



ВЕСТНИК ПЕРМСКОГО ФЕДЕРАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО ЦЕНТРА

Научный журнал

ЯНВАРЬ – МАРТ 1/2026

Основан в 2008 году
Выходит 4 раза в год
ISSN 2658-705X

Главный редактор

акад. РАН *В.П. Матвеевко*

Зам. главного редактора

акад. РАН *А.А. Барях*

чл.-кор. РАН *О.А. Плехов*

Редакционная коллегия

чл.-кор. РАН *А.К. Беляев, Санкт-Петербург*

д.т.н. *В.А. Вальцифер, Пермь*

д.м.н. *С.В. Гейн, Пермь*

акад. РАН *А.В. Головнев, Санкт-Петербург*

д.ф.-м.н. *Е.В. Ерманюк, Новосибирск*

д.б.н. *Е.Н. Ефременко, Москва*

д.б.н. *Н.Е. Завьялова, Пермь*

чл.-кор. РАН *Н.Н. Зезин, Екатеринбург*

д.и.н. *В.А. Иванов, Уфа*

акад. РАН *И.Б. Ившина, Пермь*

д.б.н. *О.Н. Ильинская, Казань*

к.с.-х.н. *К.Н. Корляков, Пермь*

д.и.н. *Н.Б. Крыласова, Пермь*

д.м.н. *М.В. Кузнецова, Пермь*

акад. РАН *А.В. Кучин, Сыктывкар*

чл.-кор. РАН *Л.Ю. Левин, Пермь*

д.ф.-м.н. *А.И. Мизев, Пермь*

акад. РАН *В.О. Михайлов, Москва*

д.ф.-м.н. *И.А. Пантелеев, Пермь*

акад. РАН *И.Ю. Рассказов, Хабаровск*

д.т.н. *И.А. Санфиоров, Пермь*

чл.-кор. РАН *С.В. Смирнов, Екатеринбург*

д.ф.-м.н. *Р.А. Степанов, Пермь*

чл.-кор. РАН *В.Н. Стрельников, Пермь*

д.г.-м.н. *И.И. Чайковский, Пермь*

акад. РАН *В.Н. Чарушин, Екатеринбург*

акад. РАН *В.А. Черешнев, Екатеринбург*

чл.-кор. РАН *А.В. Черных, Пермь*

д.х.н. *Ю.В. Шкляев, Пермь*

Ответственный секретарь

к.ф.-м.н. *А.Г. Вогинова*

Адрес редакции журнала:

614000, г. Пермь, ул. Ленина, д. 13А

тел.: (342) 212-40-64

e-mail: vestnik@permsc.ru

<https://journal.permsc.ru/index.php/pscj>



PERM FEDERAL RESEARCH CENTER JOURNAL

Scientific journal

JANUARY – MARCH 1/2026

Published since 2008

Issued quarterly

ISSN 2658-705X

Editor-in-Chief

RAS acad. *V.P. Matveenko*

Deputy editor-in-chief

RAS acad. *A.A. Baryakh*

RAS corresp. member *O.A. Plekhov*

Editorial Board

RAS corresp. member *A.K. Belyaev, St. Petersburg*

Dr. Sci. (Tech.) *V.A. Valtsifer, Perm*

Dr. Sci. (Med.) *S.V. Gein, Perm*

RAS acad. *A.V. Golovnev, St. Petersburg*

Dr. Sci. (Phys.-Math.) *E.V. Ermanyuk, Novosibirsk*

Dr. Sci. (Biol.) *E.N. Efremenko, Moscow*

Dr. Sci. (Biol.) *N.E. Zavyalova, Perm*

RAS corresp. member *N.N. Zezin, Ekaterinburg*

Dr. Sci. (Hist.) *V.A. Ivanov, Ufa*

RAS acad. *I.B. Ivshina, Perm*

Dr. Sci. (Biol.) *O.N. Ilinskaya, Kazan*

Cand. Sci. (Agric.) *K.N. Korlyakov, Perm*

Dr. Sci. (Hist.) *N.B. Krylasova, Perm*

Dr. Sci. (Med.) *M.V. Kuznecova, Perm*

RAS acad. *A.V. Kuchin, Syktyvkar*

RAS corresp. member *L.Y. Levin, Perm*

Dr. Sci. (Phys.-Math.) *A.I. Mizev, Perm*

RAS acad. *O.V. Mikhailov, Moscow*

Dr. Sci. (Phys.-Math.) *I.A. Panteleev, Perm*

RAS acad. *I.Yu. Rasskazov, Khabarovsk*

Dr. Sci. (Tech.) *I.A. Sanfirov, Perm*

RAS corresp. member *S.V. Smirnov, Ekaterinburg*

Dr. Sci. (Phys.-Math.) *R.A. Stepanov, Perm*

RAS corresp. member *V.N. Strelnikov, Perm*

Dr. Sci. (Geol.-Mineral.) *I.I. Chaikovsky, Perm*

RAS acad. *V.N. Charushin, Ekaterinburg*

RAS acad. *V.A. Chereshnev, Ekaterinburg*

RAS corresp. member *A.V. Chernykh, Perm*

Dr. Sci. (Chem.) *Y.V. Shklyayev, Perm*

Executive Editor

Cand. Sci. (Phys.-Math.) *A.G. Votnova*

Editorial office address:

13A, Lenin St., Perm, 614000, Russia

tel.: (342) 212-40-64

e-mail: vestnik@permisc.ru

<https://journal.permisc.ru/index.php/pscj>

СОДЕРЖАНИЕ

ЯНВАРЬ – МАРТ 1/2026

МЕХАНИКА СПЛОШНЫХ СРЕД

Мизева И.А., Кулеш А.А.

Smart-часы для медицины. Обзор 5

НАУКИ О ЗЕМЛЕ

Шалимов А.В., Жихарев С.Я., Семин М.А., Кузьминых Е.Г.

Низкотемпературное масштабное моделирование устойчивости движения воздуха в наклонной горной выработке с источником выделения тепла 19

Оносов Д.В., Сметанников А.Ф.

Особенности технологии гидроциклонирования при смене способа переработки шламов. 33

Ольховский Д.В., Паршаков О.С., Зайцев А.В., Кузьминых Е.Г.

Анализ современного состояния изученности причин самовозгорания сульфидных руд. 46

СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ НАУКИ

Фомин Д.М.С., Фомин Д.С.

Борщевик Сосновского (*Heracleum sosnowskyi manden.*) как объект экологоправового регулирования: комплексный анализ инвазии, методов борьбы и эволюции законодательной базы на примере Пермского края 60

ОБЩЕСТВО И ЧЕЛОВЕК

Смертин П.Р.

Новые данные по краниологии населения Пермского Прикамья эпохи Нового времени 74

Черных И.А.

История коми-пермяцкой письменности: сравнительный обзор алфавитов конца XIX – первой половины XX века. 89

Дружинина И.С., Никонов В.В.

Экспедиция по выявлению и фиксации объектов нематериального этнокультурного достояния в Республике Коми 106

CONTENTS

JANUARY – MARCH 1/2026

CONTINUUM MECHANICS

Mizeva I.A., Kulesh A.A.

Smart-watches for medicine. Review. 5

GEOSCIENCES

Shalimov A.V., Zhikharev S.Ya., Semin M.A., Kuzminykh E.G.

Low-temperature large-scale modeling of air flow stability in an inclined mine working with a heat source 19

Onosov D.V., Smetannikov A.F.

Features of hydrocycloning technology when changing the sludge processing method. 33

Olkhovsky D.V., Parshakov O.S., Zaitsev A.V., Kuzminykh E.G.

Analysis of the current state of knowledge of the causes of spontaneous combustion of sulfide ores. 46

AGRICULTURAL SCIENCES

Fomin Dm.S., Fomin D.S.

Sosnowski's Hogweed (*Heraculum sosnowskyi* manden) as an object of ecological and legal regulation: a comprehensive analysis of invasion, control methods and the evolution of the legislative framework on the example of the perm region. 60

HUMAN AND SOCIETY

Smertin P.R.

New data on the craniology of the population of the Perm Kama region of the modern era 74

Chernykh I.A.

History of the komi-permyak writing system: a comparative overview of alphabets from the late 19th to the mid-20th century 89

Druzhinina I.S., Nikonov V.V.

