 мм, длина – 30 мм, ширина -25 мм	<i>Bos taurus</i> (бык домашний)	Проксимальная фаланга	от 1,5	Обгоревшая, имеет отверстие диаметром 10 мм в основании
138	6	Высота -31 мм, длина и ширина – 10 мм	<i>Ovis aries</i> (овца домашняя)	Проксимальная фаланга	Возраст не установлен	Без особенностей
163	Постройка №1 (над перекрытием)	Высота – 53 мм, длина – 27 мм, ширина -23 мм	<i>Bos taurus</i> (бык домашний)	Проксимальная фаланга	от 1,5	Без особенностей
165a	Постройка №1 (над перекрытием)	Высота – 30 мм, длина – 29 мм, ширина -23 мм	<i>Bos taurus</i> (бык домашний)	Проксимальная фаланга	от 1,5	Обломана, сохранилось основание

1656	Постройка №1 (над перекрытием)	Высота – 33 мм, длина – 25 мм, ширина – 24 мм	Bos taurus (бык домашний)	Средняя фаланга	от 1,5	Без особенностей
189a	Нижние горизонты постройки №1	Высота – 50 мм, длина и ширина – 23 мм	Bos taurus (бык домашний)	Проксимальная фаланга	от 1,5	Без особенностей
1896	Нижние горизонты постройки №1	Высота – 60 мм, длина и ширина – 15 мм	Bos taurus (бык домашний)	Пястная кость	от 1,5	Без особенностей
190	Нижние горизонты постройки №1	Высота – 36 мм, длина – 30 мм, ширина – 24 мм	Bos taurus (бык домашний)	Средняя фаланга	от 1,5	Без особенностей

Несколько предметов имеют особенности. К примеру, на средней фаланге (находка № 96a) имеются трещины, которые могли возникнуть как из-за деятельности человека, так и в результате воздействий окружающей среды. На проксимальной фаланге (находка № 98a) обнаружены следы погрызов. Наибольший интерес представляют кости с отверстиями, целенаправленно созданными человеком – это находки № 118 и № 131 (рис. 1). Первая из них – пястная кость домашней свиньи, сквозное продольное отверстие на которой находится на диафизе, его диаметр составляет 0,8 см. Находка № 131 – проксимальная фаланга домашнего быка, которая имеет поперечное отверстие диаметром 1 см в основании. Помимо этого, данная кость обгорела.

Аналогии

В среде русского населения из костей животных создавались предметы для различных игр – игра в бабки, шахматы, домино и др. Кости могли подвергаться оформлению – вырезанию, полированию. Предметы, аналогичные описанным из деревни Кемерово, известны повсеместно на памятниках русского населения Нового времени в Сибири. Они интерпретируются специалистами, как кости для игры «в бабки».

Бабки представляют собой подкопытную кость свиньи или коровы, реже лошади. Ю. В. Ширин выделяет на основе материалов с территории Притомья – Кузнецкого острога и Томского кремля несколько разновидностей бабок, все из которых в той или иной роли использовались в игре:

а. бабки без какой-либо доработки;

б. бабки с пометками владельца, зарубками или прорубленным отверстием;

в. бабки, утяжелённые свинцом или оловом, бабки с вбитым железным гвоздём.

Бабки без утяжеления выставлялись «на кон», бабки с утяжелением использовались в качестве биты [5].



Рисунок 1. Находки костей животных из материалов деревни Кемерово

Так, к примеру, в Мангазее было найдено около десятка игровых костей – астрагалов [6, с. 43]. Пястные кости коровы и лошади с отверстием для игры в бабки были обнаружены и в Кузнецком остроге [5]. Несколько десятков астрагалов залегало в культурном слое Томского кремля [7, с. 170]. В Таре исследователи нашли спрятанный ребёнком набор бабок [8, с. 88-89]. Скопление бараньих астрагалов, один из которых оказался за-

литым свинцом, обнаружили при раскопках Красноярского острога. Данный набор связывают с нёсшими в остроге службу казаками [7, с. 171]. На Берёзовом городище были найдены астрагалы, которые, возможно, были заготовками для игры [4, с. 259]. Кости для игры в бабки также обнаружены и при исследовании сельских памятников Омского Прииртышья – Ананьино-I и Изюк-I [10, с. 124].

Для игры в бабки достаточно было набрать нужное количество астрагалов или фаланг, а одну из них, самую крупную, утяжелить свинцом [7, с. 170-171]. Игра в бабки была популярна именно из-за её доступности.

Суть игры заключалась в том, что каждый игрок приходил на игру со своим запасом бабок и со своей битой. В результате игры он мог либо проиграть свои запасы, либо пополнить их. Бабками и битами торговали. Игра могла быть один на один или коллективной, а выглядела так: в определённом месте выстраивали в один ряд бабки, их количество заранее оговаривали. Одинаковое количество бабок выставлялось с той и другой стороны. Расстояние, с которого полагалось бить, обычно было 7-8 м. Сбившие половину бабок перемещались на другую линию боя – на 2-3 м вперёд. Каждый игрок имел право на один бросок. Выбитые из кона бабки считались выигранными – сколько выбьешь, столько и выиграешь. Если же не попадёшь – значит, не только не выиграешь, но и проиграешь свои выставленные бабки. Когда выбивался весь кон, подсчитывались трофеи и потери. А затем выставлялся новый ряд бабок – опять от всех поровну. У кого не оказывалось нужного количества бабок, тот выбывал из игры. Игра продолжалась до тех пор, пока кто-то не собирал все бабки в свой карман или в общий котёл одной команды [5].

Выводы

Найденные костяные экземпляры с немалой вероятностью могли быть игральным. Находки с отверстиями № 118 и № 131, согласно Ю. В. Ширину, могли относиться к бабкам с пометками, остальные же – к первой категории, бабки без доработки. Возможно, фаланга № 131 должна была стать «битой», но была недоработана.

Описанный материал говорит о культурном единстве русского мира не только Сибири, но и всей России. Ю. В. Ширин пишет о свидетельствах того, что горячими поклонниками этой игры были Пётр I, А. В. Суворов, А. С. Пушкин [5].

Список литературы

1. Сахаров, И. П. Русские народные игры: 26. Бабки // Сказания русского народа. – Изд. 3-е. – СПб.: Тип. Сахарова, 1841. – Т. 1. – С. 86-87.
2. Археологическая стратиграфия деревни Кемерово / А. Г. Марочкин [и др.] // Учёные записки музея-заповедника «Томская Писаница». №10. – Кемерово. – 2019. – С. 33-42.
3. Первые археологические материалы XVIII – XIX вв. из раскопок деревни Комарова-Кемерово / А. Г. Марочкин [и др.] // Краткие материалы Международной Западносибирской археолого-этнографической конференции: «Западная Сибирь в транскультурном пространстве Северной Евразии: итоги и перспективы 50 лет исследований ЗСАЭК» Томск, 2020. Электронный ресурс, режим доступа: http://zsaek.tsu.ru/sites/default/files/webform/Марочкин_Юракова_и%20др_Текст_ЗСАЭК_2020.pdf#overlay-context=node/41
4. Конструктивные особенности постройки XVIII–XIX веков из раскопок русской деревни Кемерово / А. Ю. Юракова [и др.] // Культура русских в археологических исследованиях: археология Севера России сборник научных статей. В 2 т. / под ред. Л. В. Татауровой. – Омск; Сургут: Издательская группа АНО «Институт археологии Севера», 2021. – Т. 2. – С. 97-101.
5. Ширин, Ю. В. Игры первых русских сибиряков. – Сибирская старина: краеведческий альманах. – Томск, Томский университет, 2004. – № 22. – С. 45–54.
6. Белов, М.И. Мангазея. Материальная культура русских полярных мореходов и землепроходцев XVI–XVII вв. / М.И. Белов, О.В. Овсянников, В.Ф. Старков // М.: Наука, 1981. – С. 43.
7. Чёрная, М. П. Воеводская усадьба в Томске. 1660-1760-е гг.: историко-археологическая реконструкция. – Томск: Издательский дом «Д’Принт», 2015. – 276 с.
8. Чёрная, М. П. Игры детей и игрушки в социокультурном пространстве сибирского города: историко-археологический контекст / М. П. Чёрная, С. Ф. Татауров // Археология, этнография и антропология Евразии. – 2019. – Т. 47. – № 2. – С. 84-92.
9. Пархимович, С. Г. Детские игрушки в русских поселениях севера Сибири конца XVI-XVIII вв. / Культура русских в археологических исследованиях: сб. науч. ст: В 2-х томах // Под ред. Л.В. Татауровой,

В.А. Борзунова. – Омск; Тюмень; Екатеринбург: Изд-во Магеллан, 2014. – Том I. – С. 253-261.

10. Татаурова, Л. В. Мир детства сибирской деревни XVII-XVIII веков / Интеграция археологических и этнографических исследований. – Омск: Издательский дом «Наука», 2018. – С. 122-128.

Работа выполнена в Лаборатории археологии Института экологии человека ФИЦ УУХ СО РАН под руководством заведующего отделом гуманитарных исследований, доктора исторических наук, профессора В. В. Боброва.

**АРХЕОЛОГИЧЕСКАЯ РАЗВЕДКА В НАЗАРОВСКОМ РАЙОНЕ
КРАСНОЯРСКОГО КРАЯ В 2021 ГОДУ**

**ARCHAEOLOGICAL EXPLORATION IN THE NAZAROVSKY
DISTRICT OF THE KRASNOYARSK REGION IN 2021**

*Егорченко Сергей Евгеньевич, лаборант, Лаборатория археологии
Института экологии человека ФИЦ УУХ СО РАН*

*Sergey E. Egorchenko, laboratory assistant, Archeology laboratory
of Human Ecology Institute FRC CCC SB RAS
E-mail: egorchenko.serzh@mail.ru*

Аннотация: Назаровский район Красноярского края находится в центральной части Назаровской котловины, относящейся к северной части Хакассо-Минусинских котловин. Археологически данный район изучен очень фрагментарно по сравнению с Шарыповским и Ужурским районами, занимающими остальную часть Назаровской котловины. Вместе с тем, в XIX в. на территории Назаровского района был впервые исследован позднеатагарский курган с коллективным трупоположением и бронзовыми миниатюрными предметами. Речь идет о Назаровском кургане, частично раскопанном в 1888 г. археологом Д.А. Клеменцем. В средней части кургана ученый обнаружил центральную коллективную могилу, в которой было не менее 100 скелетов. В могиле были найдены миниатюрные бронзовые ножи, кинжалы, чеканы, а также бляшки обычных форм. Д.А. Клеменц указывает лишь приблизительное местонахождение Назаровского кургана. В связи с этим, в 2021 году была предпринята археологическая разведка в Назаровском районе с целью поиска и фиксации Назаровского кургана. По итогам разведки удалось обнаружить курган, местонахождение и габариты которого совпадают с описанием Д.А. Клеменца. Объект датируется III в. до н.э. – III в. н.э. и принадлежит к позднему периоду агарской культуры.

Abstract: The Nazarovsky district of the Krasnoyarsk region is located in the central part of the Nazarovskaya basin which belongs to the northern part of the Khakass-Minusinsk basins. Archaeologically, this area has been studied very fragmentarily in comparison with the Sharypovsky and Uzhursky regions which occupy the rest of the Nazarovskaya basin. However, in the 19th century on the territory of the Nazarovsky district, a Late Tagar burial mound with a collective burial and bronze miniature objects inside was first discovered. We are talking about the Nazarovsky burial mound, which was partially excavated by the archaeologist D. A. Klements in 1888. D. A. In the middle part of the burial mound, the scientist discovered a central collective grave in which there were at least 100 skeletons. Miniature bronze knives, daggers, hatchets, as well as plaques of ordinary shapes were found in the grave. Klements has indicated only its approximate location. Therefore, in 2021 archaeological exploration was undertaken in the Nazarovsky district in order to find and fix the Nazarovsky burial mound. As a result, it was possible to find a burial mound, the location and dimensions of which coincide with the description of D. A. Klements. The object dates back to the III century BC – III century AD and belongs to the late period of the Tagar culture.

Ключевые слова: Красноярский край, Назаровский район, археологические памятники, одиночные курганы, ранний железный век, тагарская культура, Д.А. Клеменц.

Keywords: Krasnoyarsk region, Nazarovsky district, archaeological sites, single burial mounds, early iron age, Tagar culture, D. A. Klements.

Осенью 2021 года археологический отряд ФИЦ УУХ СО РАН совместно с коллегами из ИИМК РАН (г. Санкт-Петербург) и историко-краеведческим клубом «Наследие» (г. Назарово) проводил разведку в Назаровском районе Красноярского края. Главной целью разведки стал поиск и фиксация «Назаровского кургана» – одного из знаковых для археологии тагарских курганов Южной Сибири, который был частично раскопан археологом Д.А. Клеменцем в 1888 г. Выявление местонахождения кургана и его дальнейшее изучение даст возможность углубить знания об археологических памятниках южносибирского региона, а также пополнит новыми данными геоинформационную систему «Археологическое наследие Кузбасса и сопредельных территорий», созданную на базе лаборатории археологии ФИЦ УУХ СО РАН.

Назаровский район относится к центральным районам Красноярского края и находится на стыке Западной, Южной и Средней Сибири. Это территория северной лесостепи [1, с. 14-15]. Район расположен в центре Назаровской котловины – северной части Хакасско-Минусинских котловин.

Территория Назаровской котловины поделена между Шарыповским, Ужурским и Назаровским районами Красноярского края. В XVIII веке территория Назаровской котловины изучалась комплексно во время академических экспедиций под руководством Д. Г. Мессершмидта (1722 г.), Г.Ж. Миллера и И.Г. Гмелина (1739 г.), П.С. Палласа (1771, 1772 г.). В XIX в. изучение было продолжено М.А. Кастреном (1847 г.), В.В. Радловым (1863 г.), Д.А. Клеменцем (1883, 1888 г.) [2, с. 11].

Однако в XX веке начала проявляться неравномерность в изучении районов Назаровской котловины. Интерес археологов смещается в сторону изучения Шарыповского, и, в чуть меньшей степени, Ужурского районов. За XX в. на территории современного Шарыповского района были проведены многочисленные разведки и раскопки. В разные годы там работали Г.П. Сосновский [3, с. 32-45], В.Г. Карцев, П.Е. Чернявский (1920-е гг.), Н.Л. Членова (1957 г.), А.И. Мартынов (1960-1970-е гг.) [4, с. 14]. В 1970-е – 1980-е гг. археологами из ЛОИА АН (ныне ИИМК РАН) и Кемеровского педагогического института (ныне КемГУ) были проведены масштабные спасательные археологические раскопки в связи с проектированием Канско-Ачинского топливно-энергетического комплекса (КАТЭК) [4, с. 14-15; 5]. В итоге, к концу XX века были учтены почти 300 памятников археологии и древней истории [4, с. 19-21].

В пределах Ужурского района в XX веке не проводилось многочисленных раскопок, но были учтены практически все курганные могильники и одиночные курганы – более 300 единиц [2, с. 39-86].

За тот же период времени на территории Назаровского района, помимо небольшого количества случайных находок, были зафиксированы и поставлены под государственную охрану всего 11 памятников археологии [4, с. 4]. Большинство из них было обнаружено в середине 1980-х гг., когда началась сплошная паспортизация памятников археологии Красноярского края. В 2016 г. под руководством Е.А. Томиловой осуществлен мониторинг объектов археологического наследия. В 2017-2018 гг. археологическую разведку в Назаровском районе провел Т.А. Ключников. По итогам была обнаружена ранее неизвестная

стоянка эпохи Верхнего палеолита у деревни Серезж [6]. С середины 2000-х гг. проводятся обследования земельных участков, отводимых под размещение различных объектов хозяйственного значения. По итогам обследований объекты археологического наследия не выявлены. На основе этих данных можно сделать вывод, что по сравнению с Шарыповским и Ужурским районами, Назаровский район в археологическом плане изучен очень фрагментарно.

Последним исследователем, проводившем раскопки на территории Назаровского района, был Дмитрий Александрович Клеменц (14.12.1848 – 08.01.1914) – русский революционный деятель, археолог, путешественник, исследователь Южной Сибири и Центральной Азии. В 1879 году за участие в нескольких народнических организациях Д.А. Клеменца арестовывают и через 2 года ссылают в Сибирь, в Минусинск [7, с. 3-4].



Рисунок 1.
Д.А. Клеменц

В Минусинске Д.А. Клеменц отошел от революционной деятельности и погрузился в исследование местного края. В 1883 году он стал ценным участником экспедиции А.В. Адрианова по изучению Восточного Алтая и Западных Саян [7, с. 4]. В 1886 году на основе хранящейся в Минусинском музее археологической коллекции Д.А. Клеменц издает важный для сибирской археологии труд «Древности Минусинского музея» [8; 9].

В 1888-1890 гг. Д. А. Клеменц проводит масштабные полевые исследования в бассейне Среднего Енисея. Им были раскопаны 6 курганов в окрестностях села Чебаки на правом берегу реки Чёрный Уюс (Шарыповский район Красноярского края) и 2 больших кургана – один на Уйбатском Чаатасе (Усть-Абаканский район республики Хакасия), другой возле села Назаровского на реке Березовка (приток реки Чулым) (Назаровский район Красноярского края) [10, с. 16-19; 7, с. 8].

В рукописном архиве ИИМК РАН хранятся достаточно подробные материалы раскопок Назаровского кургана, а Государственный исторический музей располагает коллекцией из 122 предметов из этого кургана. Это был один из первых исследованных в Сибири тагарских курганов с найденными внутри миниатюрными предметами. Упоминания о нем не раз встречаются в литературе [7, с. 7; 10, с. 16-19; 11, с. 261, 266,

283; 12, с. 6, 10-11], однако данные об этом кургане отсутствуют в реестре объектов культурного наследия. В том числе, нет информации о его точном местоположении.