An expedition to identify and fix objects intangible ethnocultural heritage in the Komi Republic 106

SMART-ЧАСЫ ДЛЯ МЕДИЦИНЫ. ОБЗОР

Мизева И.А., *Институт механики сплошных сред УрО РАН, Пермь*

Кулеш А.А., *Пермский государственный медицинский университет имени академика Е.А. Вагнера, Пермь*

Современные носимые устройства эволюционировали из простых шагомеров в сложные мультисенсорные системы, обеспечивающие непрерывный и неинвазивный мониторинг широкого спектра физиологических параметров. Этот переход превращает потребительские гаджеты в инструменты для превентивной медицины и биомедицинских исследований. Настоящий аналитический обзор сфокусирован на физических принципах, лежащих в основе регистрации физиологических параметров, и возможности их применения для контроля состояния здоровья. В центре внимания метод оптической фотоплетизмографии, позволяющий зарегистрировать модуляцию отраженного света пульсирующим кровотоком. Функционал smart-часов, дополненный в недавнее время измерением электрокардиограммы, имеет широкие возможности для медицинского использования этих гаджетов. Наиболее ожидаемые функции – оценка артериального давления и биохимических характеристик smart-часами. Во второй части обзора детально разобраны физиологические характеристики, которые могут быть получены из физических сигналов, регистрируемых smart-часами. В третьей части тезисно перечислены медицинские приложения, а в четвертой – диагностическая ценность регистрируемых физиологических параметров, а также возможность использования получаемых данных в медицинской практике.

Ключевые слова: носимая электроника, умные часы, фотоплетизмография

1. Введение

Носимые устройства – это электронные гаджеты потребительского класса с измерительными датчиками, позволяющими в реальном времени оценивать физиологические параметры и передавать их по беспроводной связи на мобильные устройства. Носимые устройства могут быть встроены в одежду, импланты, однако наш обзор посвящен наиболее широко распространенным типам носимых устройств, реализованных в виде аксессуаров (часов, браслета или кольца). С точки зрения обсуждаемых вопросов, эти устройства не имеют принципиальной разницы, далее для общности мы называем их smart-часами. Изначально smart-часы воспринимались как гаджеты для коррекции образа жизни, в последние годы они значительно эволюционировали и постепенно превращаются в приборы для мониторинга состояния здоровья [1]. Именно возможности использования smart-часов в качестве прибора медицинского назначения и посвящен данный обзор.

Согласно европейским и американским исследованиям, порядка 80% взрослых сегодня готовы поделиться данными, получаемыми при помощи smart-часов со своим врачом [2]. Интеграция этих гаджетов в электронные медицинские карты уже происходит в Европе, США и Канаде [3], на законодательном уровне она закреплена в Германии.

Большинство современных smart-часов имеют схожую архитектуру: они снабжены системой датчиков, предобработка сигналов с которых производится самим носимым устройством, модифицированные данные передаются на смартфон. Smart-часы оце-

нивают тип, объем и интенсивность физической активности, измеряют фотоплетизмограмму (ФПГ) на разных длинах волн, электрокардиограмму (ЭКГ). Наиболее ожидаемыми функциями smart-часов являются возможности мониторинга артериального давления (АД) [4] и биохимических параметров.

Производители постоянно расширяют медицинские функции smart-часов, стирая грань между потребительским гаджетом и инструментом контроля здоровья. Однако внедрение таких функций требует сложной сертификации устройства как медицинского прибора. Получение разрешения – трудоемкий процесс, который задерживает внедрение новых опций. Например, функция измерения ЭКГ компанией Apple изначально была доступна только в США. Несмотря на то, что охват стран постепенно увеличивается, пользователи ряда стран и сегодня остаются без доступа к этой опции. Чтобы обойти препятствия, связанные с медицинской сертификацией, производители рекламируют свои устройства всего лишь как гаджеты для контроля самочувствия, что не позволяет внедрить smart-часы в медицинскую практику.

Ключевые функции мониторинга здоровья включают отслеживание типа и интенсивности физической активности (например, шаги, подъем по лестнице, бег, велосипед, плавание), сердечного ритма, изменения положения тела, насыщения крови кислородом (SpO_2).

Физическая активность снижает риск как неблагоприятных исходов сердечно-сосудистых заболеваний (ССЗ), так и смертности от всех причин, и рекомендована для укрепления сердечно-сосудистой, нервной и дыхательной систем [5]. Традиционно уровень активности оценивается субъективно, этот подход ограничен отсутствием детализации, предвзятостью в воспоминаниях и неспособностью объективно оценить уровень активности. Распространенные утверждения наподобие «Я хожу пешком пять раз в неделю по 30 минут» не отражают интенсивность нагрузки и время, проведенное в пассивном положении. Носимые устройства позволяют оценить объем и интенсивность физической активности.

Носимые технологии предоставляют данные о пациенте, что открывает возможность создания систем поддержки принятия решений на основе машинного обучения. Их внедрение способно изменить модели оказания медицинской помощи и взаимоотношений между пациентами и врачами. Это порождает новые задачи для системы здравоохранения, связанные с внедрением технологий и получаемой информации в клиническую практику. Ключевая задача для разработчиков – создавать решения, применимые врачами с учётом реальных ограничений [7].

Данная статья ориентирована прежде всего на пользователей носимых технологий и врачей. Мы намеренно избегаем описания сигналов и методов их обработки, интересных специалистам в области разработки носимых устройств. Обзор написан по принципу Umbrella review, включает в основном анализ обзорных статей, посвященных клиническим приложениям носимых устройств. Раздел 2 дает представление о ключевых технологиях измерения сигнала smart-часами, раздел 3 посвящен описанию физиологических сигналов, которые могут быть извлечены из измеряемых физических характеристик, в разделе 4 приведены примеры успешного использования smart-часов для медицинских целей.

2. Технологии измерения сигнала умными часами

Современные модели умных часов несут на борту комплект датчиков, среди них MEMS гироскопы, акселерометры, магнитометры, барометры или альтиметры, GPS модули, фотоплетизмографы, датчик ЭКГ и датчик температуры. Количество и схема

датчиков варьируются от модели к модели. На рис. 1А показана типичная схема расположения датчиков на тыльной панели часов.

2.1. Фотоплетизмограмма

Ядром абсолютного большинства «умных» часов является оптический метод фотоплетизмографии. Конкретная реализация метода (количество датчиков, длина волны, геометрическое расположение) различна для различных моделей. Рассеянное на тканях излучение от источника света регистрируется фотодиодом, сигнал с которого анализируется носимым устройством. Участок ткани, на котором рассеивается излучение, состоит из дермы, эпидермиса и гиподермального слоя, свойства этих тканей мало изменяются со временем. Важно, что этот объем ткани пронизан сосудами микроциркуляторного звена сердечно-сосудистой системы (ССС). Кровоток в диагностическом объеме пульсирует на частоте сердечных сокращений (ЧСС). Именно вклад от переменного кровотока дает переменную составляющую в ФПГ и является основой для последующего вычисления физиологических сигналов.

Свет от источника проникает тем глубже, чем больше длина волны: глубина проникновения зеленого света излучения (525 нм) порядка 1 мм, красного (660 нм) – 2-3 мм, инфракрасного (ИК) (940 нм) ~3 мм [8]. При этом глубина, с которой регистрируется сигнал, зависит от мощности светового потока и расстояния между источником и приемником света. Рассеянный на тканях свет имеет четко выраженную модуляцию на ЧСС, и мгновенный период коррелирует с основным периодом активности сердца [9]. Выбор длины волны – это компромисс между точностью и комфортом пользователя. ИК свет невидим и удобен для непрерывного мониторинга (например, во сне), но, поскольку показания снимаются с большей глубины кожи, более чувствителен к помехам движения. Поэтому в режимах активности, которые часы обнаруживают на основании показаний акселерометра, используются более устойчивые к артефактам зеленые светодиоды. Из ФПГ сигнала возможно извлечь пульсограмму. Строго говоря, пульсограмма не соответствует хорошо изученному сигналу ритма сердца [11], и вопрос анализа пульсограммы и ее клинических приложений требует детальной проработки. Тем не менее, на сегодняшний день к сигналу пульсограммы применяются подходы, развитые для сигнала ритма сердца.

2.2. Электрокардиограмма

Современные smart-часы позволяют снимать ЭКГ, аналогичную первому отведению по Эйтховену (разность потенциалов между руками) [12]. Для этого в корпусе размещены два электрода (Рис. 1А): один расположен на тыльной стороне часов, и электрический контакт с кожей запястья обеспечивается естественным потоотделением, второй – на боковой поверхности корпуса (к нему прикасается палец противоположной руки). Возможно измерение ЭКГ даже при сухих электродах. На экран выводится ЭКГ, а приложение смартфона позволяет провести анализ основного ритма ЭКГ. Отметим, что уровень шумов в smart-часах достаточно высокий, и провести детальный анализ формы ЭКГ сложно. Технически возможно измерить ЭКГ и в других отведениях [13, 14], однако такие методы не стандартизированы и носят исследовательский характер.

2.3. Сигнал ускорений

Трехосный акселерометр, измеряющий линейное ускорение в трех различных плоскостях, – основной метод мониторинга активности, при помощи гироскопа определяются угловые скорости. Комбинация результатов измерения этими датчиками дает информацию о скорости и характере перемещений объекта.

2.4. Навигация

Точную оценку физической активности обеспечивают GPS модули и барометры. Позиционирование в системе GPS ограничено геометрией спутника, блокировкой сигнала и особенностями приемника. Барометры измеряют атмосферное давление, по изменению которого можно оценить вертикальное перемещение объекта и выделить, например, перемещение объекта по лестницам.

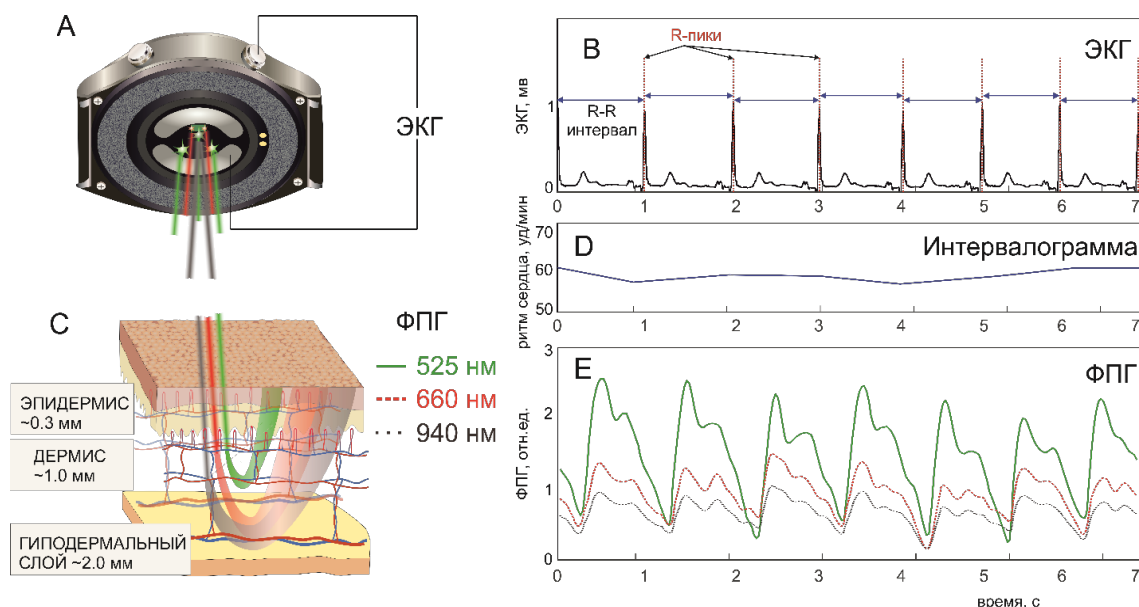


Рис. 1. Схема расположения датчиков

и демонстрация принципов измерения физических сигналов smart- часами:

- A – схема расположения датчиков на тыльной поверхности часов: красные, зеленые и инфракрасные светодиоды, датчик температуры, электроды для снятия сигнала ЭКГ;
- B – характерная ЭКГ в первом отведении, красными вертикальными линиями показаны R-пики, время между R-пиками – длительность одного кардиоцикла;
- C – схема распространения излучения от источника к приемнику;
- D – характерный вид интервалограммы,
- E – характерные фотоплетизмограммы, полученные на основе излучения трех длин волн

2.5. Специфические биохимические измерения

Перспективное направление развития технологий smart-часов – неинвазивное определение биохимических показателей (уровня глюкозы, кортизола, электролитов) носимыми устройствами. Показания таких датчиков зависят от температуры, чистоты кожи и других факторов. На сегодняшний день непрерывные мониторы глюкозы не интегрированы в smart-часы и они существуют как отдельные устройства [15], разрабатываются сенсоры для определения гидратации кожи и потери пота [16], уровня кортизола [17].

3. Физиологические характеристики, определяемые smart-часами

На основе анализа измеренных выше физических характеристик возможно вычислить сигналы, интерпретация которых представляет ценность с точки зрения физиологии.

3.1. Насыщение крови кислородом

В капиллярах, мельчайших сосудах ССС, происходит обмен кислородом между эритроцитами и окружающими тканями. На входе и выходе из капилляра эритроциты

по-разному насыщены кислородом: оксигенированные сильнее поглощают ИК-свет (940 нм), а дезоксигенированные – красный (660 нм).

В smart-часах SpO_2 обычно измеряют по отражённому свету, что менее точно, чем метод пропускания, используемый в медицинских приборах. Кольцевые носимые устройства эффективнее, так как работают на пропускании. Для конкретного индивида, для его собственных оптических свойств кожи измеряемый параметр SpO_2 достаточно стабилен, и относительные изменения SpO_2 (например, внезапное уменьшение уровня SpO_2) являются измеряемым параметром, который отражает динамику насыщения крови кислородом [18].

3.2. Вариабельность ритма сердца

Smart-часы регистрируют пульсограмму, в соответствии с которой ставится ритм сердца. Сердечный ритм генерируется синусовым узлом и постоянно варьируется. Его можно представить как последовательность интервалов RR на ЭКГ (Рис. 1С, D). Из этой последовательности smart-часы способны извлекать ряд параметров вариабельности сердечного ритма (BPC) [19]: среднюю продолжительность цикла, нормализованную низкочастотную модуляцию и симпатовагальный баланс [20]. Клиническая значимость BPC была установлена в конце 1980-х годов, когда он стал признанным независимым предиктором смертности после острого инфаркта миокарда. Современный анализ BPC основывается на статистических и спектральных методах.

3.3. Стресс

Симпатический отдел вегетативной нервной системы, активируемый в стрессовой ситуации, вызывает учащение сердцебиения и снижение BPC, что и фиксируется устройством [21, 22]. Для оценки уровня стресса используют сигналы пульса, BPC, частоты дыхания, максимального потребления кислорода и данные об избыточном потреблении кислорода после тренировки. Используя методы машинного обучения, проводят оценки уровня стресса, как правило, в баллах от 1 до 100 [23]. Сегодня появляются новые работы, в которых описаны методы оценки стресса на основе комбинации сигналов движения, BPC и неинвазивно измеренного уровня кортизола [24].

Оцениваемые физиологические параметры	Клинические приложения
Ритм сердца и его вариабельность	Фибрилляция предсердий
Изменение положения тела	Сахарный диабет
Уровень стресса	Апноэ во сне
SpO_2	Депрессия
Жесткость сосудов	Болезнь Паркинсона
Электрокардиограмма	Интенсивная терапия
Качество сна	Инфаркт миокарда
Физическая активность	Болезнь Альцгеймера
Ожидаемые функции	Эпилепсия
Биохимические параметры	
Артериальное давление	

Рис. 2. Перечень основных физиологических характеристик, измеряемых smart-часами (слева), и клинические приложения (справа)

3.4. Время распространения пульсовой волны

Сокращаясь, сердце выбрасывает из левого желудочка в аорту объем крови, который распространяется по сосудам до периферии и ощущается как пульсовой толчок или пульс. Процесс распространения этого объема крови называется пульсовой волной (ПВ). Эластичные стенки сосудов оказывают сопротивление распространяющейся ПВ, поэтому скорость ее распространения тем меньше, чем ниже жесткость стенки сосудов [25]. С возрастом или с развитием атеросклероза жесткость сосудов возрастает, таким образом этот параметр характеризует состояние артериального звена ССС. Скорость распространения ПВ косвенно можно оценить различными способами, в smart-часах реализована оценка времени прихода ПВ (в русском языке этот термин встречается редко, и мы приводим перевод распространенного в английской литературе термина pulse arrival time), которое определяется как время между R-пиком ЭКГ до минимума ФПГ на периферии. Опираясь на измеренное время распространения ПВ, smart-часы оценивают жесткость сосудистой стенки и АД [26, 27]. Результат оценки жесткости сосудистой стенки при помощи неинвазивных методик является скрининговым, тем не менее позволяющим оценить ряд важных свойств изменения механических свойств стенки сосуда.