Основным источником по изучению Назаровского кургана является «Отчет о раскопках в Ачинском и Канском округах», предоставленный в 1889 году Д.А. Клеменцем в Императорскую археологическую комиссию (ИАК). В настоящее время отчет хранится в Рукописном отделе Научного архива ИИМК РАН [13].

В Отчете сказано, что курган находится *«в 4 верстах ($\approx 4,3$ км – здесь и далее прим. автора) к Ю-В от Назаровского, в 1 версте (1,0668 км) от вышеупомянутого тракта (имеется ввиду почтовый тракт из села Назаровского в деревню Пеньки), в 200 саженьях (≈ 427 м) от реки Березовой, впадающей в Чулым выше села Назаровского»* [13, л. 10].

По описанию Д.А. Клеменца Назаровский курган, представлял собой *«овальную насыпь, длиной с запада на восток 118 футов (≈ 40 м), шириной с север на юг 99 футов ($\approx 30,1$ м) и высотой 6 футов ($\approx 1,8$ м). Восточный и западный скаты положе, чем северный и южный. Вершина кургана плоская, с небольшой вогнутостью к середине»* [13, л. 11]. В середине насыпи археолог обнаружил довольно свежую не осыпавшуюся яму. Ученый предположил, что это была попытка «хищнической раскопки» кургана, так как яма не могла произойти ни от оседания насыпи, ни от размыва.

Д.А. Клеменц не знал устройства этого типа курганов, поэтому не рискнул раскопать его колодцем, как было принято в то время. Вместо этого он остановился на раскопке методом сквозных траншей. Всего было заложено 4 траншеи друг напротив друга, каждая из которых начиналась с разных сторон кургана – северной, южной, западной и восточной. Судя по описанию Д.А. Клеменца, траншеи прорезали курган насквозь, пересекаясь крест-накрест. Ширина каждой траншеи была 4 аршина ($\approx 2,84$ м) [13].

В курганной насыпи найдены конские зубы, череп дикой козы, часто попадались остатки угля, куски дерева, горелой бересты. В средней части кургана Д.А. Клеменц обнаружил центральную коллективную могилу. Её размеры: длина с востока на запад 24 фута ($\approx 7,32$ м), ширина с севера на юг 19 футов ($\approx 5,79$ м), глубина без настила на дне – 11 футов ($\approx 3,35$ м) [13, л. 19].

Скелетов в могиле было не менее 100, по меньшей мере 20 из них принадлежали детям от 7 до 14 лет. Остатки не потревоженных

человеческих скелетов были встречены Д.А. Клеменцем во всех четырех траншеях [13, л. 13]. Поэтому не стоит исключать, что, помимо центральной, под насыпью кургана были боковые могилы, которые, вероятно, были задеты в ходе грабительских раскопок.

Наполнение центральной могилы составляли бронзовые вещи – миниатюрные ножи, кинжалы и чеканы, а также бляшки обычных форм. *«Характерно, что все вещи имели такие малые размеры, которые исключают всякую мысль о возможности практического употребления их в действительной жизни. Обломки горшков попадались крайне редко».* – пишет Д.А. Клеменц о находках [13, л. 19].

Коллекция находок из Назаровского кургана в количестве 122 предметов поступила сначала в Императорскую археологическую комиссию, а затем передана в Государственный исторический музей в Москве. Кроме обломка верхней части ручки с валиковым навершием бронзового ножа, все предметы – это миниатюры (23 кинжала, 29 ножей, 17 чеканов, 26 бронзовых бляшек (зеркал), из которых четыре медалевидные, остальные – петельные. Несколько проколов, два бронзовых сосуда и бусы [13, л. 24-30].

Назаровский курган имеет важное историографическое значение для изучения лесостепного района тагарской культуры. Местонахождение первого раскопанного кургана с коллективным трупоположением и бронзовыми миниатюрами стало эпонимом одного из этапов лесостепной тагарской культуры – «назаровского», датированного III в. до н.э. [12, с. 81-85]. Это один из поздних этапов тагарской культуры. С названием кургана даже связан историографический парадокс. В выделенной А. И. Мартыновым «лесостепной тагарской культуре» Южной Сибири назаровский этап, сам Назаровский курган был отнесен не к назаровскому, а к более позднему этапу – шестаковскому. Об этом ученый пишет: *«Для рассматриваемого нами времени (Шестаковский этап) характерны бронзовые миниатюрные сосудики с боковыми горизонтальными ручками, найденные в могильнике Шестаково, в Большепичугинском, Алчедатском, Назаровском курганах...»* [13, с. 89].

Месторасположение Назаровского кургана – одного из самых известных курганов в Назаровской лесостепи — до сих пор было неизвестно. Поэтому в 2021 году была предпринята попытка найти курган, чтобы появилась возможность его доисследования. Метод сквозных траншей, использованный Д.А. Клеменцем, не может дать полной картины

устройства кургана, так как значительная его площадь осталась нетронутой. Кроме центральной могилы, в кургане, вероятно, были и боковые могилы, на что указывают остатки не потревоженных человеческих скелетов, которые, как нами уже упоминалось, присутствовали во всех траншеях. Существует вероятность того, что некоторые объекты могли остаться нетронутыми, поскольку «хищническая раскопка», по словам Д.А. Клеменца, была небольшой и не нанесла серьезного урона кургану. Для получения более подробных данных нужно провести полноценные раскопки Назаровского кургана, со вскрытием всей площади насыпи и фиксацией всех конструктивных особенностей и находок.

В 1888 году Д. А. Клеменцем были подготовлены две карты с обозначением обнаруженных им археологических памятников. Одна из них – «Карта распространения земляных курганов в средней части Ачинского округа» [14, с. 586; 2, с. 19]. Другая, более подробная, – «Карта Минусинского округа с указанием важнейших археологических памятников», в 1888 году опубликованная Радловым в выпуске «Сибирских древностей» [14, с. 185 (табл. 19)].



Рис.2. «Карта распространения земляных курганов в средней части Ачинского округа» (фрагмент)



Рис.3. «Карта Минусинского округа с указанием важнейших археологических памятников» (фрагмент)

Мы соотнесли данные из отчета Д.А. Клеменца и информацию с его карт с современными картами, и нашли область, где может находиться Назаровский курган. Это территория заброшенных садовых участков в пригороде Назарово, на юго-востоке от старого центра.

Осенью 2021 года была обследована территория заброшенных садовых участков в пригороде г. Назарово площадью около 140 га. Данный участок удалось локализовать благодаря работе, проделанной заместителем председателя историко-краеведческого клуба «Наследие» А.В. Ильиным.

Приблизительно в 610 м к западу от реки Березовка был обнаружен курган. На объекте проведен визуальный осмотр, топографическая съемка, и фотофиксация. На основании полученных материалов были установлены границы памятника.

Диаметр кургана 40,7 x 29,2 м, высота 1,8 м, площадь ок. 3000 м². Насыпь кургана нарушена – в центре находится яма № 1 диаметром 23,5 x 15,7 м и глубиной около 2,7 м. Столь серьезное углубление в центре насыпи говорит о том, что курган раскапывали. По периметру ямы неравномерно размещены остатки земляной отваловки. В юго-западной части кургана находится еще одна яма диаметром 5 м и глубиной 0,8 м.

Курган и местность вокруг него покрыты густой травянистой и кустарниковой растительностью. Камней в насыпи не обнаружено.

В северной части насыпь кургана нарушена геодезический пунктом, с остатками металлических опор. Вполне возможно, что наличие геопункта спасло курган от полного разрушения, поскольку вблизи от него со всех сторон располагаются садовые участки, являющиеся в данный момент заброшенными, но в прошлом активно распахивались. Вплотную к южной части насыпи пристроена небольшая деревянная хозяйственная постройка. Кроме того, центральная яма, по всей видимости, использовалась местными жителями для свалки мусора.

Местонахождение и габариты кургана совпадают с описанием в отчете Д.А. Клеменца. На то, что курган раскапывался, указывает яма в центре насыпи – предположительно, это вскрытая центральная могила; а также яма, расположенная в юго-западной части насыпи, которая могла остаться после траншей, с помощью которых проводил раскопки Д.А. Клеменц. Однако других следов траншей, которые должны пересекать курган крест-накрест, не обнаружено. Более того, восточная часть кургана выглядит непотревоженной.

По итогам проведенной разведки пока нет твердых оснований утверждать, является ли обнаруженный курган тем самым, который в 1888 году раскопал Д.А. Клеменц, или это другой курган, который не был неизвестен до настоящего времени. По размерам насыпи данный объект сопоставим с позднеатагарскими курганами лесостепного района и датируется в широком хронологическом диапазоне: III в. до н.э. – III в. н.э.

Курган был поставлен на госохрану как ВОАН «Назарово. Одиночный курган-2». Если дальнейшие исследования подтвердят, что объект действительно является тем самым «Назаровским курганом», появится возможность наконец завершить раскопки одного из самых значимых атагарских курганов Южной Сибири.

Список литературы

1. Мистрюков, А. А. Геоморфологическое районирование Назарово- Минусинской межгорной впадины. – Новосибирск, 1991. – 130 с.
2. Красниенко, С. В. У Солгонского кряжа. Археологические памятники Ужурского района (Красноярский край): история изучения и современное состояние / С. В. Красниенко, А. В.Субботин. – СПб., 2013. – 196 с.

3. Комарова, М. Н. Памятники андроновской культуры близ улуса Орак // АСГЭ [Вып.] 3. Эпоха бронзы и раннего железа Сибири и Средней Азии. – Л.: Изд-во Гос. Эрмитажа. 1961. – С. 32-73.
4. Красниенко, С. В. Археологическая карта Шарыповского района (Красноярский край) / С. В. Красниенко, А. В. Субботин. – СПб., 1999. – 114 с.
5. Вадецкая, Э. Б. Первые итоги работ на КАТЭЖе // Древние культуры евразийских степей (по материалам археологических работ на Новостройках). – Л., 1983. – С. 47-56.
6. Журавков, С. П. Акт ГИКЭ земель от 31.12.2019, Назаровский район. Реконструкция горно-транспортной части разреза «Назаровский» // Сайт СГООКН КК, раздел: заключения ГИКЭ. – Режим доступа: https://ookn.ru/experts/?PAGEN_1=35. – [04.04.22].
7. Дэвлет, М. А. Д. А. Клеменц как археолог // Советская археология. – 1963. – № 4. – С. 3-9.
8. Клеменц, Д. А. Древности Минусинского музея. Памятники металлических эпох. – Томск, 1886. – 185 с. – Режим доступа: <https://elib.tomsk.ru/purl/1-11993/> [04.04.22].
9. Клеменц, Д. А. Древности Минусинского музея. Памятники металлических эпох: атлас. – Томск, 1886. – Режим доступа: <https://elib.tomsk.ru/purl/1-12170/> [04.04.22].
10. Ковешникова, Е. А. Историография археологии Сибири и Дальнего Востока. – Красноярск, 1992. – 126 с.
11. Киселев, С. В. Древняя история Южной Сибири. – М., 1951. – 664 с.
12. Мартынов, А. И. Лесостепная тагарская культура. – Новосибирск. – 1979. – 207 с.
13. Дело ИАК о раскопках г. Клеменца в Ачинском и Канском округах, Енисейской губ. – РО НА ИИМК РАН, ф. 1, 1888, д. 23.
14. Герман, П. В. Древности Мариинской лесостепи: первые сведения и начало научного изучения // Вестник Кемеровского государственного университета. – 2020. – Т. 22. – № 3. – С. 584-594.

Работа выполнена в Лаборатории археологии Института экологии человека ФИЦ УУХ СО РАН под руководством кандидата исторических наук, старшего научного сотрудника П. В. Германа.

**ОТРАЖЕНИЕ СТАХАНОВСКОГО ДВИЖЕНИЯ УГОЛЬНОЙ
ПРОМЫШЛЕННОСТИ В ПЕРИОДИЧЕСКОЙ ПЕЧАТИ
В 1935-1941 гг. НА ПРИМЕРЕ ГАЗЕТЫ «В БОЙ ЗА УГОЛЬ»
(г. КИСЕЛЕВСК)**

**REFLECTION OF THE STAKHANOV MOVEMENT OF THE COAL
INDUSTRY IN THE PERIODICAL PRESS IN 1935-1941 ON THE
EXAMPLE OF THE NEWSPAPER «INTO BATTLE FOR COAL»
(KISELEVSK)**

*Зырянова Кира Александровна, аспирант,
Институт экологии человека ФИЦ УУХ СО РАН*

*Kira A. Zyryanova, post-graduate student, Institute of Human Ecology
FRC CCC SB RAS
E-mail: kira-korenn@mail.ru*

Аннотация: Актуальность: Возрождение в России научного интереса к трудовым подвигам и организации труда, в частности, восстановлено звание Героя труда. Запрос общества на изучение трудовой деятельности. Стахановское движение – одна из форм массового трудового движения советского времени. Поэтому важно изучить аспекты его развития в Кузбассе.

Цели: определение направлений отражения стахановского движения в газете «В бой за уголь» 1935-1941 гг., изучение развития движения на Киселевских угледобывающих предприятиях.

Методы: анализ материалов о стахановском движении на Киселевских угледобывающих предприятиях, опубликованных в газете «В бой за уголь» с 1935 по 1941 гг.

Результаты:

1. Проведен анализ периодического издания «В бой за уголь» за период 1935-1941 гг. с целью характеристики стиля освещения стахановского движения в вышеупомянутый период: всего было опубликовано 975 выпусков газеты, в 340 из которых имелась информация о стахановцах (заметки, отчеты, статьи, передовые статьи, очерки), что составляет 35% всех выпусков.

2. Определены направления освещения стахановского движения в газете «В бой за уголь» 1935-1941 гг.: в основной, публикации имели информационный и побудительный характер.

3. Выделены характерные для каждого года черты в описании стахановских методов работы.

Abstract: 1. The analysis of the periodical «Into the Battle for Coal» for the period 1935-1941 was carried out in order to characterize the style of coverage of the Stakhanov movement in the aforementioned period.

2. The directions of coverage of the Stakhanov movement in the newspaper «Into the Battle for Coal» 1935-1941 were determined.

3. The characteristic features of each year are highlighted in the description of Stakhanov's methods of work.

Relevance: The revival of scientific interest in labor exploits and labor organization in Russia, in particular, the title of Hero of Labor has been restored. The request of the society for the study of labor activity. The Stakhanov movement is one of the forms of the mass labor movement of the Soviet era. Therefore, it is important to study the aspects of its development in Kuzbass.

Objectives: to determine the directions of reflection of the Stakhanov movement in the newspaper «In the Battle for Coal» of 1935-1941, to study the development of the movement at the Kiselyov coal mining enterprises.

Methods: analysis of materials on the Stakhanov movement at the Kiselevsky coal mining enterprises published in the newspaper «Into Battle for Coal» from 1935 to 1941.

Ключевые слова: газета, Кузбасс, социалистическое соревнование, стахановское движение, стахановец, производительность труда, шахта.

Keywords: newspaper, Kuzbass, socialist competition, Stakhanov's movement, stakhanovets, labor productivity, mine.

Стахановское движение в Кузбассе началось во второй половине сентября 1935 года. В ответ на почин А. Стаханова кузнецкие шахтеры, используя его методы, начали давать рекорд за рекордом.

Освещение работы стахановского движения в Кузбасской газете «В бой за уголь» (начало выпуска с 1933 года), началось с передовой статьи (на первой странице газеты) под названием *«Отличники-шахтеры Киселевки! Овладейте новым стахановским методом вырубki угля, достигайте наивысшей производительности труда!»* в выпуске № 100 от 18 сентября 1935 года. Она была посвящена трудовым достижениям

донбасских горняков-забойщиков Стаханова, Дюканова, Терехина и Канцедалова. «Донбасские горняки-забойщики Стаханов, Дюканов, Терехина и Канцедалов первыми подняли знамя соревнования за наивысшую производительность труда. За смену эти мастера отбойного молотка дали: 102, 115, 119 и 125 тонн угля» – такой новостью началось освещение развития стахановского движения в СССР. Отмечалось, что высоких трудовых достижений удастся достичь, если «оседлать технику, освоить механизмы и выжать из них наивысшую производительность, что они могут делать». Была озвучена цель найти «своих Стахановых», поставить их в пример, широко передать их опыт, добиться того, чтобы на них равнялись все рабочие шахт.

В выпуске № 102 от 23 сентября 1935 года был опубликован очерк Алексея Стаханова о том, как ему удалось добиться высоких результатов работы.

Всего за 1935 год было издано 133 выпуска газеты, в 33-х из них (с сентября по декабрь) были опубликованы материалы (заметки, репортажи, статьи, передовые статьи, корреспонденция) о стахановском движении. В 1935 году, в основном, публикации о движении в газете были посвящены следующей тематике:

- пересмотр принятых производственных норм;
- изменение (совершенствование) методов работы;
- экономия ресурсов и снижение себестоимости добычи угля;
- стремление к развитию движения не как единичного достижения, а как обязательное для всех руководителей и работников стремление;
- достижения отдельных стахановцев и стахановских участков;
- обмен опытом.

В периодическом издании также давалась информация о способах исчисления размера оплаты труда стахановцев. Например, в выпуске № 107 от 8 октября говорится об установлении нового способа оплаты труда для тех, кто работает стахановским методом. Забойщик получал звание «Мастер отбойного молотка», для которого устанавливалась ставка 8,10 руб. вместо существующих 6,61 руб. на некоксуемых углях и 9 руб. вместо существующих 7,26 руб. на коксующихся углях. Кроме того, бригадиры получали доплату от 20 до 60 руб. сверх основного заработка. Таким образом, обращалось внимание читателей на то, что стахановцы могут заработать больше, чем рядовые рабочие.