3.5. Качество сна

Сон жизненно важен для физического, когнитивного и эмоционального здоровья, влияя на метаболизм, иммунитет и ССС. Его хронический дефицит связан с ожирением, диабетом, ССЗ и психическими расстройствами [28], а также ухудшает когнитивные функции, повышая риск травм. Мониторинг сна необходим для поддержания здоровья и диагностики нарушений. В smart-часах качество сна оценивается с помощью машинного обучения на основе данных о движении и ВРС.

3.6. Измерение артериального давления

Отечественный обзор [4] посвящен современным устройствам безманжеточного измерения АД. В настоящее время клиническим стандартом неинвазивного измерения АД является метод по Короткову. При его использовании плечевая артерия пережимается манжетой, и по возникающим ниже манжеты звукам (тонам Короткова) определяются уровни систолического и диастолического АД. Таким образом, именно манжетные методы, требующие пережатия артерии, долгое время оставались единственным неинвазивным способом измерения АД.

Измерение АД smart-часами реализуется различными способами: осциллометрическим, аппланационным, веноокклюзионной плетизмографии и фотоплетизмографическим. Устройства без манжеты, основанные на осциллографии, более удобны для амбулаторного скрининга гипертензии, самоконтроля и подбора терапии [29].

Исследования демонстрируют неоднозначную точность smart-часов при измерении АД. Так, часы Huawei Watch D соответствуют стандарту AAMI/ESH/ISO в строго определенных условиях (поза сидя, запястье на уровне сердца) и могут рассматриваться для клинического применения [30]. Однако другие устройства, например, Galaxy Watch Active 2, показывают систематические ошибки (занижают систолическое и завышают диастолическое АД), что ограничивает их медицинское использование [31]. В целом, технология требует дальнейших исследований для валидации и не готова к широкому клиническому внедрению, хотя и открывает перспективы для неинвазивного мониторинга.

3.7. Определение положения тела

При помощи акселерометров измеряются линейные ускорения, а при помощи гироскопа – угловые скорости устройства. На основе анализа полученных данных опре-

деляется интенсивность и характер физической нагрузки. С точки зрения медицинских приложений, сигнал, полученный с этих двух датчиков, полезен, например, для определения резких изменений положения тела, которые могут быть идентифицированы как падение пользователя smart-часов [3], или для записи произвольных движений, например, для идентификации тремора.

Таким образом, уже сегодня smart-часы позволяют оценить целый ряд физиологических характеристик (Рис. 2), которые играют значимую роль для скрининга ряда заболеваний или контроля состояния пациента, получающего терапию.

3.8. Биохимические характеристики

Биохимические показатели, такие как уровень глюкозы и кортизола, – также остро востребованная функция в технологии smart-часов. В настоящее время эти технологии находятся в стадии разработки. Например, оценку уровня глюкозы предлагается проводить с помощью машинного обучения на основе описанных выше физических сигналов [32], сигналов спектроскопии [33] или органических электрохимических транзисторов [34].

4. Smart-часы на службе здравоохранения

В силу того, что smart-часы способны обеспечить длительный непрерывный, хотя и достаточно грубый мониторинг, интеграция таких данных с электронными медицинскими картами способна улучшить профилактику, диагностику и лечение хронических болезней [35]. Успех такой интеграции зависит от мнения врачей о потенциальном повышении качества помощи и решения проблемы работы с большими данными.

Сегодня smart-часы выполняют три основные функции в здравоохранении: мониторинг состояния, стимулирование здорового поведения и прогнозирование рисков [36].

Мониторинг осуществляется за счет удалённого сбора данных в реальном времени, способствуя персонализированному лечению благодаря неинвазивности, экономичности и масштабируемости. Клинические примеры применения этой функции включают в себя обнаружение падений [37], фиксацию состояния алкогольного опьянения [38], выявление нарушений сна [39, 40, 41], мониторинг аритмии после операций [42] и контроль симптомов диабета [43, 44]. Выявленные на раннем этапе симптомы должны насторожить врача и способствовать проведению дополнительных обследований.

Функция стимулирования предполагает самостоятельный анализ пользователем данных для улучшения здоровья. Основанный на поведенческой психологии, этот подход формирует полезные привычки, перекладывая часть ответственности на пациента и снижая нагрузку на систему здравоохранения. Эффективность напрямую зависит от готовности и способности пользователя взаимодействовать с технологией. Производители встраивают в smart-часы игровые элементы (например, анимированные награды за достижение целей), мотивируя пользователей к активности и соблюдению режима. Smart-часы служат эффективным образовательным инструментом, обеспечивая непрерывную персонализированную поддержку, что особенно ценно для борьбы с гипертонией и ожирением. Показано, что использование smart-часов увеличивает ежедневную активность [45] и улучшает показатели за счёт самоконтроля и изменения поведения [46].

Smart-часы помогают ставить личные цели и отслеживать прогресс, вовлекая пользователей в активное управление здоровьем. Это формирует чувство ответственности и закрепляет здоровые привычки. Однако существует разрыв между типичными поль-

зователями smart-часов (чаще всего – молодые и образованные люди 18–50 лет) и теми, кому они принесли бы наибольшую пользу, – пожилыми людьми, подверженными более высоким рискам для здоровья [47].

Функция прогнозирования использует агрегированные данные множества пользователей для машинного обучения с целью предсказания состояния здоровья. Это перспективное направление, так как smart-часы впервые обеспечивают сбор непрерывных данных как у здоровых людей, так и у пациентов, что ранее было невозможно. Однако его развитие сопряжено с серьёзными вызовами в области конфиденциальности данных и этики. Широкому внедрению мешают проблемы достоверности и безопасности данных [35, 36], а также их конфиденциальности [48].

4.1. Прогнозирование рисков сердечно-сосудистых заболеваний

Традиционная пятилетняя глобальная оценка риска ССЗ не отражает динамических изменений, связанных с образом жизни, учёт этих субъективных факторов – достаточно сложная задача. Данные smart-часов предоставляют новую возможность для создания более точной, комплексной и динамичной, персонализированной оценки риска на протяжении всей жизни.

Для прогнозирования риска ССЗ могут использоваться параметры ЧСС: высокая ЧСС покоя связана с повышенным риском ишемической болезни и общей смертности [49], а также с неблагоприятными исходами при сердечной недостаточности [50]. Нарушение восстановления ЧСС после нагрузки и снижение вариабельности сердечного ритма (ВСР) также коррелируют с увеличением риска ССЗ [51].

Обзор дополнительных диагностических применений носимых устройств (при психоневрологических, метаболических заболеваниях и нарушениях сна) представлен в работе [43]. Современные исследования направлены на совмещение данных, получаемых с гаджетов, с клиническими симптомами [52]. Яркий пример агрегированного использования данных – управление ресурсами во время пандемии COVID-19, но эта тема остаётся за рамками данного обзора.

Одним из наиболее доступных ССЗ для выявления smart-часами является фибрилляция предсердий (ФП). ФП – это хаотичное и нерегулярное сокращение предсердий, являющееся самой распространённой аритмией и серьёзным фактором риска инсульта. Золотым стандартом её диагностики остаётся ЭКГ. Современные smart-часы по точности обнаружения ФП сопоставимы с холтеровским мониторингом и ЭКГ в 12 отведениях [53]. Показано, что точность определения нарушений ритма сердца с помощью smart-часов превышает 97% [54], и для пациентов из группы риска непрерывный мониторинг в сочетании с коррекцией образа жизни может быть особенно эффективной стратегией [55].

Крупнейшее исследование Apple Heart Study с участием ~500 тыс. человек показало, что алгоритм на основе Apple Watch может выявлять ФП у лиц без предшествующего диагноза. При обнаружении нерегулярного пульса и его подтверждении в четырёх последующих измерениях, участник получал уведомление о нерегулярном пульсе. Положительное прогностическое значение обнаружения ФП составило >70% [56]. Алгоритм глубокого машинного обучения на основе данных Apple Watch показал более точный прогноз ФП по сравнению с золотым стандартом ЭКГ в 12 отведениях [58]. При исследованиях Huawei Band 2 PRO было показано прогностическое значение обнаружения ФП в 99,6% [58].

Современная кардиология ставит задачу повысить осведомлённость населения о рисках ССЗ для их раннего выявления и профилактики. Пациенты с ФП часто плохо понимают её симптомы и последствия, что ухудшает прогноз. Традиционный метод

скрининга – холтеровское мониторирование – ограничен по длительности. Новые носимые технологии (smart-часы) демонстрируют высокую эффективность в выявлении ФП. Тем не менее, интерпретация данных осложнена различиями в технологиях и алгоритмах разных производителей, а информации об их клинической эффективности всё ещё недостаточно.

4.2. Антиаритмическая терапия

Для подавления рецидивов аритмии в первые три месяца после операции рекомендована антиаритмическая терапия. При сочетанной патологии, например, после радиочастотной абляции, чёткие схемы отсутствуют, а продолжительность лечения может составлять от 6 до 12 месяцев и более. Сроки определяются индивидуально, с учётом сопутствующих заболеваний и побочных эффектов. На сегодняшний день нет убедительных данных о пользе или рисках продолжения терапии после стандартного «слепого периода».

Удаленный мониторинг демонстрирует клиническую и экономическую эффективность, повышая удовлетворённость пациентов. В исследованиях использовались устройства вроде CardioQVARK для скрининга ФП у пациентов с высоким риском ССЗ и сердечной недостаточностью [59, 60]. Некоторые модели smart-часов получили разрешение FDA и CE как медицинские устройства. Пионером стали Apple Watch (2018), способные записывать 30-секундную ЭКГ и обнаруживать ФП. Позже были одобрены Withings ScanWatch (2021) и система Samsung для выявления ФП и апноэ сна с помощью ЭКГ и машинного обучения. Согласно обзору [61], Samsung демонстрирует наивысшую точность, за ним следуют Amazfit, Apple Watch и Withings, причём все модели имеют чувствительность выше 90%. Устройства на основе ФПГ и ЭКГ показывают сопоставимую точность. Несмотря на высокие результаты других брендов, Apple Watch остаются наиболее изученным устройством благодаря большому массиву клинических данных.

Таким образом, технология smart-часов обладает значительными перспективами для мониторинга состояния пациентов и предсказания развития различных заболеваний. Тем не менее, эта технология сталкивается с рядом ограничений.

4.3. Практические и пользовательские барьеры

Smart-часы могут быть неудобны для пожилых людей и лиц с низкой цифровой грамотностью, а ложные тревоги вызывают стресс и ненужные обращения к врачам. Огромный поток данных увеличивает нагрузку на систему здравоохранения, а зависимость от смартфона создает риски для сохранности информации. Кроме того, постоянный мониторинг биометрических показателей может негативно влиять на психическое состояние, повышая тревожность [62]. При самостоятельном использовании (без контроля врача) существует риск неверной интерпретации данных, что может привести к вредным для здоровья решениям [63].

Таким образом, для интеграции необходимо решить вопросы удобства, безопасности данных, уменьшения негативного психологического воздействия и обеспечить профессиональную поддержку пользователей.

5. Заключение

Smart-часы обеспечивают непрерывный длительный сбор данных о пациенте, а современные методы математического анализа и машинного обучения позволяют определить клинически значимые параметры. Это повышает эффективность персонализи-

рованной помощи. Они вовлекают пользователей в управление здоровьем и дают дополнительные возможности персоналу, осуществляющему уход за пациентом. Как доступный инструмент часы расширяют возможности мониторинга за пределами клиники, помогая врачам предупреждать проблемы и своевременно реагировать на их возникновение, снижая уязвимость пациентов. Носимые устройства расширяют доступ к медицинской помощи, особенно для удалённых и маломобильных пациентов, потенциально сокращая число очных визитов и оптимизируя расходы. С другой стороны, огромный объем данных, генерируемых smart-часами, может создать дополнительную нагрузку на врача. Использование гаджетов для мониторинга хронических заболеваний может быть экономически эффективным, снижая затраты на лечение, однако требует тщательной оценки в конкретных условиях. Использование больших данных, собранных smart-часами, с одной стороны, предоставляет возможность создания систем диагностики методами искусственного интеллекта, с другой, создает серьезные этические проблемы практического использования [65].

В 2022 году лидером рынка носимых устройств были Apple Watch, за ними следовали Garmin Forerunner/Venu, Fitbit Sense, Samsung Galaxy Watches и Oura ring [66]. В свежем обзоре [67] для выбора устройств кардиомониторинга были предложены пять критериев: непрерывность мониторинга, доступность, точность, практичность и стоимость. Из 216 устройств 136 поддерживали непрерывный мониторинг. После многоэтапного отбора наиболее подходящими для оценки сердечно-сосудистой функции были признаны: Apple Watch Series 9, Fitbit Charge 6, Garmin vívosmart 5 и Oura Ring Gen3. В работе [67] представлена сводная таблица функций мониторинга и статуса одобрения FDA.

Несмотря на сложности внедрения, новые модели smart-часов демонстрируют рост точности и производительности диагностики. Усовершенствование программного обеспечения способно повысить надёжность и согласованность работы в различных областях медицины.

Библиографический список

1. *Dunn J., Runge R., Snyder M.* Wearables and the medical revolution // *Per Med.* – 2018. – Vol. 15, № 5. – P. 429–448. DOI: 10.2217/pme-2018-0044.
2. *Rising C. J. et al.* Willingness to share data from wearable health and activity trackers: analysis of the 2019 health information national trends survey data // *JMIR mHealth and uHealth.* – 2021. – Vol. 9. – № 12. – С. e29190. DOI: 10.2196/29190
3. *Dinh-Le C., Chuang R., Chokshi S., Mann D.* Wearable health technology and electronic health record integration: scoping review and future directions // *JMIR mHealth and uHealth.* – 2019. – Vol. 7, № 9. – P. e12861. DOI: 10.2196/12861
4. *Федорович А.А., Ососков В.С., Королев А.И., Васильев О.С., Дранкина О.М.* Безманжеточные методы измерения артериального давления. Обзор современных технологий // *Russian Journal of Preventive Medicine.* – 2024. – Т. 27. – № 12, стр. 156-165. DOI: 10.17116/profmed202427121156
5. *American Heart Association.* Life's Simple 7. URL: <https://www.heart.org/en/professional/workplace-health/lifes-simple-7> (дата обращения: 18.12.2025).
6. *Brew B., Faux S., Blanchard E.* Effectiveness of a smartwatch app in detecting induced falls: observational study // *JMIR formative research.* – 2022. – Vol. 6, № 3. – P. e30121. DOI: 10.2196/30121
7. *Lewy H.* Wearable technologies-future challenges for implementation in healthcare services // *Healthcare Technology Letters.* – 2015. – Vol. 2, № 1. – P. 2-5. DOI: 10.1049/hlt.2014.0104.
8. *Han S. et al.* Design of multi-wavelength optical sensor module for depth-dependent photoplethysmography // *Sensors.* – 2019. – Vol. 19, № 24. – P. 5441. DOI: 10.3390/s19245441.
9. *Volkov M. V. et al.* Video capillaroscopy clarifies mechanism of the photoplethysmographic waveform appearance // *Scientific reports.* – 2017. – Vol. 7, № 1. – P. 13298. DOI: 10.1038/s41598-017-13552-4