10 октября 1935 года вышел Приказ № 159 по Киселевскому рудоуправлению треста «Кузбассуголь» «О переводе на стахановский метод работы участков и шахт Киселевского рудника» (выпуск № 109 от 15 октября 1935 г.), в соответствии с которым на стахановский метод работы переводились участки следующих шахт: шахта № 1-2, шахта № 3, шахта № 4, штольня № 10, шахта № 5. Данная информация свидетельствует о том, что рабочее движение становится массовым явлением.

В целом, в 1935 году стахановское движение в газете упоминалось в положительном ключе. Но время от времени в газете упоминались случаи саботажа стахановских методов добычи угля (невыход на работу, игнорирование поставленных целей и т.д.).

В первом выпуске 1936 года (№ 1 от 01.01.1936 г.) в передовой статье были подведены итоги первого стахановского года: «Самой выдающейся победой истекшего года является стахановское движение, в котором как в зеркале отражаются гигантские успехи социализма во всех областях хозяйства, культуры, быта и самое движение стахановцев явилось следствием этих успехов».

Для 1936 года характерно еще более активное освещение стахановского движения в газете «В бой за уголь». Так, практически каждый номер начинался с передовых статей, которые освещали разные аспекты движения:

- о кузбасских стахановцах, например, о Титове Никифоре Лукьяновиче (Анжерский рудник), Карьянове Иосифе Петровиче, Шишкине Гаврииле Назаровиче, Дружинине Алексее Васильевиче, Шерстенева Якове Марковиче, Поливанове Степане Яковлевиче (Шахта № 4) и др.;

- о повышении технической грамотности стахановцев;
- о стахановских сутках, пятидневках, декадах и т.д. (планы и итоги);

- о переходе от стахановской смены к стахановскому участку, а далее – к стахановской шахте. На 1936 год была поставлена цель перехода от индивидуальных достижений к массовым. В движение вовлекались целые шахты;

- о заботе о стахановцах: об организации отдыха в выходные дни, росте заработной платы, улучшении жилищных условий, повышении культурного уровня (в № 26 от 24.03.1936 г. упоминается о пополнении

библиотечных фондов в соответствии с пожеланиями стахановцев), отдыхе на курортах;

- о производственных задачах и планах стахановцев, об их участии в организаторской работе;
- как и в 1935 году, в 1936 году описывались единичные случаи саботажа;
- о конференциях, слетах, собраниях стахановцев. В выпуске № 33 от 15.04.1936 г. рассказывалось об организации слета стахановцев, на котором его участники рассказывали об опыте, достижениях, недостатках, о трудностях, которые встречаются в их работе;
- статьи самих стахановцев о своей работе. Например, стахановец – начальник участка № 1 шахты № 4 И. Локтев в выпуске № 11 от 03.02.1936 г. рассказывал о поездке в Донбасс для получения нового опыта, который планировал применить на своей шахте;
- о стахановском движении не только в угольной, но и в металлургической промышленности (выпуск № 16 от 18.02.1936 г.): в этом номере газеты было рассказано о том, что «первые стахановцы литейного цеха Киселевского машиностроительного завода тт. Гапоненко и Юрьев помогли другим литейщикам перейти на стахановский метод работы». До этого упоминаний о стахановцах в металлургии не было.

Всего за 1936 год в свет вышло 123 выпуска газеты, в 53-х из них опубликованы материалы о стахановцах. В первой половине года в каждом выпуске газеты содержалось от 4 до 6 статей (заметок, отчетов и пр.). Из вышеотмеченного можно сделать вывод о том, что его освещение было крайне важным делом.

Во второй половине 1936-1937 гг. в газетах стало публиковаться меньше информации о стахановском движении. Это связано с тем, что больше внимания уделялось внутри- и внешнеполитическим событиям, развитию социализма в других странах, освещению партийной работы внутри страны.

В выпуске № 4 от 09.01.1937 г. опубликована новость о том, что стахановцы Шахты № 3 принимают вызов от стахановцев Шахты № 1-2 и начинают социалистическое соревнование. Подобные заметки стали публиковаться в газете с 1937 года.

Имела место информация в виде отчетов о планах добычи угля и о сроках, в которые был перевыполнен план. Также как и в 1935-1936 гг., информация срывах плана добычи саботажничестве встречалась нечасто.

Всего за 1937 год в свет вышло 145 выпусков газеты, в 59-и из них опубликованы материалы о стахановцах. В каждом выпуске содержалось, в среднем, 2-3 статьи (заметки, отчета и пр.). Если в 1936 году стахановцам были посвящены большие статьи, часто на первой странице, то в 1937 году это были, в основном, небольшие заметки. Скорее всего, это связано с изменением внешнеполитической обстановки и, как следствие, необходимостью уделить ей больше внимания. Кроме того, стахановское движение в 1937 году имело массовый характер и необходимость вовлечения в него новых людей на тот момент была минимальной.

В 1938 году, судя по характеру публикаций, в периодическом издании вновь появляется интерес к стахановскому движению, передовые статьи и другие материалы большего объема печатаются чаще, чем в 1937 году. Однако, в первой половине года все больше писали о стахановской работе в сельском хозяйстве. Так, в выпуске № 50 от 12 апреля на первой странице было опубликовано «Обращение районного слета стахановцев о ударников социалистических полей ко всем колхозникам и колхозницам, к рабочим и работницам совхоза, к специалистам сельского хозяйства Киселевского района, Новосибирской области». В нем говорилось о важности побед стахановцев в построении социализма, об успешной борьбе колхозов за рост урожайности. Немало внимания было уделено подрывной деятельности врагов народа: «Враги народа – подлые троцкистско-бухаринские бандиты, продавшиеся фашистским разведкам, пытались путем вредительства и диверсий подорвать наше социалистическое хозяйство. Гнусные изменники Родины запутывали дело семеноводства, распространяли среди поголовья скота заразные заболевания, уничтожали племенной скот, губили молодняк, срывали методы стахановского движения в колхозах и совхозах. ...Каждый колхозник и колхозница, каждый работник и работница совхозных и колхозных полей, каждый специалист сельского хозяйства должны еще выше поднять свою революционную бдительность...». Таким образом поощрялось присоединение к государству в борьбе с «вредителями». Такие статьи в 1938 г. не были единичными.

На протяжении 1938 г. стахановское движение в сельском хозяйстве освещалось в газете всесторонне: упоминалось о досрочном выполнении плана уборки урожая, об объявлении соцсоревнований. В этом же году появляется новый раздел «Доска почета» (№№ 157, 158, 174), в котором

были представлены лучшие стахановцы и обычные работники сельского хозяйства и угольной промышленности.

Во второй половине года, наряду со статьями и заметками о сельском хозяйстве, вновь появляются материалы о стахановской работе в угольной промышленности. Снова пишут о досрочном выполнении плана угледобычи стахановцами, об объявлении соцсоревнований, о призывах к присоединению к стахановскому движению с целью увеличения производительности труда и, как следствие, роста достатка рабочих, о вовлечении стахановцев в партийную работу (выпуск № 124 от 12 сентября 1938 г.). Важной целью роста движения теперь объявлялось укрепление обороноспособности страны (например, выпуск № 119 от 2 сентября 1938 года и др.).

В этом же году наблюдается нехарактерная для 1935-1937 гг. тенденция освещения отрицательных явлений стахановского движения. Если в предыдущие годы было по 2-3 выпуска в год с упоминанием таких явлений, то в 1938 году их было уже 11. Основные проблемы движения были такими:

- отставание в выполнении плана угледобычи;
- отсутствие поощрения стахановцев;
- отсутствие условий для роста производительности (плохая подготовка к работе);
- саботаж.

Естественно, упоминаний о том, что эти аспекты имели массовый характер, не было, но то, что их количество увеличилось в 4 раза, говорит о том, что в рабочем движении имелись проблемы.

В 1938 году было выпущено 168 выпусков газеты, в 47-и из них опубликованы материалы о стахановцах. В каждом из 47-и выпусков было уделено внимание стахановцам в сельском хозяйстве.

Снова номера газеты начинались со статей, заметок, очерков, отчетов о стахановцах. Но теперь в газете было большое количество информации, посвященной и угольной промышленности, и сельскому хозяйству. Тематика публикаций была следующая:

- развертывание местных и Всекузбасских соцсоревнований;
- укрепление трудовой дисциплины;
- стахановские слеты;
- обращения стахановцев к молодым рабочим;
- досрочное выполнение планов;

- съезды стахановцев;
- борьба за высокий урожай;
- формирование списков кандидатов на Всекузбасский слет стахановцев;

- Доска почета;
- поддержка обороноспособности страны стахановским трудом;
- работа стахановских школ.

В 1939 году было издано 170 выпусков газеты, в 55-и из них были опубликованы материалы (заметки, репортажи, статьи, передовые статьи, корреспонденция) о стахановском движении в угольной промышленности и сельском хозяйстве. Примечательно, что в 1939 году практически не уделялось внимание проблемам движения, в отличие от 1938 года. Также отмечается, что количество информации сократилось, несмотря на то, что количество выпусков, в которых упоминалось движение, сохранялось примерно на уровне 1936 года.

В 1940 году было издано 136 выпусков газеты, в 56-и из которых были опубликованы материалы о стахановском движении в угольной промышленности и сельском хозяйстве. Тематика публикаций практически не отличается от тематики 1939 года. По их количеству и характеру можно сделать вывод, что интерес сместился вновь в пользу угледобычи. Стахановскому движению в сельском хозяйстве уделяется меньше внимания.

В 1941 году увидело свет 100 выпусков газеты «В бой за уголь», и всего в 37-и из них были опубликованы статьи и заметки, посвященные стахановскому движению. Большая часть из них – в первой половине года. Это наименьшее количество публикаций за период с 1935 по 1941 гг., причем после 22 июня вышло всего 4 выпуска, в которых рассказывалось о движении.

Таким образом, результаты проведенного анализа периодического издания «В бой за уголь» за 1935-1941 гг. представлены в таблице.

Результаты анализа периодического издания «В бой за уголь»

Год	Общее количество выпусков газет	Количество выпусков газет, в которых имеются материалы о стахановском движении	Количество материалов о стахановском движении за год	Среднее количество материалов на количество в которых имеются материалы о стахановском движении
1935	133	33	97	2,9
1936	123	53	152	2,9
1937	145	59	159	2,7
1938	168	47	134	2,8
1939	170	55	102	1,8
1940	136	55	122	2,2
1941	100	37	67	1,8

Очевидно, что наибольшее среднее количество информации о стахановском движении было опубликовано в 1935 и 1936 годах. Это были передовые статьи, заметки, статьи, очерки, отчеты. В 1937 году также было напечатано большое количество информации, однако уже не было больших статей, а материалы публиковались в виде небольших заметок и отчетов. По характеру публикаций можно сказать, что в 1938 году уделялось больше внимания движению, так как снова стали печатать большие статьи и передовые статьи. В 1939-1940 годах количество информации о стахановцах уменьшилось, по сравнению с предыдущими годами. Во второй половине 1941 года практически исчезло.

Проанализировав периодическое издание «В бой за уголь», можно сделать следующие выводы:

1. Посредством освещения труда стахановцев в периодических изданиях государство привлекало внимание и усиливало интерес населения к трудовым подвигам, что было необходимым условием для быстрых темпов развития промышленности и сельского хозяйства.

2. Обращалось внимание на важность трудовых подвигов для укрепления обороноспособности страны.

3. Не всегда стахановские методы работы на предприятиях воспринимались с энтузиазмом. В основном, в статьях газет это объясняется нерадивостью и нерасторопностью администрации и ИТР, а в ряде случаев прямым саботажем и «вредительством» с их стороны. Кроме того, такие случаи освещались в небольшом количестве и в форме порицания факта отставания предприятий.

4. Уделялось внимание условиям работы и свободного времяпровождения стахановцев. Особое внимание уделялось оплате их труда – в газете многократно отмечался рост благосостояния рабочих, придерживающихся стахановских методов производства.

5. В целом, материалы о стахановцах в газете имели информационный и побудительный характер. Неоднократно обращалось внимание на то, что важно вовлечь в это движение как можно больше рабочих. И газеты были одним из инструментов в достижении этой цели.

6. В каждом третьем выпуске газеты «В бой за уголь» были опубликованы статьи, посвященные стахановцам. Это свидетельствует о том, что Стахановскому движению уделялось большое внимание как к важному аспекту развития промышленности.

Список литературы

1. Газета «В бой за уголь». Выпуски 1935-1941 гг.
2. Леухова, М.Г. Стахановское движение в Кузбассе в 30-е годы // Балибаловские чтения: материалы научно-практ. конф., посвящ. 80-летию городского статуса Кемерово. Июнь 1998 г. / Кемер. гос. ун-т [и др.]. – Кемерово: Кузбассвуиздат, 1998. – С. 74-77.
3. Заболотская, К.А. Угольная промышленность Сибири (конец 1890-начало 1990х гг.). – Кемерово: АОЗТ «Кузбассвуиздат», 1995. – С. 155.

Работа выполнена в Лаборатории истории Южной Сибири Института экологии человека ФИЦ УУХ СО РАН под руководством доктора исторических наук, профессора А.Н. Ермолаева.

**ОБ ОДНОЙ КАТЕГОРИИ ГЛИНЯНЫХ ИЗДЕЛИЙ
С ПОСЕЛЕНИЙ РАННЕГО ЖЕЛЕЗНОГО ВЕКА
КИЯ-ЧУЛЫМСКОГО МЕЖДУРЕЧЬЯ**

**ON A CATEGORY OF CERAMIC OBJECTS
FROM THE EARLY IRON AGE SETTLEMENTS IN THE AREA
BETWEEN THE RIVERS KIYA AND CHULYM**

*Калинская Анна Викторовна, лаборант
Лаборатории археологии, Институт экологии человека
ФИЦ УУХ СО РАН*

*Anna V. Kalinskaya, laboratory assistant Archaeology laboratory,
Institute of Human Ecology FRC CCC SB RAS
E-mail: kalinskaja.anna@yandex.ru*

Аннотация: С 2018 года лабораторией археологии ФИЦ УУХ СО РАН проводятся раскопки на поселении раннего железного века Шестаково II. В статье рассматривается одна из наиболее массовых категорий находок среди глиняных изделий этого памятника – так называемые конусы и пирамидки. Данные предметы встречаются и на других поселениях тагаро-таштыкского времени Кия-Чулымского междуречья: Третьяково I и Косоголь I. Это предметы колоколовидной или пирамидальной формы, высотой 130-150 мм и диаметром основания – 80-100 мм. Как правило, на изделиях отсутствует орнамент, на некоторых из них имеются небольшие вдавления. Раннее глиняные конусы / пирамидки не становились предметом отдельного исследования, в связи с чем был проведен предварительный морфологический и контекстуальный анализ подобных артефактов с поселений Кия-Чулымского междуречья, осуществлен поиск аналогий и возможных интерпретаций их функционального назначения. В качестве аналогий представлены материалы памятников Барабинской и Днепровской Левобережной лесостепей. Установлено, что подобные предметы – уникальное явление тагаро-таштыкского времени Кия-Чулымского между-

речья (III в. до н.э. – III в. н.э.). Полученные данные послужат материалом для дальнейшего исследования данной категории находок из глины.

Abstract: Since 2018 the archaeological laboratory of the Institute of Coal and Coal Chemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences has been excavating Shestakovo II settlement dated of the Early Iron Age. The article deals with one of the largest categories of findings among ceramic objects from this site – so called cones and pyramids. These objects have been found on other Tagar-Tashtyk period settlements in the area between the rivers Kiya and Chulym: Tretyakovo I and Kosogol I. These are bell and pyramid shaped objects 130-150 mm high and 130-150 mm in diameter at their base. They usually have no ornamentation and some of them have little dents. Ceramic cones/pyramids had never been an object a special study, therefore a preliminary morphological and context study of such artifacts from the area between the rivers Kiya and Chulym has been done, as well as a search of analogies and possible interpretations of their functional role. Sites in Barabinsk and the left side of Dnepr's forest-steppe regions have been presented as analogies. It has been found out that such objects are unique for Tagar-Tashtyk period in the area between the rivers Kiya and Chulym (III century BC – III century AD). The obtained data will serve as a base for a further researches of this category of ceramic objects.

Ключевые слова: ранний железный век, Кия-Чулымское междуречье, поселения, Шестаково II, глиняные изделия, конусы, пирамидки.

Keywords: Early Iron Age, Kiya-Chulim drainage-basin, settlements, Shestakovo II, clay ware, cones, pyramids.

С 2018 г. Мариинским отрядом Кузбасской археологической экспедиции ФИЦ УУХ СО РАН ведутся полевые исследования на поселении тагаро-таштыкского времени Шестаково II. Среди глиняных изделий на памятнике выделяется массовая серия фрагментов, так называемых конусов или пирамидок (далее при обобщенном упоминании в тексте – «конусы»). Данная категория находок известна и на других объектах раннего железного века Кия-Чулымского междуречья, например, Третьяково I, Косоголь I (рис. 1).

Несмотря на уникальность и массовость для тагаро-таштыкских поселений Ачинско-Мариинской лесостепи, глиняные конусы и пирамидки не становились ранее предметом отдельного исследования. В данной статье приводятся результаты проведенного предварительного морфологиче-

ского и контекстуального анализа глиняных «конусов» тагаро-таштыкских поселений Кия-Чулымского междуречья, поиска их аналогий и возможных интерпретаций их функционального назначения.



Рисунок 1. Карта с обозначением поселений:
Шестаково II, Третьяково I, Косоголь I

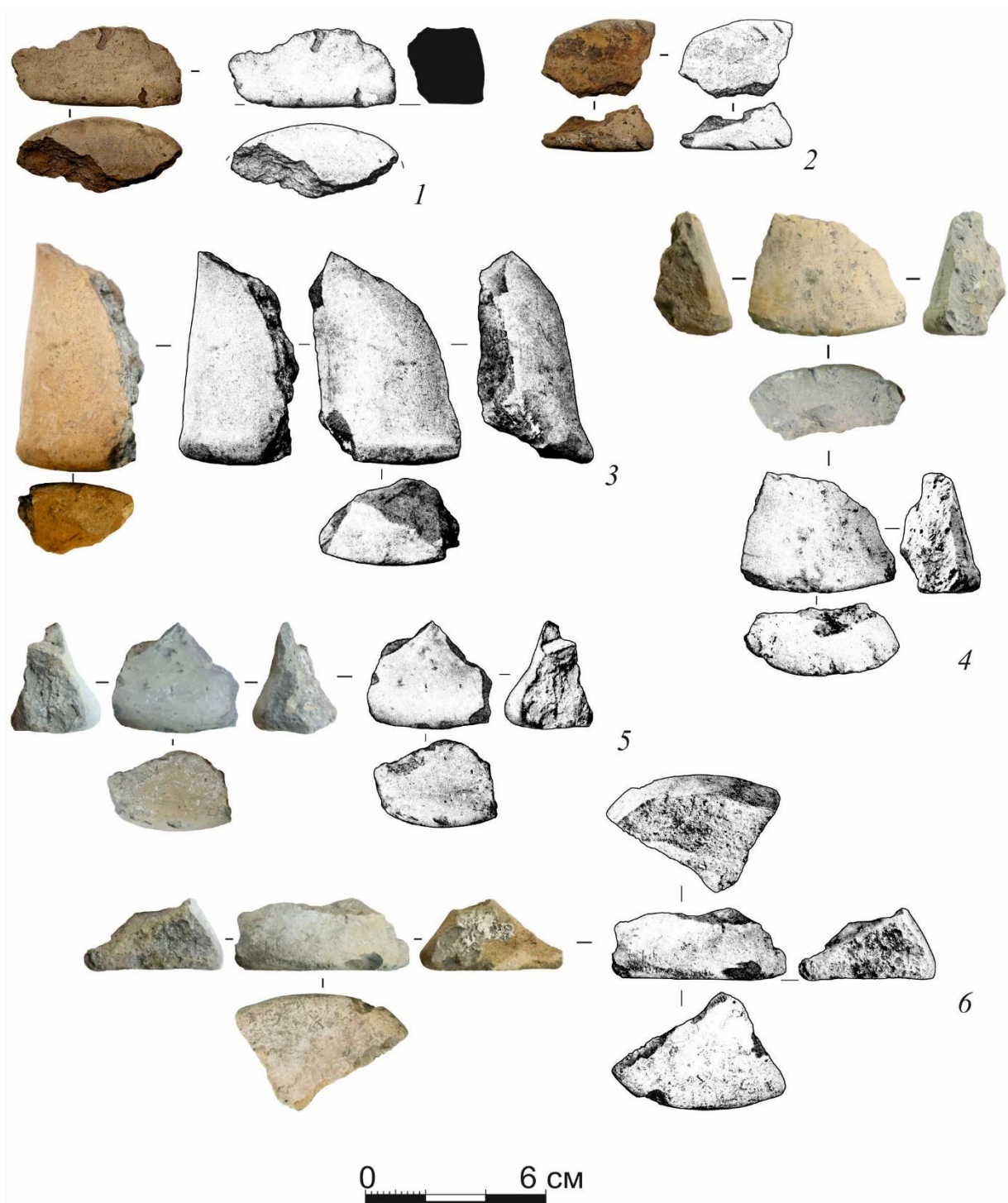
Материалы. Памятник Шестаково II был открыт А.М. Кулемзиным и А.И. Мартыновым в 1971 году. Он расположен на первой надпойменной террасе реки Кии, у деревни. Шестаково в Чебулинском районе Кемеровской области. Территория поселения несколько десятков лет распахивается в целях сельскохозяйственных работ, в связи с чем связана многочисленность археологических находок на пашне. В течение 1970-х гг. проводились сборы подъёмного материала и шурфовки, в результате чего были собраны множество фрагментов сосудов, костей животных, обломков зерно-тёрок, разных по форме каменных пестов и глиняных изделий. Часть полученного материала хранится в музее «Археология, этнография и экология Сибири» КемГУ [1, с. 66; 2, с. 22]. По материалам керамического комплекса А.И. Мартынов и М.Б. Абсалямов датировали поселение Шестаково II в пределах второй половины III – II вв. до н.э. [3, с. 25, 26].

С 2018 г. археологами ФИЦ УУХ СО РАН проводятся систематические работы на памятнике. В первый год был проведен осмотр современной дневной поверхности в целях обнаружения подъёмного материала, было заложено 5 рекогносцировочных раскопа. В 2020 г. поселение Шестаково II стало одним из первых памятников тагаро-таштыкского времени, на котором была испытана методика геофизических исследований [4, с. 376-379]. За 2018, 2020-2021 гг. общая площадь раскопа представляет 80 кв. м. Общее количество материала, полученного в ходе работ – более 12900 экземпляров. Находки представлены фрагментами керамических сосудов, костей животных, каменных орудий, глиняных и костяных изделий. Наиболее многочисленная категория находок – фрагменты костей животных. Новый материал позволил уточнить датировку памятника и выделить два периода в его истории: познетагарский (I в. до н. э. – III в. н. э.) и таштыкский (III–VI вв. н. э.). Материал, полученный в ходе полевых археологических работ, находится на временном хранении в лаборатории археологии ФИЦ УУХ СО РАН [5, с. 2, 25].

В результате исследований памятника было получено 138 фрагментов глиняных изделий, большая часть которых относится к «конусам». Их размер варьирует от 21x43x13 до 51x25x22 мм, в некоторых случаях можно восстановить диаметр основания – от 72 до 80 мм. По внешнему виду фрагментов можно предположить, что на данном поселении были только конусы, изделия пирамидальной формы не были зафиксированы (рис. 2).

В 2018 году фрагменты глиняных изделий, предположительно конусов, были зафиксированы на дневной поверхности и в 4-х условных горизонтах рекогносцировочного раскопа № 4; в 2020-2021 гг. – на дневной поверхности и в пахотном слое (1 и 2 пласты). Локализация фрагментов конусов не имеет взаимосвязи с какими-либо объектами, выявленными на поселении (очагами, ямами и пр.). Кроме этого, глиняные изделия были найдены на поверхности пашни за пределами раскопов (табл.).

Аналогии. На поселении Шестаково II глиняные конусы представлены фрагментарно, что затрудняет сделать полный морфологический анализ, в связи с чем целесообразно обратиться к материалам других тагаро-таштыкских поселений Кия-Чулымского междуречья – Третьяково I и Косоголь I.



1-2 – 2018 г.; 3-6 – 2020 г.

Фотографии П.В. Германа, А.С. Савельевой, рисунки С.Н. Леонтьева
Рисунок 2. Поселение Шестаково II. Глиняные «конусы»

Локализация и количество фрагментов конусов
на памятнике Шестаково II

Горизонт	Раскоп № 4 (2018 г.)	Раскоп № 1 (2020 г.)	Раскоп № 2 (2020 г.)	Раскоп № 3 (2021 г.)
Дневная поверхность	2	5	10	6
Пахотный слой (1 и 2 пласты/условные горизонты)	5	11	80	14
3	1	-	-	-
4	1	-	-	-

Поселение Третьяково I расположено на правом берегу реки Серты близ села Третьяково в Тисульском районе Кемеровской области. Поселение было открыто А.М. Кулемзиным и А.И. Мартыновым в 1971 году, тогда же экспедицией был собран подъёмный материал в виде фрагментов керамических сосудов, изделий из кости и глины. С 1972 года археологической экспедицией Кемеровского университета проводились стационарные раскопки [1, с. 62; 6, с. 25]. Как и на поселении Шестаково II, площадь памятника на протяжении многих лет распаивалась, в результате чего верхние горизонты культурного слоя были разрушены. Во время зачистки исследователи выявили структуру и мощность культурного слоя – 38-40 см, только в западной части поселения он опускался в древний провал, достигая глубину до 2,5 м [3, с. 20]. М.Б. Абсалямов отмечает, что памятник относится к позднеатагарскому и переходному атагаро-таштыкскому периодам, обозначив только верхнюю дату – II в. – первая половина I в. до н.э. [3, с. 25]. Керамический материал поселения аналогичен керамическому комплексу Шестаково II.

Пирамидки и конусы изготовлены из хорошо отмученной глины и большинство из них не подвергались обжигу [3, с. 20]. Всего в фондах музея хранятся 95 единиц фрагментов конусов и пирамидок разной сохранности, из них: конусов – 17 шт.; пирамидок – 57 шт.; неопределённого типа – 21 шт. (КМАЭЭ ОФ 780/1-448 ВА 99/1-448). Из 30 репрезентативных эк-

земплярров только 4 сохранились почти целыми и имеют лишь небольшие повреждения, остальные – в основном фрагменты нижней части. По форме вне зависимости от типа изделия делятся на колоколовидные со слабовыраженным валиком (15 шт.) и треугольные (15 шт.). Форма основания и сечения зависит от типа: в случае пирамидки – это подквадратная с закруглёнными углами; в случае конуса – овальная. Диаметр оснований варьирует от 67 до 99 мм; высота сохранившихся предметов – от 122 до 142 мм. Усредненные размеры сечения – 40-50 мм. Вес – от 250 г, у сохранившихся изделий – от 387 до 584 г. Цвет светло-коричневый, поверхность сглаженная. Некоторые экземпляры имеют небольшие вдавления, но, в целом, изделия не имеют дополнительных рельефных особенностей или декора.

Пирамидки и конусы были зафиксированы как при сборе подъёмного материала, так и в культурном слое. М.Б. Абсалямов отмечает, что изделия, собранные с поверхности, отличаются лучшим обжигом, чем те, которые были встречены в слое поселения [6, с. 26-27].

Поселение Косоголь I расположено в 2 км к юго-востоку от деревни Косоголь, на левом берегу реки Сереж в Ужурском районе Красноярского края. Поселение было открыто Н.В. Нащёкиным в 1966 году. Раскопки проводились археологической экспедицией Кемеровского университета под руководством Г.С. Мартыновой, А.И. Мартынова, И.С. Новгородченко, В.В. Иванчука в 1979-1984, 1986-1990 гг. За годы исследования было вскрыто более 3 тыс. кв. м, исследовано 37 жилищ и хозяйственных построек. Поселение датируется в широком диапазоне: I тыс. до н.э. – I тыс. н.э. [7, с. 55-56].

Всего в фондах музея хранятся 17 единиц фрагментов конусов и пирамидок разной сохранности, из них: конусов – 10 шт.; пирамидок – 6 шт.; неопределённого типа – 1 шт. (КМАЭЭ ОФ 1360/1-3998 ВА 55/1-3998). Только один экземпляр апплицирован из фрагментов в свой изначальный вид, остальные – фрагменты нижней и верхней частей изделий. По форме, вне зависимости от типа, изделия делятся на колоколовидные со слабовыраженным валиком (11 шт.) и треугольные (3 шт.). На некоторых конусах имеются рёбра. Форма основания и сечения зависит от типа: в случае пирамидки – это подквадратная с закруглёнными углами; в случае конуса – овальная. Диаметр сохранившихся оснований варьирует от 82 до 99 мм; высота сохранившегося изделия – 137 мм. Усредненные размеры сечения – 40-50 мм. Цвет от коричневого до светло-коричневого, поверхность сглаженная. Есть изделия с «декором», нехарактерным для других экземпляров: конус с ямками (рис. 3 - 2) (КМАЭЭ ОФ 1410/6 ВА 55/4004), конус с

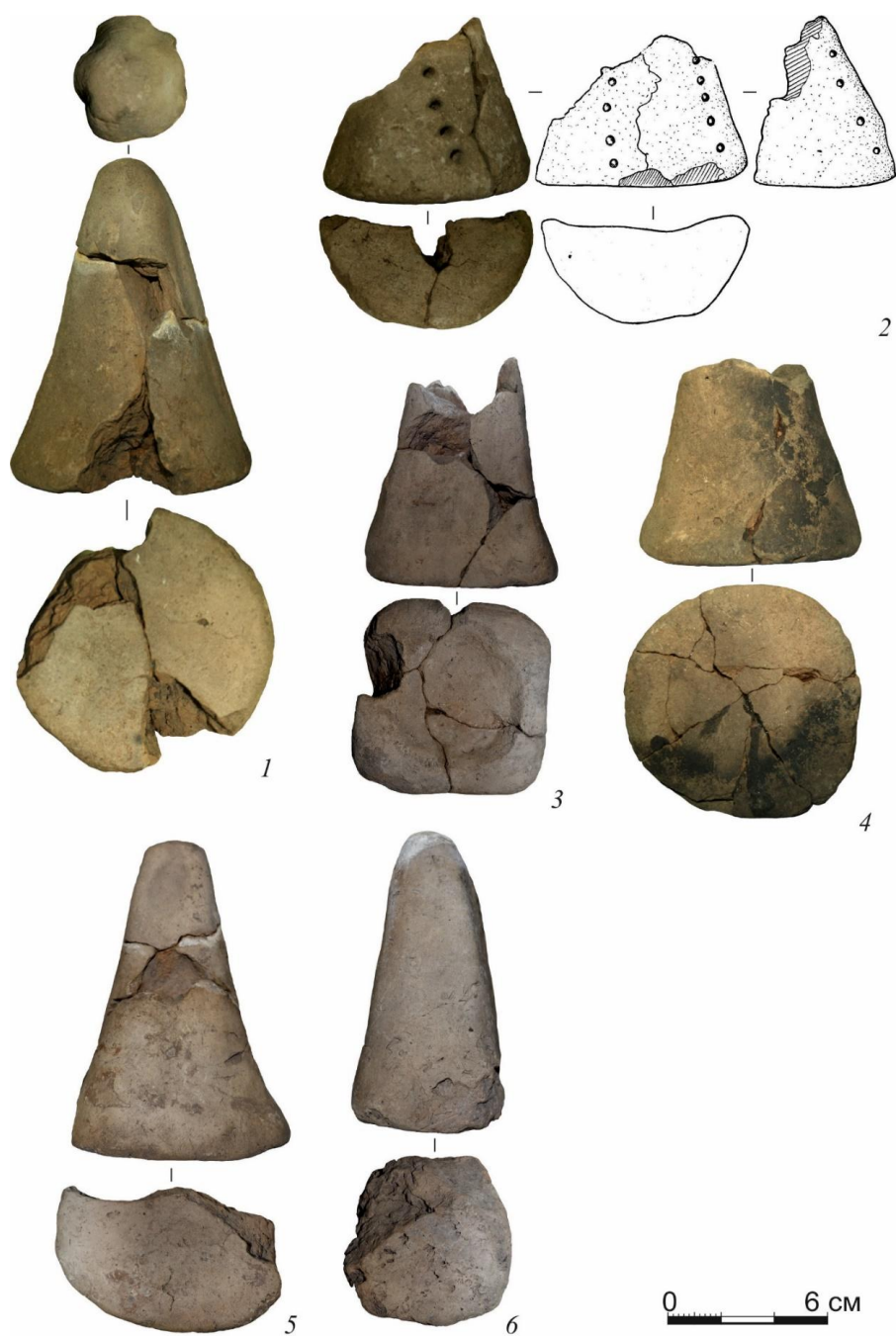
вертикальными параллельными бороздками (рис. 3 - 1) (КМАЭЭ ОФ 1410/3 ВА 55/4001). Некоторые экземпляры имеют следы воздействия огня – 4 шт. (рис. 3 - 4).

Исследованное широкими площадями поселение Косоголь I дает большее представление о вариативности контекста глиняных изделий. В частности, «конусы» были обнаружены в жилищах и хозяйственных объектах поселения. По данным из отчётов, многочисленные небольшие фрагменты таких изделий были обнаружены в культурном слое [8, с. 10]. Так же изделия были зафиксированы в различных объектах: хозяйственной яме – 5 шт., в жилищах – 3, в ямах – 3 шт., в слое – 1 шт. Например, в восточном углу жилища № 13 (раскоп № 19) был зафиксирован обломок глиняного конуса с вертикальными параллельными бороздками (рис. 3 - 1) [8, с. 22]. В заполнении жилища № 6 (раскоп № 14) было встречено большое количество фрагментов разбитых глиняных конусов, а также костей птиц и рыб [9, с. 6-7].

Кроме отмеченных памятников, М.Б. Абсалямов отмечает наличие аналогичных изделий на тагарских поселениях Шестаково I и Быстрая II, но данных по этим находкам и материалов в музейных коллекциях нами не были обнаружены [6, с. 27].

Интерпретации. Единственная версия о функциональном назначении глиняных «конусов» с поселений Кия-Чулымского междуречья была предложена А.И. Мартыновым, назвавшим их подставками, но для чего – не ясно. По мнению профессора, внешне они напоминают песты ступы, но они сделаны из глины, поэтому не могли выполнять роль ударного орудия [10, с. 18].