10. Кирилин М.Ю., Куракина Д.А., Перекатова В.В. и др. Монте-Карло моделирование сигналов фотоплетизмографии и пульсоксиметрии для разработки носимых устройств. – 2025, Оптика и спектроскопия, 2025, том 133, вып.12, стр 1310-1320, DOI: 10.61011/OS.2025.12.62506.46-25.
11. Kantrowitz AB, Ben-David K, Morris M, Wittels HL, Wishon MJ, McDonald SM, Renaghan EJ, Feigenbaum LA, Wittels SH. Pulse rate variability is not the same as heart rate variability: findings from a large, diverse clinical population study. *Front Physiol.* 2025;16:1630032. DOI: 10.3389/fphys.2025.1630032.
12. Abdou A., Krishnan S. Horizons in single-lead ECG analysis from devices to data // *Frontiers in Signal Processing.* – 2022. – Vol. 2. – P. 866047. DOI: 10.3389/frsip.2022.866047
13. Samol A., Bischof K., Luani B. et al. Recording of bipolar multichannel ECGs by a smartwatch: Modern ECG diagnostic 100 years after Einthoven // *Sensors.* – 2019. – Vol. 19, № 13. – P. 2894. DOI: 10.3390/s19132894
14. Samol A., Bischof K., Luani B. et al. Single-lead ECG recordings including Einthoven and Wilson leads by a smartwatch: A new era of patient directed early ECG differential diagnosis of cardiac diseases? // *Sensors.* – 2019. – Vol. 19, № 20. – P. 4377. DOI: 10.3390/s19204377
15. Bailey T. S. Clinical implications of accuracy measurements of continuous glucose sensors // *Diabetes Technol. Ther.* – 2017. – Vol. 19 (Suppl. 2). – P. S51–S54. DOI: 10.1089/dia.2017.0050
16. Volkova E., Perchik A., Pavlov K. et al. Multispectral sensor fusion in SmartWatch for in situ continuous monitoring of human skin hydration and body sweat loss // *Sci Rep.* – 2023. – Vol. 13. – P. 13371. DOI: 10.1038/s41598-023-40339-7.
17. Morales A., Barbosa M., Morás L. et al. Occupational Stress Monitoring Using Biomarkers and Smartwatches: A Systematic Review // *Sensors.* – 2022. – Vol. 22 – № 17. – P. 6633. DOI: 10.3390/s22176633.
18. Toru Erbay Ü., Parspur Ş.E., Arikan İ. et al. Are smart watches really smart? Comparison of blood oxygen saturation values measured by smart watch, pulse oximetry and arterial blood gases in patients with chronic obstructive pulmonary diseases // *Int J Chron Obstruct Pulmon Dis.* – 2025. – Vol. 20. – P. 1457–1463. DOI: 10.2147/COPD.S500643.
19. *Electrophysiology T. F. E. S. C. N. A. S. P.* Heart rate variability: standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use // *Circulation.* – 1996. – Vol. 93. – № 5. – P. 1043-1065.
20. Fauzi M. A., Yang B., Blobel B. Comparative Analysis between Individual, Centralized, and Federated Learning for Smartwatch Based Stress Detection // *Journal of Personalized Medicine.* – 2022. – Vol. 12, № 10. – P. 1584. DOI: 10.3390/jpm12101584.
21. *Camm A. J. et al.* Heart rate variability: standards of measurement, physiological interpretation and clinical use. Task force of the European society of cardiology and the north American society of pacing and electrophysiology // *Circulation.* – 1996. – Vol. 93, № 5. – P. 1043–1065.
22. Chalmers J. A. et al. Anxiety disorders are associated with reduced heart rate variability: a meta-analysis // *Front Psychiatry.* – 2014. – Vol. 5. – P. 80. DOI: 10.3389/fpsyt.2014.00080
23. Kapogianni N. A., Sideraki A., Anagnostopoulos C. N. Using Smartwatches in Stress Management, Mental Health, and Well-Being: A Systematic Review // *Algorithms.* – 2025. – Vol. 18, № 7. – P. 419. DOI: 10.3390/a18070419
24. Ding Y. et al. Integrated mental stress smartwatch based on sweat cortisol and HRV sensors // *Biosensors and Bioelectronics.* – 2024. – Vol. 265. – P. 116691. DOI: 10.1016/j.bios.2024.116691
25. Hellqvist H. et al. Estimation of aortic stiffness by finger photoplethysmography using enhanced pulse wave analysis and machine learning // *Frontiers in Cardiovascular Medicine.* – 2024. – Vol. 11. – P. 1350726. DOI: 10.3389/fcvm.2024.1350726
26. Chen W., Kobayashi T., Ichikawa S. et al. Continuous estimation of systolic blood pressure using the pulse arrival time and intermittent calibration // *Med. Biol. Eng. Comput.* – 2000. – Vol. 38. – P. 569–574. DOI: 10.1007/BF02345755.
27. Finnegan E., Davidson S., Harford M. et al. Pulse arrival time as a surrogate of blood pressure // *Scientific Reports.* – 2021. – Vol. 11. – P. 20694. DOI: 10.1038/s41598-021-01358-4.
28. Luyster F. S., Strollo P. J., Zee P. C., Walsh J. K. Sleep: A health imperative // *Sleep.* – 2012. – Vol. 35, № 6. – P. 727–734.
29. Kuwabara M., Harada K., Hishiki Y., Kario K. Validation of two watch-type wearable blood pressure monitors according to the ANSI/AAMI/ISO81060-2:2013 guidelines: Omron HEM-6410T-ZM and HEM-6410T-ZL // *J. Clin. Hypertens.* – 2019. – Vol. 21, №6. – P. 853–858. DOI: 10.1111/jch.13499.