Среди аналогий из сопредельных территорий известен предмет пирамидальной формы, найденный в погребении кротовской культуры могильника Сопка-2 (Барабинская лесостепь). В.И. Молодин ссылается на этнографические наблюдения М.В. Константинова: в Читинской области известно культовое место с глиняными пирамидками; исходя из рассказов бурят, «после смерти ламы его тело предавали кремации, а пепел подмешивали в глину и изготавливали из этого материала пирамидки...» [11, с. 71-72]. Помимо глиняной пирамидки, на памятниках кротовской АК встречаются различные изделия из глины – усечённые цилиндры, шары, кубы, диски, фаллические скульптуры. В.И. Молодин отмечает, что такое разнообразие глиняной мелкой пластики говорит о наличии культов, связанных с глиняной атрибутикой.



1-2, 4 – Косоголь I; 3, 5-6 – Третьяково I.
 Фотографии автора, рисунок по: [Мартынов, 1980 г.]
 Рисунок 3. Глиняные конусы и пирамидки

Традиция изготовления предметов из глины характерна для Барабинской лесостепи и в более позднее время. Наиболее интересными представляются находки на памятнике Чича-1 – глиняные шары. Они так же, как и глиняные «конусы» являются массовой категорией находок, представлены в основном фрагментами и встречаются на всей территории городища –

в культурном слое, в жилищах, ямах, рвах. Такие изделия носят массовый характер на памятниках ЭПБ в Барабинской лесостепи [12, с. 231]. В связи с этим, возможно, функциональное назначение глиняных шаров и глиняных конусов может иметь сходство.

Ж.В. Марченко предлагает следующие варианты использования глиняных шаров: часть приспособления для охоты на водоплавающую птицу – перевес, сетевые грузила для ловли рыбы, часть очажной конструкции, метательное оружие, объект или средство исполнения культовых действий, источник тепла в отопительной конструкции. По мнению исследователя, наиболее вероятной версией является последний вариант – использование шаров в качестве источника тепловой энергии [12, с. 240-243].

Другие, известные нам аналогии, расположены на значительном удалении от ареала тагарской культуры. На городищах скифского времени в Днепровском лесостепном Левобережье были найдены глиняные «конусы», аналогичные изделиям Кия-Чулымского междуречья. Это группа глиняных изделий, высотой 50-120 мм и диаметром основания до 100 мм. М.Н. Дараган отмечает, что в V-IV вв. до н.э. они имеют массовое распространение, и ни в предшествующих, ни в последующих АК их нет. «Конусы» на данной территории тоже имеют ряд отличий друг от друга – с вдавлениями, с отверстиями, с гладкой поверхностью; встречаются рядом с жертвенниками, в культурном слое, в ямах, по одному либо в виде скопления [13, с. 141-142, 146-147]. Автор отмечает, что глиняные изделия конусовидной и пирамидальной форм получают своё широкое распространение в конце эпохи бронзы – начале раннего железного века на территории Центральной, Южной и Юго-Западной Европы [13, с. 148].

М.Н. Дараган в своей работе предлагает следующие варианты функционального назначения «конусов»: грузила от вертикального ткацкого станка, грузы от рыболовных сетей, votивное использование глиняных грузил и глиняных конусов без отверстий, конусы и глиняные вальки/хлебцы [13, с. 147-152].

Исходя из всего вышеизложенного, следует отметить ряд моментов:

1. Глиняные «конусы» являются феноменом поселений переходного тагаро-таштыкского времени в Ачинско-Мариинской лесостепи. В погребениях того же времени, а также на более ранних и поздних памятниках этой территории они не известны.

2. Массовый характер изделий из глины – характерная черта ряда поселений эпохи поздней бронзы-раннего железного века. Примечательно

сходство глиняных «конусов» Кия-Чулымского междуречья и Днепровской Левобережной лесостепи. Несмотря на столь отдалённые территориально аналогии, они близки хронологически и имели массовое распространение, что говорит об их регулярном использовании населением. В связи с этим можно предположить, что и в своём назначении данные предметы могли выполнять схожие функции.

3. Полученные предварительные данные морфологического и контекстуального анализа послужат материалом для дальнейшего изучения уникальной категории глиняных изделий с поселений раннего железного века Кия-Чулымского междуречья.

Список литературы

1. Абсалямов, М. Б. Поселения тагарского и переходного тагаро-таштыкского времени в Хакасско-Минусинской котловине и Ачинско-Мариинской лесостепи / М.Б. Абсалямов, А.И. Мартынов // Археология Южной Сибири. – Кемерово: КемГУ, 1979. – Вып. 10. – С. 60-86.

2. Герман, П.В. Шестаково-II – поселение раннего железного века в Мариинской лесостепи / П.В. Герман, А. С. Савельева, С.С. Онищенко // Ученые записки музея-заповедника «Томская Писаница». – 2019. – № 10. – С. 21–32.

3. Мартынов, А. И. Тагарские поселения / А.И. Мартынов, М.Б. Абсалямов. – Красноярск: Изд-во Красноярского университета, 1988. – 136 с.

4. Первый опыт использования геофизических методов в исследовании археологических комплексов Мариинской лесостепи / П.В. Герман [и др.] // Проблемы археологии, этнографии, антропологии Сибири и сопредельных территорий. – Новосибирск: Изд-во ИАЭТ СО РАН, 2020. – Том: XXVI. – С. 372-380.

5. Герман, П.В. Отчет об археологических исследованиях (разведках) на территории Чебулинского и Яйского районов Кемеровской области в 2018 году (Открытый лист № 1352 от 25 июля 2018 г.). – Кемерово, 2019. – 199 с.

6. Абсалямов, М.Б. Поселения тагарского и переходного тагаро-таштыкского времени в Южной Сибири VII-I вв. до н. э. Дисс. канд. ист. наук. – Новосибирск, 1978. – 173 с. + Прил. (113 с.: ил.).

7. Красниенко, С. В. У Солгонского кряжа. Археологические памятники Ужурского района (Красноярский край): история изучения и современное состояние/ С.В. Красниенко, А.В. Субботин. – СПб., 2013. – 200 с.

8. Мартынов, А. И. Отчет о раскопках Косогольского поселения 1986 г. – Научный архив КМАЭЭ. – 1988. – № 751.
9. Мартынов, А. И. Отчет о результатах раскопок поселения Косоголь, 1983 год. – Научный архив КМАЭЭ. – 1984. – № 681.
10. Мартынов, А. И. Косогольский археологический комплекс / Археология Южной Сибири (сборник научных трудов). Кемерово, 1980. – С. 11-19.
11. Молодин В.И. Бараба в эпоху бронзы. – Новосибирск: Наука, 1985. – 200 с.
12. Чича – городище переходного от бронзы к железу времени в Барабинской лесостепи / В.М. Молодин [и др.]. – Новосибирск: Изд-во ИАЭТ СО РАН, 2009. – Т. 3. – 248 с.
13. Дараган, М.Н. О находках глиняных конусов на городищах скифского времени украинской Левобережной лесостепи (археологические контексты и пространственный анализ). – Археология евразийских степей. – Казань, 2017. – Вып. 3. – С.141-169.

Работа выполнена в Лаборатории археологии Института экологии человека ФИЦ УУХ СО РАН под руководством кандидата исторических наук П.В. Германа.

**АНТРОПОЛОГИЧЕСКИЕ КОЛЛЕКЦИИ ИЗ ТАГАРСКИХ
КУРГАННЫХ МОГИЛЬНИКОВ МАРИИНСКОЙ ЛЕСОСТЕПИ:
ИСТОРИЯ ФОРМИРОВАНИЯ И ИЗУЧЕНИЯ**

**ANTHROPOLOGICAL COLLECTIONS FROM TAGAR BURIAL
MOUNDS OF THE MARIINSKY FOREST-STEPPE:
FORMATION HISTORY AND STUDY**

*Ковзунова Полина Владиславовна, лаборант Лаборатории археологии
Института экологии человека ФИЦ УУХ СО РАН*

*Polina V. Kovzunova, Laboratory assistant at the Archeology Laboratory
of the Human Ecology Institute FRC CCC SB RAS
E-mail: polinakovzunova@yandex.ru*

Аннотация: В работе рассмотрена история накопления, формирования и изучения антропологического материала из курганов тагарской культуры, расположенных на территории Мариинской лесостепи.

Впервые приводятся данные о распределении количества антропологического материала по отдельным группам тагарских погребальных комплексов, в том числе систематизация по половозрастным группам. Отражены ориентировочные подсчеты общего количества полученного материала за все время раскопок могильников в Мариинской лесостепи. Отмечена проблема выявления мест хранения антропологических коллекций, полученных при проведении полевых исследований в Мариинской лесостепи в 1950 – 1970-х годах.

Представлена история антропологических исследований останков, обнаруженных при археологических раскопках курганных могильников тагарской культуры Мариинской лесостепи. Отображены результаты работ с антропологическим материалом исследователей из Кемеровского медицинского института (Г.А. Кошкин, В.С. Овченков) и Томского государственного университета (В.А. Дремов). Исследования В.А. Дремова (1973) легли в последствии в современное представление о краниометрии тагар-

ского населения Мариинской лесостепи, закрепленные в работе А.Г. Козинцева (1977) под термином «тагарцы кемеровские». Отмечается, что антропологические материалы из тагарских комплексов Мариинской лесостепи не становились предметом изучения с середины 70-х гг. XX в.

Abstract: The work considers the history of accumulation, formation and study of anthropological material from the mounds of Tagar culture located on the territory of the Mariinsky forest-steppe.

For the first time, the work presents data on the distribution of the amount of anthropological material by individual groups of Tagar burial complexes, including systematization by sex and age groups. The work reflects the approximate calculations of the total amount of material obtained for the entire time of excavation of burial grounds in the Mariinsky forest-steppe. The problem of identifying the storage sites of anthropological collections obtained during field research in the Mariinsky forest-steppe in the 1950s - 1970s is noted.

The history of anthropological studies of the remains discovered during archaeological excavations of burial mounds of the Tagar culture of the Mariinsky forest-steppe is presented. The results of the work with the anthropological material of researchers from the Kemerovo Medical Institute (G.A. Koshkin, V.S. Ovchenkov) and Tomsk State University (V.A. Dremov). The research of V.A. Dremov (1973) subsequently formed the modern idea of the craniometry of the Tagarian population of the Mariinsky forest-steppe, fixed in the work of A.G. Kozintsev (1977) under the term "Kemerovo Tagarians". It is noted that anthropological materials from Tagar complexes of the Mariinsky forest-steppe have not been the subject of study since the mid-70s of the XX century.

Ключевые слова: Мариинская лесостепь, тагарская культура, погребальные комплексы, антропологические материалы, половозрастной состав.

Keywords: Mariinsky forest-steppe, Tagar culture, burial complexes, anthropological materials, gender and age composition.

Ачинско-Мариинская лесостепь – историко-географический район, локализованный в междуречье Кии и Чулыма, на территории Кузбасса и Красноярского края. Данная территория рассматривается исследователями как зона контактов и миграций, соединяющая Хакасско-Минусинскую и Кузнецкую котловину [1, с. 584]. Мариинская лесостепь располагается ме-

жду реками Кия и Урюп, в пределах Тисульского, Чебулинского, Мариинского и Тяжинского административных районов Кузбасса.

Историю изучения археологических памятников Мариинской лесостепи можно разделить на три этапа: первый этап – первые научные раскопки Г.О. Оссовского в 1895 и 1896 гг., второй этап – систематические полевые исследования под руководством А.И. Мартынова, А.М. Кулемзина, В.В. Боброва и др. в 1950-1970-х гг., третий этап – разведки и раскопки археологов ФИЦ УУХ СО РАН с 2009 года.

На территории Мариинской лесостепи расположено большое количество археологических памятников: поселения, грунтовые и курганные могильники, клады [1, с. 584]. По подсчетам А.И. Мартынова здесь расположено 1336 земляных курганов, которые составляют 202 курганные группы [2, с. 4]. В результате археологических раскопок погребальных комплексов раннего железного века была получена большая коллекция антропологического материала. Целью данной работы является определение характера и степени изученности антропологических материалов тагарской культуры Мариинской лесостепи.

Материалы. Первые научные археологические полевые исследования и разведки на территории Мариинской лесостепи были проведены Г. О. Оссовским в 1895 и 1896 годах. За два года полевых исследований Г.О. Оссовским было раскопано шесть курганов – два кургана в окрестностях села Тисуль, один у села Большой Барандат, и три кургана, окруженных каменными глыбами, близ реки Убиенка.

В своем предварительном отчете за 1896 год исследователь указывает, что количество «скелетов с точностью определить невозможно, так как под тяжестью насыпи они образовали пласт сплоченный, перепутанной костной массы, в которой разобраться в этом отношении не было возможности» [3, л. 24об]. В Барандатском кургане Г.О. Оссовский насчитал примерно 50-60 погребенных. В кургане № 2 по речке Убиенке было, примерно, от 10 до 12 человек. По остальным курганам количество погребенных не приводится. Что происходило с найденными останками после проведенных работ, не известно. Сведений о передаче антропологических коллекций в Императорскую Археологическую Комиссию автором ни в письмах, ни в отчетах не указано.

В 1956 году археологические исследования в Мариинской лесостепи возобновились под руководством А.И. Мартынова. В период с 1956 по 1974 год были целиком исследованы курганные могильники Ягуня, Конд-

рашка (Тисульский могильник), Шестаково I, Некрасово II, Серебряково I [4, с. 191; 5, с. 172]; частично исследованы могильники Большепичугино и Утинка [4, с. 191; 6, с. 172]; одиночные курганы – Алчедат I, Большой Берчикуль I [7, с. 52].

Систематические полевые археологические исследования на территории Мариинской лесостепи привели к формированию археологической коллекции из тагарских курганов Кемеровской области. Данные материалы легли в основу создания музея «Археологии, этнографии и экологии Сибири» на базе КемГУ в 1976 году. Помимо погребального инвентаря был накоплен антропологический материал, который передавался на хранение в антропологический кабинет ТГУ, и в лабораторию археологических исследований Кемеровского педагогического института [4, табл. 3].

На данный момент встает вопрос о местонахождении антропологической коллекции тагарской культуры Мариинской лесостепи. Часть ее была передана в антропологический кабинет имени Н.С. Розова Томского Государственного университета [4, табл. 3]. Часть, хранившаяся в лаборатории археологии Кемеровского педагогического института, возможно, была передана в Музей антропологии и этнографии АН СССР (Кунсткамера) [4, табл. 3]. Однако документы о передаче коллекции нами не найдены, а в Кунсткамере о наличии данной коллекции в фондах ничего не известно. Кроме этого, в результате неоднократных переездов фондов музея «Археологии, этнографии и экологии Сибири» КемГУ часть коллекции могла быть утеряна или депаспартизирована. Где сейчас находятся данные антропологические материалы, не известно. Подобная ситуация обстоит и с антропологическими коллекциями из восточной части лесостепного ареала тагарцев – Назаровской котловины [8, с. 50].

В связи с отсутствием, в настоящий момент, возможности повторного обращения к антропологическим коллекциям из Мариинской лесостепи, основным источником по характеристикам половозрастного состава погребенных являются отчеты и монографические издания раскопок могильников [7, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17]. На основании этих материалов нами был предпринят подсчет количества погребенных по типолого-хронологическим группам тагарских погребальных комплексов [18]: биджинская (VIII-VI вв. до н.э., ранний этап), сарагашенская (VI-III вв. до н.э., средний этап), лепешкинская (III-I вв. до н.э., поздний этап), тесинская (III в. до н.э. – III в. н.э., поздний этап) (табл.).

Количество погребенных по типолого-хронологическим группам
тагарских погребальных комплексов

Группа	Муж- чины	Жен- щины	Все взрослые, в т.ч. без опреде- ления по- ла	Дети	Костяки без опре- деления пола и возраста	Общее коли- чество погре- бленных
Биджинская	21	28	126	40	26	241
Сарагашенская	39	35	615	47	132	868
Лепешкинская	10	6	292	12	237	557
Тесинская	1	3	89	11	15	119

Приведенные в данной таблице подсчеты условны, особенно для материалов из могильников лепешкинского и тесинского этапов. Из-за плохой сохранности костного материала в погребениях поздних этапов тагарской культуры, количество, пол и возраст погребенных индивидов не были установлены. Поэтому судить о соотношении количества погребенных возможно только для биджинской и сарагашенской групп памятников, которые демонстрируют динамику многократного увеличения тагарского населения в Мариинской лесостепи в VI – III вв. до н.э.

Исследования. В первые годы раскопок А.И. Мартынова антропологический материал направлялся в антропологический кабинет ТГУ. Определение пола по краниологическим материалам из кемеровских тагарских погребений было сделано Н.С. Розовым [19, с. 7].

С антропологическим кабинетом Томского Государственного университета тесно сотрудничали кемеровские исследователи. Геннадий Александрович Кошкин (1940-2015) – выпускник Кемеровского медицинского института, кафедры стоматологической ортопедии [20, с. 58] (рис. 1). В 1965-1970 гг. он принимал участие в полевых исследованиях с целью сбора антропологического материала [19, с. 5; 20, с. 59]. В полевых условиях исследователь производил определение пола, пользуясь методиками Никитюна Б.А., Алексеева В.П. и Дебеца Г.Ф. Возраст определялся по степени облитерации швов на черепе, по степени стертости зубов и их мине-

рации [19, с. 5-7]. В 1971 году им была защищена кандидатская диссертация по патологиям зубочелюстной системы населения тагарской культуры. В своей работе ученый впервые выделил разновидности нижних челюстей: «стопообразную» и «салазкообразную». В автореферате диссертации Г.А. Кошкин пишет, что в результате сбора антропологического материала был создан антропологический музей. Однако, когда и где был создан данный музей, исследователь не упоминает. Совместно со своим научным руководителем – М.З. Миргазизовым, Г.А. Кошкин опубликовал ряд статей о состоянии зубов и челюстей древних жителей Сибири на основе материалов из тагарских могильников Мариинской лесостепи [21; 22].



Рисунок 1. Кошкин Геннадий Александрович

В 1973 году вышла работа Владимира Анатольевича Дремова (1940-1996) о физическом типе населения тагарской культуры Кемеровской области [4, с. 190 – 225; 19, с. 29] (рис. 2). В своей работе исследователь попытался проверить гипотезу В.П. Алексеева об участии лесных племен Сибири в этногенезе Минусинской котловины в первом тысячелетии до н.э. [4, с. 190-191]. В.А. Дремов опубликовал произведенные им краниометрические измерения останков из памятников Большое Пичугино, Ягуня и Кондрашка. Население тагарской культуры Мариинской лесостепи ис-

следователь отнес к долихокранному европеоидному типу, аналогичному популяциям тагарской культуры Минусинской котловины, и «по признакам горизонтальной профилировки лица и выступанию носа черепа (*тагарцы – П.К.*) Кемеровской области ничуть не менее европеоидны, чем черепа первой стадии тагарской культуры Минусинской котловины...» [4, с. 193]. В тоже время автор указывает на то, что черепа кемеровских тагарцев: «менее массивны и рельефны, лоб у них более наклонный и менее широкий, лицо уже и ниже, с менее крупными орбитами», поэтому полностью исключать монголоидную примесь нельзя, тем более в серии был череп с признаками монголоидности [4, с. 193]. Необходимо отметить, что в настоящий момент это единственные опубликованные данные краниометрических измерений останков из раскопок тагарских склепов в Мариинской лесостепи.



Рисунок 2. Дремов Владимир Анатольевич

В 1974 году выпускником Кемеровского медицинского института Виктором Степановичем Овченковым (род. 1941 г.) (рис. 3) была опубликована работа, в основу которой легли антропологические материалы из тагарских курганов Мариинской лесостепи, посвященная сравнению питательных отверстий длинных трубчатых костей нижнего скелета современного и древнего человека [23].

Исследователь пришел к выводу, что длина бедренных, больших берцовых и малых берцовых костей у современного человека и населения тагарской культуры не имеет существенной разницы. Также питательные каналы имели постоянное местоположение, как у современного, так и у древнего человека. Но питательных отверстий на останках древнего населения Сибири больше, чем на современных, что может быть связано с более развитой мускулатурой у древнего человека [23, с. 199-205].



Рисунок 3. Овченков Виктор Степанович

В 1977 году А.Г. Козинцев опубликовал работу, в которой представлен антропологический состав и генезис популяций тагарской культуры. Автор использовал краниометрические данные коллекций Мариинской лесостепи, опубликованные В.А. Дремовым в 1973 году, для сопоставления с тагарской серией из Минусинской котловины [24, с. 36]. В результате его сопоставлений кемеровский тагарский тип оказался наиболее близкой группой. Ученый сопоставлял краниометрические измерения минусинской котловины так же с группами афанасьевцев, окуневцев, карасукцев, андроновцев и саков. В своей работе А.Г. Козинцев первый ввел в научный оборот термин «тагарцы кемеровские» [24, с. 58], характеристики которого закрепились в сравнительном инструментарии антропологов и не менялись с того времени.

Еще раз отметим ряд особенностей в истории формирования и изучения антропологических материалов из тагарских комплексов Мариинской лесостепи.

Во-первых, остается неизвестной сохранность большей части костных останков. Одной из задач дальнейшей работы по данной теме является уточнение места их хранения или подтверждения факта их окончательной утраты или депаспортизации.

Во-вторых, по примерным подсчетам коллекция тагарской антропологии, полученная за период 1950-1970-х гг. составляла не менее 1534 костей, но лишь незначительная часть была определена профессиональными антропологами. С 2013 г. исследования тагарских курганов Мариинской лесостепи возобновились под руководством П.В. Германа. Эти материалы хранятся в антропологическом кабинете ТГУ (г. Томск), определения были сделаны М.П. Рыкун. Но эти данные лишь малая часть в большом массиве ранее полученного материала, из которого антропологами были исследованы единичные экземпляры.

В.А. Дремов произвел краниометрические измерения только 52 черепов. Г.А. Кошкиным на предмет зубочелюстных заболеваний и патологий было исследовано 174 черепа, 82 верхних челюстей, 140 нижних челюстей, 245 фрагментов нижних челюстей и 130 фрагментов верхних челюстей [19, с. 5]. А.Г. Козинцев в своем фундаментальном исследовании по тагарской антропологии использует данные В.А. Дремова по Мариинской лесостепи. Им был введен обобщенный термин «кемеровские тагарцы», который используется для сравнительного анализа и сейчас [25, с. 78].

Так же следует отметить, что исследователи, занимавшиеся изучением останков из тагарских курганов Кемеровской области, были либо из других регионов и не могли вести постоянную систематическую работу, либо были врачами по специальности с отдельным научным интересом к палеоантропологии. В частности, Г.А. Кошкин и В.С. Овченков использовали тагарские материалы для изучения развития болезней и патологий на материале древнего и современного населения. Как следствие им на смену не пришло новое поколение антропологов, которое бы продолжало исследование останков из тагарских могильников Мариинской лесостепи.

Список литературы

1. Герман, П. В. Древности Мариинской лесостепи: первые сведения и начало научного изучения / Вестник Кемеровского государственного

университета. – 2020. – Т. 22. – № 3. – С. 584-594. –DOI: <https://doi.org/10.21603/2078-8975-2020-22-3-584-594>.

2. Мартынов, А.И. Лесостепная тагарская культура. – Новосибирск: 1979. – 208 с.

3. Дело Императорской археологической комиссии о раскопках Г. О. Оссовского в Мариинском и Кузнецком округах, Томской губ. – Рукописный отдел Научного архива ИИМК РАН. – Фонд 1. – Дело 63. –1896.

4. Дремов, В.А. Антропологические материалы из тагарских курганов Кемеровской области / Из истории Сибири. – Вып.7. – Томск: Изд-во Том. ун-та, 1973. – С. 190 -225.

5. Белоусова, Н.А. Экспозиция музея «Археология, этнография и экология Сибири» КемГУ как результат научных исследований кафедры археологии Кемеровского государственного университета / Археология Южной Сибири. К 40-летию кафедры археологии КемГУ. – Вып. 27. – Кемерово. – 2016. – С. 172-177.

6. Бобров, В.В. Тагарский курган на оз. Утинка / Древние культуры Сибири и Тихоокеанского бассейна. – Новосибирск. – 1979. – С. 170-180.

7. Мартынов, А.И. Алчедатский курган / Известия лаборатории археологических исследований. – Кемерово. – 1974. – Вып. 5. – С. 52- 67.

8. Савенкова, Т.М. Антропологические коллекции города Красноярска: современное состояние и перспективы исследований / Т.М. Савенкова, Е.С. Рейс // Физическая антропология: методики, базы данных, научные результаты. / Ответственный редактор: А.В. Громов (электронное издание). – СПб: Лема, 2014. – С.49-59.

9. Мартынов, А.И. Ягуня. Известия лаборатории археологических исследований (Учебное пособие). – Кемерово: КГПИ, 1973. – 320 с.

10. Бобров, В.В. Отчет о полевых археологических исследованиях в 1974 г. (раскопки курганов на озере Большой Берчикуль и озере Утинка в Кемеровской области). – Кемерово, 1975.– НА КМАЭЭ КемГУ. – ед.хр. 810.

11. Мартынова, Г.С. Раскопки третьего Тисульского курганного могильника / Г.С. Мартынова, Н.Ф. Покровская // Археология Южной Сибири. – 1979. –С.100-127.

12. Мартынова, Г.С. Результаты раскопок третьего Тисульского могильника в 1977 г. – Археология Южной Сибири. – Кемерово, 1980. – С. 54-68.

13. Мартынов, А.И. Серебряковский могильник / А.И. Мартынов, В.В. Бобров // ИЛАИ. – Кемерово, 1971. – Вып. 3. – 132 с.

14. Бобров, В.В. Тагарский курган на оз. Утинка / Древние культуры Сибири и Тихоокеанского бассейна. – Новосибирск. – 1979. – С.170-181.
15. Мартынов, А. И. Материалы раскопок тагарских курганов у с. Некрасово // ИЛАИ. – Кемерово, 1973. – Вып. 6. – С. 161-292.
16. Мартынов, А.И. Шестаковские курганы: Спецкурс / А.И. Мартынов, Г.С. Мартынова, А.М. Кулемзин // Кемерово, 1971. – 250 с.
17. Мартынов, А.И. Тисульские курганы тагарской культуры / ИЛАИ. – Кемерово, 1972. – Вып. 4. – 150 с.
18. Герман, П.В. К проблеме периодизации тагарской культуры: этап и тип / Труды V (XXI) Всероссийского археологического съезда в Барнауле–Белокурихе. – Барнаул: Изд-во Алт. ун-та, 2017. – Т. II. – С. 19-25.
19. Кошкин, Г.А. Состояние зубов и челюстей древних жителей Южной Сибири (тагарская культура VII-II вв. до н.э.). – Автореферат канд. диссертации. – Казань, 1971. – 27 с.
20. Багашев, А.Н. Антропология Западной Сибири / А.Н. Багашев. – Новосибирск: Наука, 2017. – 408 с.
21. Миргазизов, М.З. Состояние зубов и челюстей древних жителей Сибири / М.З. Миргазизов, Г.А. Кошкин // Материалы VII научной конференции Кемеровского мед. инст. и III конфер. стоматологов Кузбасса. – Кемерово, 1965. – Вып. IV. – С.26-28.
22. Миргазизов, М.З. Некоторые данные о состоянии зубов и челюстей у древних жителей Сибири (По данным археологических раскопок) / М.З. Миргазизов, Г.А. Кошкин // Стоматология. – 1966. – № 4. – С.34-37.
23. Овченков, В.С. К сравнительной характеристике питательных отверстий длинных трубчатых костей нижних конечностей современного и ископаемого человека. – Вопр. антропол. – 1974. – Вып. 48. – С. 199-205.
24. Козинцев А.Г. Антропологический состав и происхождение населения тагарской культуры. – Ленинград, 1977. – 89 с.
25. Учанева, Е.Н. Население Минусинской котловины в раннем железном веке: к вопросу о внутригрупповой и межгрупповой изменчивости / Е.Н. Учанева, А.А. Казарницкий, А.В. Громов, Н.И. Лазаретова // Вестник археологии, антропологии и этнографии. – Тюмень: Изд-во ИПОС СО РАН, 2017. – № 1(36). – С. 78-87.

Работа выполнена в Лаборатории археологии Института Экологии Человека ФИЦ УУХ СО РАН под руководством кандидата исторических наук П.В. Германа.

**СВОД АРХЕОЛОГИЧЕСКИХ ПАМЯТНИКОВ
СЕВЕРО-ВОСТОКА КУЗБАССА:
ОПЫТ ПРОСТРАНСТВЕННОГО АНАЛИЗА В ГИС**

**SUMMARY OF ARCHAEOLOGICAL SITES
OF THE NORTH-EAST OF KUZBASS:
EXPERIENCE OF SPATIAL ANALYSIS IN GIS**

*Плац Иван Андреевич, младший научный сотрудник, Лаборатория
археологии Института экологии человека ФИЦ УВХ СО РАН*

*Ivan A. Plats, Junior Researcher, Archaeology laboratory,
Institute of Human Ecology FRC CCC SB RAS
E-mail: ivanplac@yandex.ru*

Аннотация: На северо-востоке Кузбасса известно более 220 археологических памятников, информация о которых содержится в различных публикациях и перечнях памятников. Последний такой перечень опубликован в 2007 году, но к настоящему времени открыт целый ряд новых археологических объектов, поэтому назрела необходимость оформления актуального свода археологических памятников северо-востока Кузбасса, как в виде базы данных, так и в виде геоинформационной системы, которая позволяет проводить пространственный анализ расположения древних поселений, могильников и местонахождений. Цель данной статьи заключается во введении в научный оборот результатов пространственного анализа на основе данных, собранных в своде археологических памятников. При подготовке статьи использовался метод картографирования, метод визуализации, методы пространственного анализа, в частности, метод тепловой карты. В статье публикуется несколько карт северо-востока Кузбасса, созданных посредством ГИС-технологий.

Annotation: More than 220 archaeological sites are known in the northeast of Kuzbass, information about which is contained in various

publications and lists of sites. The last such list was published in 2007, but by now a number of new sites have been discovered, so there is a need to draw up an up-to-date set of archaeological sites in the northeast of Kuzbass, both in the form of a database and in the form of a geographic information system that allows for a spatial analysis of the location ancient settlements, burial grounds and locations. The purpose of this article is to introduce into scientific circulation the results of spatial analysis based on data collected in the collection of archaeological sites. In preparing the article, the mapping method, visualization method, spatial analysis methods, in particular the heat map method, were used. The article publishes several maps of the north-east of Kuzbass, created using GIS technologies.

Ключевые слова: ГИС, северо-восток Кузбасса, археологические памятники, пространственный анализ, тепловая карта, базы данных.

Key words: GIS, north-east of Kuzbass, archaeological sites, spatial analysis, heat map, databases.

Введение

Северо-восток Кузбасса в административно-территориальном отношении соответствует Мариинскому, Тяжинскому, Чебулинскому и Тисульскому районам Кемеровской области, в географическом отношении находится на стыке двух обширных геоморфологических провинций – равнинных пространств Западно-Сибирской низменности и горных массивов Алтае-Саянской системы, в гидрографическом отношении занимает почти весь бассейн р. Кия и часть левобережья р. Чулым и р. Урюп. На северо-востоке Кузбасса находится Ачинско-Мариинский лесостепной коридор, по которому можно попасть из Верхнего Приобья на западе в Минусинскую котловину на востоке. Этот коридор и сейчас является практически единственным маршрутом, который позволяет миновать труднопроходимые горы Кузнецкого Алатау, таковым он являлся и в древности, что привело к богатству северо-востока Кузбасса археологическими памятниками.

Систематизация информации о памятниках древности является базовой задачей археологии как науки. Еще в 1880-е годы В.М. Флоринским были осуществлены попытки картографирования археологических памятников в Томской губернии, в состав которой входила современная территория северо-востока Кузбасса, однако информаторы ученого из Мариинского и Кузнецкого округов

предоставили крайне скудную информацию [1, с. 69-71]. В 1953 году И.А. Талицкая опубликовала археологическую карту Нижнего и Среднего Приобья, где по материалам исследований Г.О. Оссовского представлена информация о некоторых курганных могильниках в Мариинской лесостепи [2, с. 254-256]. В 1956 году А.П. Дульзон подготовил объемный свод памятников Томской области, куда вошла информация, добытая А.К. Ивановым о древностях в районе с. Колеул [3, с. 140]. Дальнейшая систематизация и картографирование археологических памятников на северо-востоке Кузбасса связана с деятельностью А.И. Мартынова, развернувшего ежегодные археологические разведки в бассейнах рек Кия и Чулым, что привело к составлению перечня «Материалы к археологической карте Кемеровской области» [4]. Систематические исследования А.И. Мартынова, его учеников и сподвижников, способствовали постоянному увеличению известных археологических памятников на северо-востоке и к публикации обновленных перечней [5; 6]. Гигантская работа по поиску, систематизации и картографированию археологических памятников увенчалась в 1989 году изданием сводного труда по всем памятникам Кемеровской области [7]. Обновленные перечни выходили в 1996 и 2007 годах [8; 9]. Следует особо отметить сайт Департамента культуры и национальной политики Кемеровской области и ЗАО «Альт-Софт» под названием «Памятники истории и культуры Кемеровской области», представляющий собой базу данных в виде электронного справочника объектов культурного наследия, актуального на 2012 год [10].

Последний перечень памятников вышел уже больше 10 лет назад, однако новые памятники в последние годы выявляются регулярно [11, 12], поэтому в рамках гранта РФФИ проведена работа по созданию актуального свода археологических памятников северо-востока Кузбасса, с последующим изучением разносторонней информации о них посредством пространственного анализа в геоинформационной системе.

Методология

В ходе исследования использовался метод картографирования, метод визуализации, методы пространственного анализа, в частности, метод тепловой карты.

Свод археологических памятников северо-востока Кузбасса

Свод представлен в виде базы данных «Археологические памятники северо-востока Кузбасса», в которой отражена всесторонняя информация о 222 археологических памятниках, полученная из открытых источников, публикаций и полевых работ исследователей, в том числе и сотрудников лаборатории археологии ФИЦ УУХ СО РАН. Описание археологических памятников произведено в соответствии с общепринятой методикой археологических исследований, опирается на специальную терминологию в рамках таких категорий, как тип памятника, культурная принадлежность, эпохальная принадлежность. Помимо сведений об археологических памятниках, база данных содержит фотоматериалы и топографические планы, доступ к которым осуществляется посредством гиперссылок.

База данных состоит из 34 столбцов и 222 строк, в которых систематизирована информация об объектах археологического наследия северо-востока Кузбасса. Учтены следующие категории сведений: номер, официальное наименование, краткое наименование, варианты наименования, тип, датировка, принадлежность к муниципальному образованию Кемеровской области, долгота, широта, местонахождение, речной бассейн, площадь (кв. м), первооткрыватель, год открытия, краткая история исследования, степень изученности, эпохальная принадлежность, культурная принадлежность, место хранения коллекции археологических находок, публикации, архивные источники, фото, план, описание, состояние, границы, категория, название документа об утверждении предмета охраны, название документа о включении в перечень охраняемых государством памятников, номер в Едином государственном реестре объектов культурного наследия (памятников истории и культуры) народов Российской Федерации.