30. Lee W. L., Danaee M., Abdullah A., Wong L. P. Is the blood pressure-enabled smartwatch ready to drive precision medicine? Supporting findings from a validation study // *Cardiol Res.* – 2023. – Vol. 14, № 6. – P. 437–445. DOI: 10.14740/cr1569.
31. Falter M., Scherrenberg M., Driesen K. et al. Smartwatch-Based Blood Pressure Measurement Demonstrates Insufficient Accuracy // *Frontiers in Cardiovascular Medicine.* – 2022. – Vol. 9. – P. 958212. DOI: 10.3389/fcvm.2022.958212.
32. Lehmann V. et al. Noninvasive hypoglycemia detection in people with diabetes using smartwatch data // *Diabetes Care.* – 2023. – Vol. 46. – № 5. – C. 993-997.
33. Nakazawa T. et al. Non-invasive blood glucose estimation method based on the phase delay between oxy-and deoxyhemoglobin using visible and near-infrared spectroscopy // *Journal of Biomedical Optics.* – 2024. – Vol. 29. – № 3. – C. 037001-037001.
34. Lu Z. et al. Biomolecule sensors based on organic electrochemical transistors // *npj Flexible Electronics.* – 2025. – Vol. 9. – № 1. – C. 9.
35. Fuller D., Colwell E., Low J. et al. Reliability and validity of commercially available wearable devices for measuring steps, energy expenditure, and heart rate: systematic review // *JMIR Mhealth Uhealth.* – 2020. – Vol. 8, № 9. – P. e18694. DOI: 10.2196/18694.
36. Köhler C., Bartschke A., Fürstenau D. et al. The value of smartwatches in the health care sector for monitoring, nudging, and predicting: viewpoint on 25 years of research // *J Med Internet Res.* – 2024. – Vol. 26. – P. e58936. DOI: 10.2196/58936.
37. Mauldin T. R. et al. SmartFall: A smartwatch-based fall detection system using deep learning // *Sensors.* – 2018. – Vol. 18. – № 10. – C. 3363.36
38. McAfee A. et al. AlcoWear: Detecting blood alcohol levels from wearables // 2017 IEEE SmartWorld, Ubiquitous Intelligence & Computing, Advanced & Trusted Computed, Scalable Computing & Communications, Cloud & Big Data Computing, Internet of People and Smart City Innovation. – IEEE, 2017. – P. 1-8.
39. Chen X., Xiao Y., Tang Y. et al. ApneaDetector: Detecting Sleep Apnea with Smartwatches // *Proc. ACM Interact. Mob. Wearable Ubiquitous Technol.* – 2021. – Vol. 5, № 2. – Art. no. 66. DOI: 10.1145/3463514.
40. Chen Y., Wang W., Guo Y. et al. A single-center validation of the accuracy of a photoplethysmography-based smartwatch for screening obstructive sleep apnea // *Nat Sci Sleep.* – 2021. – Vol. 13. – P. 1533–1544. DOI: 10.2147/NSS.S323286.
41. Mehrbadi M. A., Azimi I., Sarhaddi F. et al. Sleep tracking of a commercially available smart ring and smartwatch against medical-grade actigraphy in everyday settings: Instrument validation study // *JMIR MHealth UHealth.* – 2020. – Vol. 8, № 11. – P. e20465. DOI: 10.2196/20465.
42. Fan J. et al. Smartwatch-detected arrhythmias in patients after transcatheter aortic valve replacement (TAVR): analysis of the SMART TAVR trial // *Journal of Medical Internet Research.* – 2024. – T. 26. – C. e41843.
43. Chakrabarti S., Biswas N., Jones L. D., Ashili S. Role of smartwatches in diabetes patient care // *Arch Diab Obes.* – 2022. – Vol. 4, № 2. – P. 431–432. DOI: 10.32474/ADO.2022.04.000185.
44. Diez Alvarez S. et al. The role of smartwatch technology in the provision of care for type 1 or 2 diabetes mellitus or gestational diabetes: systematic review // *JMIR mHealth and uHealth.* – 2024. – Vol. 12. – C. e54826. DOI: 10.2196/54826
45. Ferguson T., Olds T., Curtis R. et al. Effectiveness of wearable activity trackers to increase physical activity and improve health: a systematic review of systematic reviews and meta-analyses // *Lancet Digit Health.* – 2022. – Vol. 4. 8. – P. e615–e626. DOI: 10.1016/s2589-7500(22)00111-x.
46. Yen H.-Y., Huang W.-H. The efficacy of commercial smartwatches with a blood pressure-monitoring feature: A pilot randomized controlled trial // *J Nurs Scholarship.* – 2022. – Vol. 54, № 3. – P. 324–331. DOI: 10.1111/jnu.12740.
47. Chandrasekaran R., Kathula V., Moustakas E. Patterns of use and key predictors for the use of wearable health care devices by US adults: insights from a national survey // *J Med Internet Res.* – 2020. – Vol. 22, № 10. – P. e22443. DOI: 10.2196/22443.
48. Ching K. W., Singh M. M. Wearable technology devices security and privacy vulnerability analysis // *Int J Netw Secur Appl.* – 2016. – Vol. 8, № 3. – P. 19–30. DOI: 10.5121/ijnsa.2016.8302.
49. Zhang D., Wang W., Li F. Association between resting heart rate and coronary artery disease, stroke, sudden death and noncardiovascular diseases: a meta-analysis // *Can. Med. Assoc. J.* – 2016. – Vol. 188, № 15. – P. E384–E392. DOI: 10.1503/cmaj.160050

50. Fox K. *et al.* Heart rate as a prognostic risk factor in patients with coronary artery disease and left-ventricular systolic dysfunction (BEAUTIFUL): a subgroup analysis of a randomised controlled trial // *Lancet*. – 2008. – Vol. 372, № 9641. – P. 817–821. DOI: 10.1016/S0140-6736(08)61171-X
51. Singh N. *et al.* Heart rate variability: an old metric with new meaning in the era of using mHealth technologies for Health and Exercise Training Guidance. Part Two: Prognosis and Training // *Arrhythmia Electrophysiol. Rev.* – 2018. – Vol. 7, № 4. – P. 247–255. DOI: 10.15420/aer.2018.30.2
52. Abbasi J. Using Smartwatch Data to Detect COVID-19 Cases Early // *JAMA*. – 2020. – Vol. 324, № 22. – P. 2245. DOI: 10.1001/jama.2020.23696.
53. Elbey M. A. *et al.* Diagnostic Utility of Smartwatch Technology for Atrial Fibrillation Detection—A Systematic Analysis // *Journal of Atrial Fibrillation*. – 2021. – Vol. 13. – № 6. – С. 20200446.
54. Moshawrab M., Adda M., Bouzouane A. *et al.* Smart wearables for the detection of cardiovascular diseases: a systematic literature review // *Sensors*. – 2023. – Vol. 23, № 2. – P. 828. DOI: 10.3390/S23020828.
55. Mizuno A., Changolkar S., Patel M. S. Wearable devices to monitor and reduce the risk of cardiovascular disease: evidence and opportunities // *Annu Rev Med.* – 2021. – Vol. 72. – P. 459–471. DOI: 10.1146/annurev-med-050919-031534
56. Perez M. V. *et al.* Large-scale assessment of a smartwatch to identify atrial fibrillation // *N. Engl. J. Med.* – 2019. – Vol. 381, № 20. – P. 1909–1917. DOI: 10.1056/NEJMoa1901183
57. Tison G. H. *et al.* Passive detection of atrial fibrillation using a commercially available smartwatch // *JAMA Cardiol.* – 2018. – Vol. 3, № 5. – P. 409–416. DOI: 10.1001/jamacardio.2018.0136
58. Fan Y. Y. *et al.* Diagnostic performance of a smart device with photoplethysmography technology for atrial fibrillation detection: pilot study (Pre-mAFA II registry) // *JMIR Mhealth Uhealth*. – 2019. – Vol. 7, № 6. – P. e11437. DOI: 10.2196/11437
59. Гома Т. В. Телеметрический контроль электрокадиограммы у пациента после радиочастотной абляции персестердирующей фибрилляции предсердий в сочетании с операцией коронарного шунтирования // *Байкальский медицинский журнал*. – 2025. – Vol. 4, № 1. – С. 18-28. DOI: 10.57256/2949-0715-2025-4-1-18-28
60. Nazarian S. *et al.* Diagnostic accuracy of smartwatches for the detection of cardiac arrhythmia: systematic review and meta-analysis // *Journal of medical Internet research*. – 2021. – Vol. 23, № 8. – P. e28974. DOI: 10.2196/28974
61. Barrera N. *et al.* Accuracy of Smartwatches in the Detection of Atrial Fibrillation: A Systematic Review and Diagnostic Meta-Analysis // *JACC: Advances*. – 2025. – Vol. 4, № 4. – P. 102133. DOI: 10.1016/j.jacadv.2025.102133
62. Rosman L., Gehi A., Lampert R. When smartwatches contribute to health anxiety in patients with atrial fibrillation // *Cardiovasc Digit Health J.* – 2020. – Vol. 1, № 1. – P. 9–10. DOI: 10.1016/j.cvdhj.2020.06.004.
63. Mattison G. *et al.* A step in the right direction: the potential role of smartwatches in supporting chronic disease prevention in health care // *Med J Aust.* – 2023. – Vol. 218, № 9. – P. 391–393. DOI: 10.5694/mja2.51920
64. Miller D. J., Sargent C., Roach G. D. A Validation of Six Wearable Devices for Estimating Sleep, Heart Rate and Heart Rate Variability in Healthy Adults // *Sensors*. – 2022. – Vol. 22, № 16. – P. 6317. DOI: 10.3390/s22166317.
65. Асеева И. А. Искусственный интеллект и большие данные: этические проблемы практического использования. (аналитический обзор) // *Социальные и гуманитарные науки. Отечественная и зарубежная литература. Сер. 8, Науковедение: Реферативный журнал*. – 2022. – № 2. – С. 89-98.
66. Lu J. K., Wang W., Goh J., Maier A. B. Selecting wearable devices to measure cardiovascular functions in community-dwelling adults: application of a practical guide for device selection // *Mayo Clin Proc Digit Health*. – 2025. – Vol. 3, № 2. – P. 100202. DOI: 10.1016/j.mcpdig.2025.100202.
67. Bayoumy K., Gaber M., Elshafeey A. *et al.* Smart wearable devices in cardiovascular care: where we are and how to move forward // *Nat Rev Cardiol*. – 2021. – Vol. 18. – P. 581–599. DOI: 10.1038/s41569-021-00522-7.

Благодарности:

Авторы благодарят рецензентов статьи, чьи замечания помогли существенно улучшить качество обзора.

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема: 124012300246-9).