База данных «Археологические памятники северо-востока Кузбасса» зарегистрирована в Федеральном институте промышленной собственности [13], активно используется в лаборатории археологии ФИЦ УУХ СО РАН. Следует отметить, что на данный момент подзаконные акты Российской Федерации не позволяют публиковать ряд сведений [14], касающихся расположения памятников археологии, поэтому публикация нашего свода в исходном варианте не представляется возможной. Однако данные, которые содержит свод, позволяют производить с помощью геоинформационных технологий пространственный анализ памятников для выявления закономерностей в их расположении.

Геоинформационная система памятников Кемеровской области

Сейчас ГИС-технологии в российской археологии активно развиваются. Создаются всероссийские [15], региональные [16] и локальные [17] ГИС археологических памятников.

Важно отметить, что в Кемеровской области ранее не проводилось работ по созданию археологических ГИС, поэтому основным источником о памятниках до сих пор служила археологическая карта, опубликованная в 1989 году [7], а также перечни и другие публикации, о которых велась речь выше.

Чтобы перейти на более современный уровень систематизации данных, в лаборатории археологи ФИЦ УУХ СО РАН с 2020 года ведется разработка и внедрение в исследовательский арсенал геоинформационной системы «Археологическое наследие Кузбасса», а для апробирования выбраны памятники северо-востока Кузбасса.

Программной средой, в которой ведется работа, является открытая настольная ГИС-платформа QGIS с системой управления базами данных PostgreSQL. В ходе работы над ГИС проведены консультации со старшим научным сотрудником Института истории материальной культуры РАН С.А. Васильевым, оказавшим неоценимую помощь в создании ГИС «Археологическое наследие Кузбасса». В частности, именно разработанная С.А. Васильевым «АИС Археограф» [18] стала образцом для создания ГИС по памятникам Кемеровской области.

После выбора программной среды основной задачей стало картографирование и описание каждого памятника, исходя из 37 атрибутов-характеристик, большая часть которых идентична категориям сведений из свода археологических памятников северо-востока Кузбасса, описанным выше.

Результатом стало картографирование и атрибутирование всех 222 археологических памятников северо-востока Кузбасса, их визуализация в программе QGIS и создание сводной карты (рис. 1). На основе собранных данных стало возможным проведение пространственного анализа для установления закономерностей в расположении археологических памятников северо-востока Кузбасса.

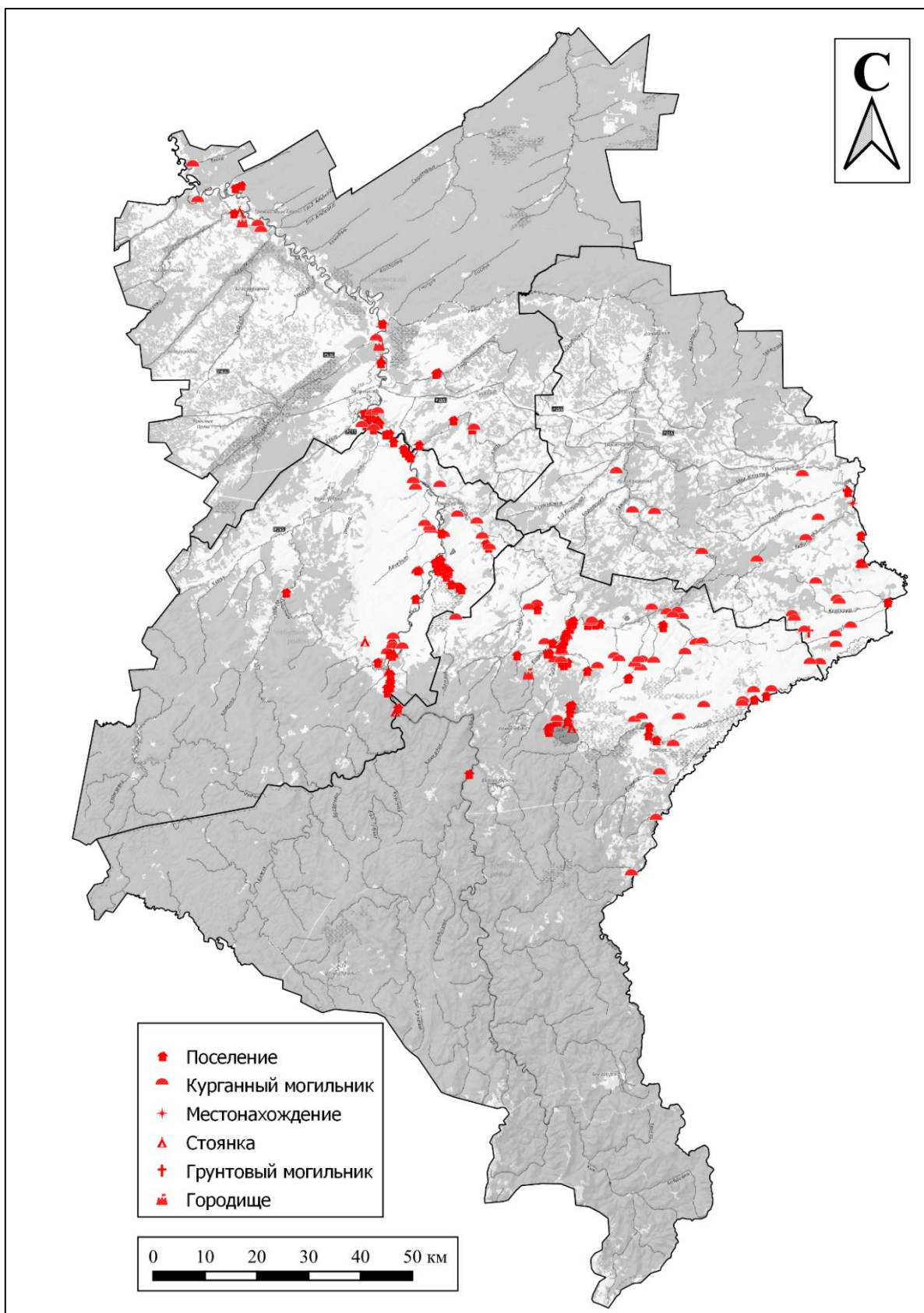


Рисунок 1. Карта археологических памятников
северо-востока Кузбасса

Пространственный анализ археологических памятников

Для характеристики пространственного распределения археологических памятников северо-востока Кузбасса выполнены следующие действия: 1) построение карты плотности археологических памятников; 2) построение карты археологических памятников по годам открытия; 3) построение карты археологических памятников с указанием исследователя-первооткрывателя; 4) построение карты археологических памятников по различным эпохам.

Для построения карты плотности археологических памятников использован инструмент Heatmap (Kernel Density Estimation) (тепловая карта) программы QGIS 3.8. Суть метода тепловых карт состоит в том, что относительно каждой точки поверхности производится подсчет находящихся на определенном радиусе объектов (в нашем случае – археологических памятников). Радиус при построении нашей карты плотности составил $0,1^\circ$ (11,1 км по широте, ок. 6,3 км по долготе). Данный радиус наиболее оптимален и репрезентативен для северо-востока Кузбасса и позволяет выявлять локальные группировки памятников, в то время как увеличение радиуса приведет к тому, что почти все памятники будут попадать в одну группировку, и наоборот, уменьшение радиуса приведет к построению карты, где каждому памятнику будет соответствовать только небольшая зона вокруг него.

Анализ карты плотности археологических памятников северо-востока Кузбасса (рис. 2) позволил получить следующую информацию. Наибольшая плотность памятников фиксируется в районе с. Шестаково, а также в районе пгт Тисуль (до 25 памятников в радиусе $0,1^\circ$). Эти две группировки памятников значительно опережают по плотности все остальные. Так гораздо меньше плотность памятников в районе с. Чумай, а также в урочище Арчекас (до 15 памятников). Все еще довольно высокий уровень плотности фиксируется в районе озера Большой Берчикуль (до 12 памятников), но уже ниже, чем в вышеперечисленных местностях. Как средний уровень плотности, можно охарактеризовать ситуацию для местности в районе д. Кайчак (до 9 памятников). Еще меньше плотность в районе с. Колеул; в окрестностях д. Большепичугино; в местности вокруг с. Тамбар; в районе впадения в Кию р. Антибес; в окрестностях с. Изындаево; в районе д. Усть-Барандат (до 6 памятников). Низкий уровень плотности памятников фиксируется между вышеперечисленными группировками памятников, например, между тамбарской и

большепичугинской, между чумайской и шестаковской, между арчекасской и шестаковской и др. (до 3 памятников). Самый низкий уровень плотности фиксируется на периферии выявленных группировок (1 памятник). Однако на большей части северо-востока Кузбасса нет памятников археологии и, соответственно, плотность там соответствует нулю. Это в первую очередь территория гор Кузнецкого Алатау на юге и тайга на северо-востоке рассматриваемого региона.

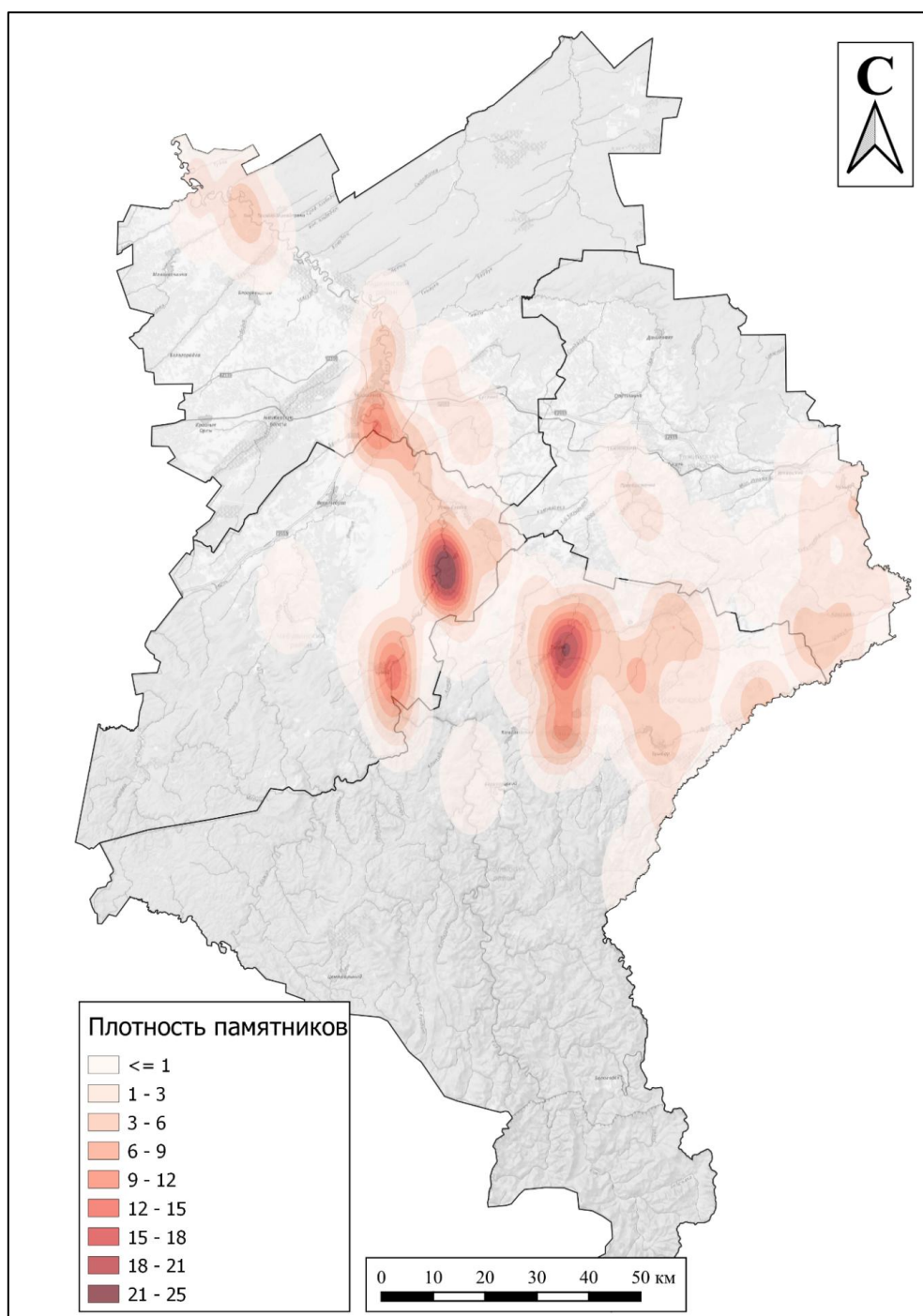


Рисунок 2. Карта плотности археологических памятников

Таким образом, наибольшая плотность памятников приходится на районы, где имеются крупные водоемы, такие как р. Кия с притоками, р. Урюп, которые протекают по равнинным лесостепным участкам, либо где равнинные лесостепные участки граничат с горно-таежной местностью.

Исследование взаиморасположения археологических памятников северо-востока Кузбасса методом тепловых карт подтверждает выводы более ранних исследований о целесообразности выделения Среднекийского археологического микрорайона, который включает в себя Шестаковский, Чумайский и Арчекацкий (Мариинский) археологические комплексы [19]; о выделении Тисульского и Колеульского археологических микрорайонов [20, 21], Берчикульского археологического микрорайона [22]. Можно поставить вопрос о существовании большепичугинского археологического микрорайона, однако для этого нужно привлечь материалы сопредельного Шарыповского района Красноярского края.

Анализ карты археологических памятников по годам открытия (рис. 3), позволил получить следующую информацию. Десять памятников открыто в XIX веке. Шесть памятников – в 1930 и 1955 гг. Значительное количество памятников (48) открыто в период с 1956 по 1960 гг. 25 памятников зафиксировано с 1961 по 1970 гг. Больше всего памятников (80) открыто в период с 1971 по 1980 гг. 36 памятников открыто в 1980-х гг. Всего два открытых памятника приходится на 1990-е гг. Восемь памятников открыто с 2007 по 2011 гг. Еще восемь – в период с 2017 по 2019 гг.

Дополняют вышеперечисленные данные анализ карты археологических памятников по первооткрывателям (рис. 4). Более половины известных на северо-востоке Кузбасса памятников археологии открыты А.М. Кулемзиным (84), А.И. Мартыновым (59) и В.В. Бобровым (18).

Подробный анализ карт по годам открытия и первооткрывателям приводит к мысли о том, что выявленные методом тепловой карты области высокой концентрации археологических объектов отражают не столько реальное распределение населения в древности, сколько районы, в которых в течение десятилетий предпочитали работать исследователи и экспедиции. Так, в районе с. Шестаково практически ежегодно в 1970-х и 1980-х гг. проводились археологические работы под руководством А.И. Мартынова, А.М. Кулемзина и других исследователей. В районе

урочища Арчекас исследования начались в первой половине 1960-х при деятельном участии И.И. Баухника и с перерывами продолжались в 1970-х (А.М. Кулемзин, А.В. Циркин), 1990-х (В.Н. Жаронкин) и 2010-х гг. (А.С. Савельева, А.В. Веретенников). В окрестностях пгт. Тисуль работы не прекращались с 1956 по начало 1980-х гг. под руководством А.И. Мартынова и его учеников. Список примеров можно продолжить. Таким образом, хотя метод тепловых карт и является перспективным, его истинный потенциал раскроется тогда, когда рассматриваемый регион будет исследован систематическими разведками полностью.

Анализ карты археологических памятников по историческим эпохам (рис. 5) позволил получить следующую информацию. Памятники каменного века (40 тыс. лет назад – первая половина III тыс. до н.э.) встречаются на всем протяжении Ачинско-Мариинского лесостепного коридора, как в чисто степных и лесостепных районах, так и на стыке горно-таежных/таежных и степных/лесостепных участков. Все они, так или иначе, примыкают к водоемам. Количество известных памятников бронзового века (вторая половина III тыс. до н.э. – VIII в. до н.э.) несколько выше, чем в предшествующую эпоху. Наконец, количество открытых памятников раннего железного века (VII в. до н.э. – V в. н.э.) практически вдвое превышает известные древности эпохи бронзы. Средневековых (VI – XV вв.) археологических памятников наименьшее число. На основе представленных данных можно в самых общих чертах реконструировать динамику изменения численности древнего и средневекового населения северо-востока Кузбасса. Так, в каменном и бронзовых веках шло постепенное, медленное развитие местных сообществ, небольшой рост количества населения. Развитие производящих форм хозяйствования, которые были привнесены на северо-восток Кузбасса только с андроновскими миграциями, а по-настоящему стали основой жизни для местного населения в тагарскую эпоху, привели к резкому повышению прибавочного продукта и соответственно к увеличению населения, что отразилось на количестве обнаруженных памятников раннего железного века. Увеличение прибавочного продукта привело к усилению социального расслоения, что в свою очередь привело к череде непрекращающихся войн, начиная с великого переселения народов, которое сменилось эпохой тюркской экспансии, а затем монгольскими завоевательными походами. Возможно, что с этими событиями, либо миграции, связано уменьшение количества населения,

что отразилось на небольшом количестве средневековых памятников на северо-востоке Кузбасса.

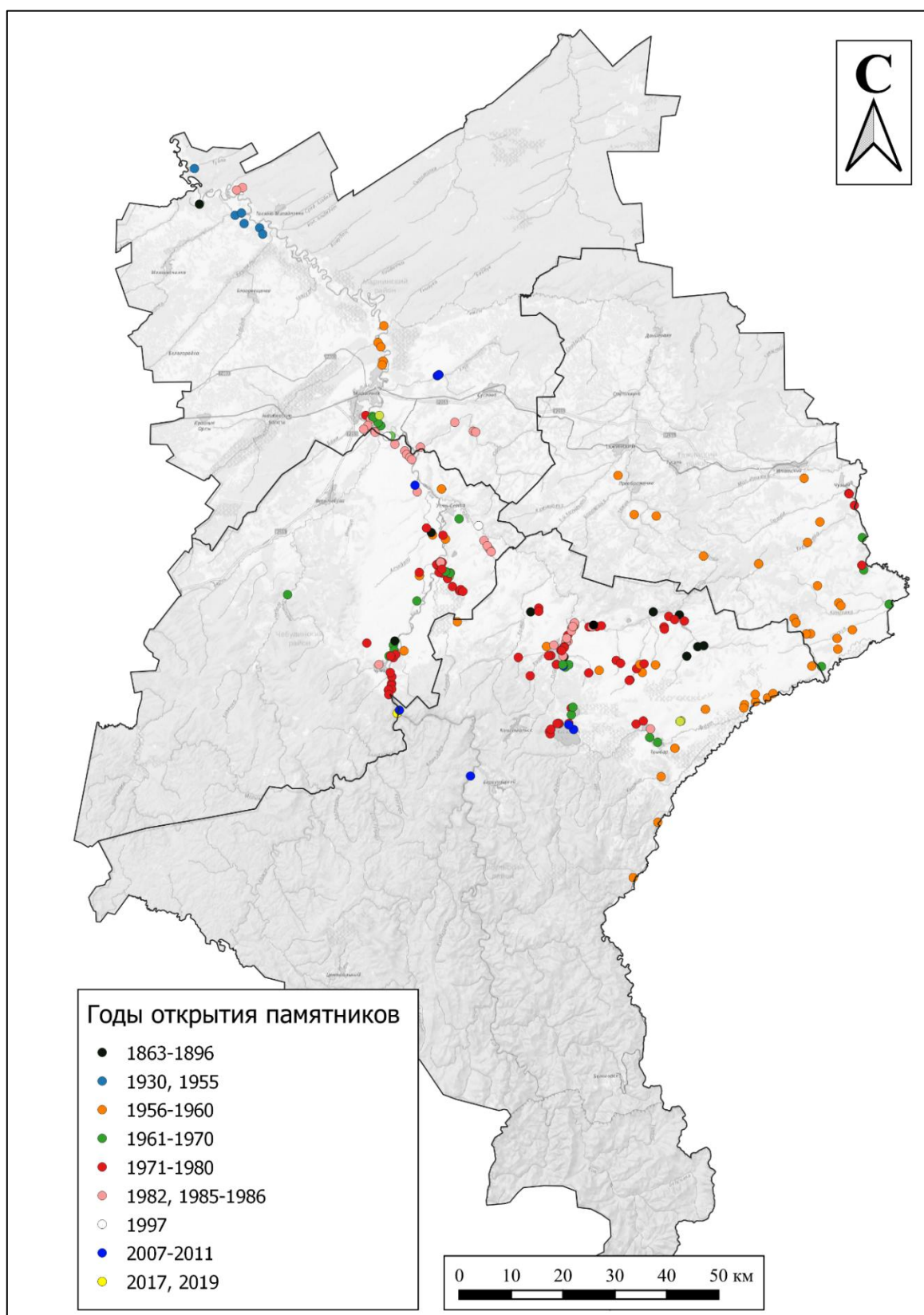


Рисунок 3. Карта археологических памятников по годам открытия

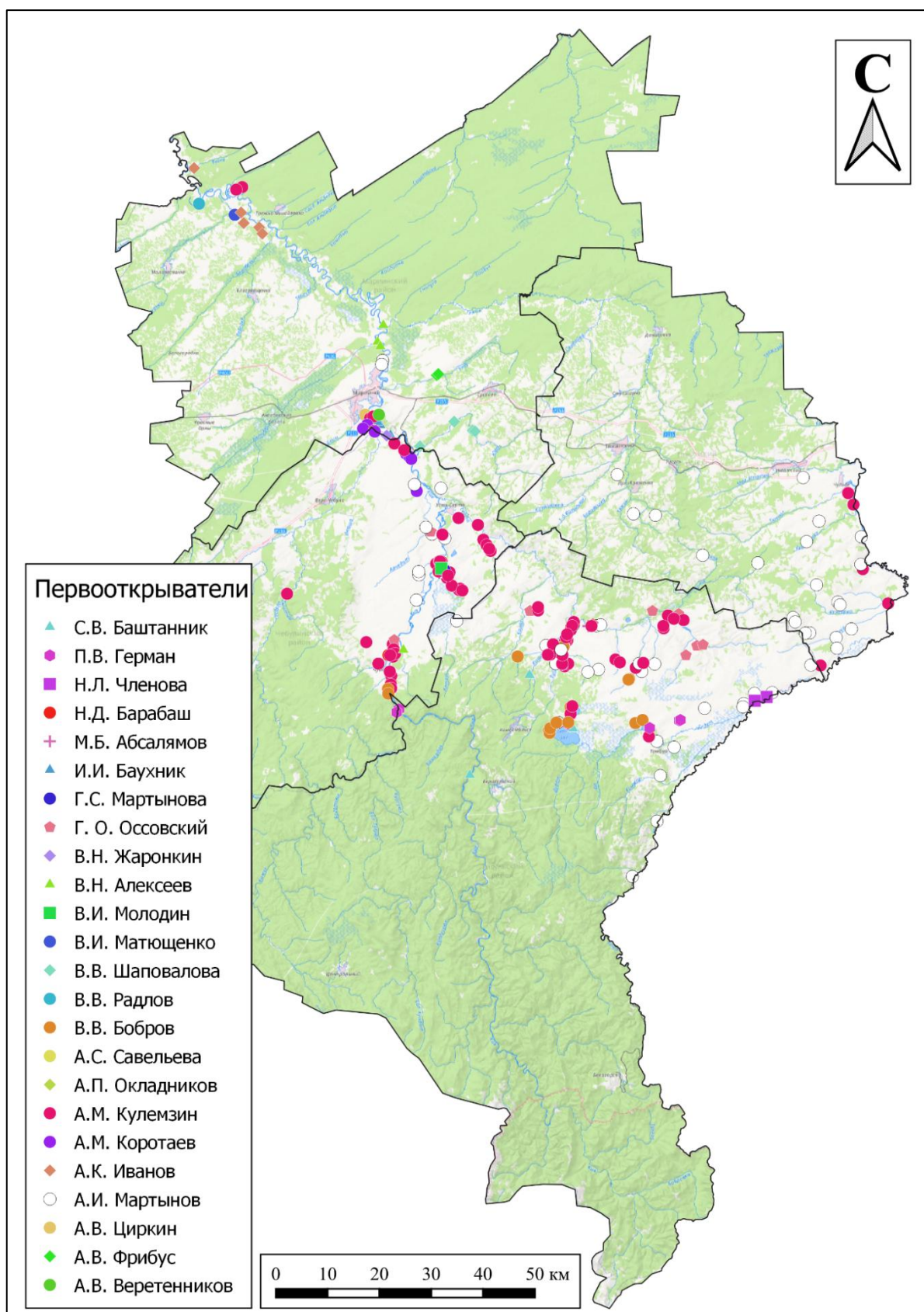


Рисунок 4. Карта археологических памятников северо-востока
по первооткрывателям

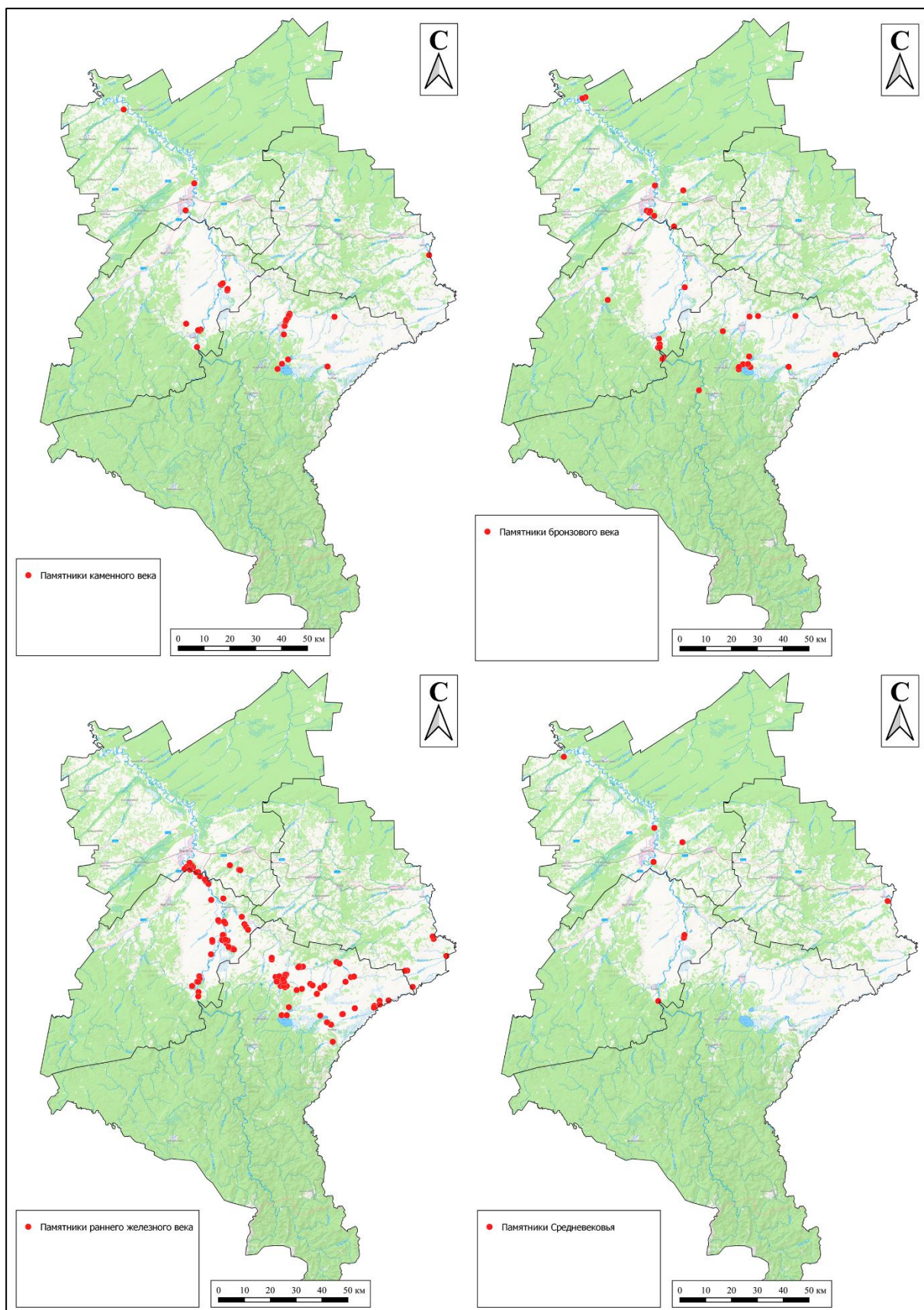


Рисунок 5. Карта археологических памятников по различным эпохам

Подводя итог, можно заключить следующее. В результате систематизации всех доступных данных создан актуальный свод археологических памятников северо-востока Кузбасса, который можно использовать для дальнейших исследований в различных направлениях. Одно из таких направлений – археологическая картография с использованием ГИС. С помощью ГИС был проведен пространственный анализ памятников северо-востока Кузбасса, выявлены участки с наибольшей плотностью памятников, которые соответствуют ранее выделенным археологическим микрорайонам. Анализ количества памятников по эпохам показал положительную динамику с каменного по ранний железный век и резко отрицательную динамику в средневековье. В целом, анализ расположения памятников показал, что абсолютное большинство археологических объектов приурочены к Ачинско-Мариинскому лесостепному коридору, в то время как в таёжных и горно-таёжных районах, занимающих свыше 50% территории северо-востока Кузбасса, памятники практически отсутствуют. Частично это связано со степенью археологической изученности той или иной местности.

Список литературы

1. Флоринский, В.М. Топографические сведения о курганах Томской губернии. Томск, 1889. – 72 с.
2. Талицкая, И.А. Материалы к археологической карте Нижнего и Среднего Приобья // Материалы и исследования по археологии СССР. – М., 1953. – № 35. – С. 242-357.
3. Дульзон, А.П. Археологические памятники Томской области (к археологической карте Среднего Приобья) // Труды Томского областного краеведческого музея. Томск, 1956. – Т. V. – С. 89-316.
4. Мартынов, А.И. Материалы к археологической карте Кемеровской области // Учёные записки Кемеровского педагогического института. – 1961. – Вып. 4. – С. 152-164.
5. Мартынов, А.И. Памятники и отдельные находки предметов скифо-сарматского времени в Томско-Енисейском лесостепном районе // Известия лаборатории археологических исследований. Кемерово: Новокузнецкий полиграфический производственный комбинат Кемеровского областного управления издательств, полиграфии и книжной торговли, 1973. – Вып. VI. – С. 4-89.

6. Мартынов, А.И. Тагарские курганы и отдельные находки тагарских бронзовых предметов в Ачинско-Мариинском лесостепном районе / А.И. Мартынов, А.М. Кулемзин, Э.И. Биглер // Известия лаборатории археологических исследований. Кемерово: Б. и., 1973. – С. 239-245.
7. Кулемзин, А.М. Археологические памятники Кемеровской области / А.М. Кулемзин, Ю.М. Бородин. – Кемерово. 1989. – 158 с.
8. Каталог памятников истории и культуры Кемеровской области / Ю.В. Барабанов, Л.Ю. Боброва, Ю.П. Горелов, Ю.В. Ширин. – Кемерово, 1996. – 185 с.
9. Историко-культурное наследие Кузбасса: сборник нормативных актов / Сост. Т. Л. Баранова, Ю. Ю. Гизей, В. Н. Жаронкин, И. В. Захарова. – Кемерово. – 2007. – 226 с.
10. Памятники истории и культуры Кемеровской области [Электронный ресурс]: энциклопедический справочник // Департамент культуры и национальной политики Кемеровской области; ЗАО «Альт-Софт» Информационные и коммуникационные технологии. URL: <http://kemerovo.altsoft.spb.ru/>
11. Сизев, А.С. Археологические разведки в Кемеровском и Тисульском районах Кемеровской области в 2017 году / А.С. Сизев, И.А. Плац // Ученые записки музея-заповедника «Томская Писаница». – Кемерово. – 2018. – № 7. – С. 41-46.
12. Новые данные об археологических памятниках на северо-востоке Кузбасса / П.В. Герман, А.С. Савельева, А.Г. Марочкин, А.В. Веретенников // Ученые записки музея-заповедника «Томская Писаница». – 2019. – № 10. – С. 15-20.
13. Плац, И.А. Археологические памятники северо-востока Кузбасса / И.А. Плац, П.В. Герман, А.С. Савельева // Свидетельство о регистрации базы данных 2021621568, 20.07.2021. Заявка № 2021621425 от 08.07.2021.
14. Приказ Министерства культуры Российской Федерации №2328 от 01.09.2015 «Об утверждении перечня отдельных сведений об объектах археологического наследия, которые не подлежат опубликованию».
15. Россия как археологическое пространство: первые итоги работы по созданию национальной ГИС «Археологические памятники России» / Н.А. Макаров, О.В. Зеленцова, Д.С. Коробов, А.П. Черников, А.Н. Ворошилов // Российская археология. – 2016. – № 4. – С. 5-15.

16. Закономерности пространственного расположения археологических объектов на территории Томской области / И.Д. Зольников [и др.] // Российская археология. – 2020. – № 1. – С. 22-31.

17. Анализ пространственного распределения археологических памятников центральной части Барабинской лесостепи (Венгеровский район Новосибирской области) на основе ГИС-технологий / Кузьмин Я.В. [и др.] // Вестник НГУ. Серия: История, филология. – 2013. – Т. 12. – Вып. 7: Археология и этнография. – С. 87-96.

18. Васильев, С. А. Проект «АИС Археограф» // Археология и геоинформатика: [Электронный ресурс]. – М.: ИА РАН, 2006. – Вып. 3. – CD-ROM.

19. Археологические памятники среднего течения р. Кия: история открытия и перспективы изучения / А.С. Савельева [и др.] // Вестник Кемеровского государственного университета. – 2020. – Т. 22. – № 3. – С. 648-663.

20. Археологические микрорайоны и проблемы культурной хроностратиграфии на юге Томь-Чулымья (неолит–палеометалл–средневековье) / А.Г. Марочкин [и др.] // Вестник Томского государственного университета. История. – 2021. – № 69. – С. 37-44.

21. Савельева, А.С. Археологические памятники у с. Колеул: к вопросу об археологическом микрорайоне в нижнем течении р. Кия (Кемеровская область) // Ежегодная конференция молодых ученых ФИЦ УУХ СО РАН «Развитие – 2020» [Электронный ресурс] : сборник трудов конференции 18 – 20 мая 2020 г. ; отв. ред. А.Е. Майоров. – Электронные текстовые дан. – Кемерово: ФИЦ УУХ СО РАН – 1 электрон. опт. диск (CD–ROM). С. 219-234.

22. Баштанник, С.В. Историко-культурный потенциал западной части Кийско-Чулымского междуречья / Историческая и социально-образовательная мысль. – 2013. – № 5. – С. 13-19.

Работа выполнена в лаборатории археологии Института экологии человека ФИЦ УУХ СО РАН под руководством кандидата исторических наук А.С. Савельевой, при финансовой поддержке РФФИ и Администрации Кемеровской области – Кузбасса в рамках научного проекта № 20-49-420005 р_а.