Для цитирования:

Мизева И.А., Кулеш А.А. Smart-часы для медицины. Обзор // Вестник Пермского федерального исследовательского центра. – 2026. – № 1. – С. 5–18. <https://doi.org/10.7242/2658-705X/2026.1.1>

Сведения об авторах:

Мизева Ирина Андреевна, доктор физико-математических наук, старший научный сотрудник лаборатории турбулентности, Институт механики сплошных сред УрО РАН – филиал Пермского федерального исследовательского центра УрО РАН («ИМСС УрО РАН»), 614013, г. Пермь, ул. Академика Королёва, д. 1; e-mail: mizeva@icmm.ru, ORCID: 0000-0002-0645-4850

Кулеш Алексей Александрович, доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой интегративной медицины, Пермский государственный медицинский университет имени академика Е. А. Вагнера («ПГМУ»), 614000, г. Пермь, ул. Петропавловская, д. 26; e-mail: aleksey.kulesh@gmail.com, ORCID: 0000-0001-6061-8118

SMART-WATCHES FOR MEDICINE. REVIEW

Mizeva I.A.¹, Kulesh A.A.²

¹*Institute of Continuous Media Mechanics UB RAS, Perm*

²*Perm state medical university, Perm*

Modern wearable devices have evolved from simple pedometers to complex multi-sensor systems providing continuous and non-invasive monitoring of a wide range of physiological parameters. This transition is transforming consumer gadgets into tools for preventive medicine and biomedical research. This analytical review focuses on the physical principles underlying the recording of physiological parameters and their potential application for health monitoring. The key technology of the smart-watches is the method of optical photoplethysmography which allows for the recording the modulation of reflected scattered light flux by pulsating blood flow. Smart-watch functionality, recently expanded to include electrocardiogram measurements, offers additional opportunities for medical application of these gadgets. The most anticipated features include arterial blood pressure and biochemical monitoring via smart-watches. The second part of the review provides a detailed analysis of the physiological characteristics that can be derived from the physical signals recorded by smart-watches. The third part outlines medical applications, and the forth describes the diagnostic value of the recorded physiological parameters, as well as the possibility of potential using of the obtained data in medical practice.

Keywords: *wearable electronics, smart watches, photoplethysmography*

Поступила в редакцию: 19.12.2025

Принята к публикации: 03.04.2026

НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЕ МАСШТАБНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ДВИЖЕНИЯ ВОЗДУХА В НАКЛОННОЙ ГОРНОЙ ВЫРАБОТКЕ С ИСТОЧНИКОМ ВЫДЕЛЕНИЯ ТЕПЛА

Шалимов А.В., Горный институт УрО РАН, Пермь

Жихарев С.Я., Горный институт УрО РАН, Пермь

Семи́н М.А., Горный институт УрО РАН, Пермь

Кузьминых Е.Г., Горный институт УрО РАН, Пермь

Проведен анализ возможностей масштабного моделирования нисходящего движения воздуха в наклонных выработках с источником выделения тепла в параметрической области неустойчивости воздушного потока. Установлено, что точно соблюсти подобие модели реальности в этой области можно только в рамках правил масштабирования Фруда с одинаковой температурой воздуха, которая в очаге пожара достигает 1500 К и более. Поскольку реализация такого нагрева воздуха в лабораторных условиях проблематична, предпринята попытка получения приближённых низкотемпературных масштабных соотношений на основании оценочных расчётов, ориентированных на желаемое снижение температуры в 3 раза при уменьшении геометрических размеров в 10 раз. Полученные зависимости верифицированы путём численного моделирования эффекта тепловой пробки в программном комплексе SolidWorks, а также на лабораторном имитационном стенде. Относительная погрешность определения точки опрокидывания воздушного потока тепловой депрессией в модельных и реальных масштабах составила 2%. Оба способа моделирования эффекта теплового запираания воздушного потока показали одинаковый динамический сценарий изменения направления его движения путём потери устойчивости, при котором опрокидывание потока происходит постепенно, с образованием крупномасштабных конвективных вихрей и разнонаправленной вертикальной стратификации скорости по сечению.

Ключевые слова: рудничные пожары, тепловая депрессия, устойчивость движения воздуха, адиабатические и изотермические границы, интенсивность тепловыделения, тепловая пробка, имитационный стенд, правила масштабирования

Введение

Рудничные пожары являются одним из наиболее распространённых и опасных видов аварий на горнодобывающих предприятиях, представляя непосредственную угрозу жизни горнорабочих. Основную опасность представляют собой вредные для дыхания продукты горения, которые распространяются от очага горения по горным выработкам по ходу движения воздуха [1-3]. Соответственно, вывод людей на поверхность в целях безопасности должен быть организован в противоположном направлении, чтобы исключить их проход через задымлённые участки [4, 5]. Имеет значение также скорость воздушных потоков, т.к. даже при выходе людей в правильном направлении непригодный для дыхания воздух может настигнуть их до того, как они выйдут на поверхность. В этой связи точный прогноз пожарного воздухораспределения в руднике является актуальной задачей, результаты решения которой востребованы при составлении планов ликвидации аварий. К сожалению, задача эта простого решения не имеет по причине того, что возникающие во время пожара в негоризонтальных выработках тепловые де-

прессии изменяют заданное вентиляторами воздухораспределение не только по величине скоростей движения воздушных потоков, но и отчасти по их направлениям. Особенно велика эта неопределённость в нулевом режиме вентиляции, используемом при возникновении подземного пожара для предотвращения поступления свежего воздуха к его очагу, когда отключаются вентиляторы главного проветривания [6]. Теоретические методы позволяют осуществлять моделирование расходов воздуха в шахтной сети в одномерной постановке в предположении однонаправленного движения воздуха по выработке. Это условие выполняется при невысоких перепадах температур, т.е. на значительном расстоянии от очага пожара, где воздух уже достаточно остыл и не имеет ярко выраженной плотностной стратификации по высоте выработки. Однако основной причиной тепловой депрессии является именно очаг пожара, и, если он расположен в наклонной выработке, то одномерное моделирование движения воздуха для оценки величины возникающей депрессии в этом случае не соответствует реальности. Если же до нагрева воздух по наклонной выработке движется сверху вниз, то проблематичным оказывается прогноз не только изменения скорости его движения, но и направления, т.к. тепловая депрессия может передавить падение общешахтной на этом участке [7].

Для решения проблемы прогнозирования устойчивости воздушных потоков в подобных случаях наряду с широко используемыми в настоящее время методами численного моделирования [8-11] можно и нужно, для верификации теоретических прогнозов, использовать результаты лабораторного моделирования [12]. Натурные эксперименты проводятся не часто, т.к. возможности их организации для верификации численных моделей ограничены правилами безопасности [13, 14]. При моделировании полей скоростей движения и температур воздуха во время пожаров в замкнутых пространствах широко используется метод масштабирования Фруда, позволяющий экспериментальным путём в уменьшенных лабораторных размерах получить результаты, подобные полномасштабным, и на их основании осуществить прогноз параметров реального пожара [15-17]. Недостатком этого способа моделирования является необходимость обеспечения равенства температур воздуха в реальности и модели для соблюдения подобия, что сильно ограничивает возможности такого моделирования. В реальных условиях рудника температура воздуха вблизи очага пожара достигает довольно высоких значений, порядка 1200°C , особенно при опрокидывании воздушного потока тепловой депрессией, когда вынос тепла из выработки близок к нулю. Нагрев воздуха до такой температуры на лабораторном стенде технически не представляется возможным, поскольку работоспособность измерительной аппаратуры для фиксации опытных результатов ограничена значительно меньшими значениями температур, порядка 300°C . В связи с этим существует необходимость разработки способа низкотемпературного моделирования рудничного пожара, которое позволило бы осуществлять прогноз параметров воздушных потоков вблизи очага горения на основании результатов лабораторных экспериментов на стенде в уменьшенном размере при более низких температурах. В работе [18] на основе метода размерностей была предпринята попытка разработки правил подобного низкотемпературного масштабирования, которое показало хорошее соответствие температур воздуха в модели и в реальности, но значение модельной массовой скорости движения воздуха оказалось занижено в 2 раза. Кроме того, для моделирования теплового запыления и потери устойчивости воздушного потока такой способ масштабирования не годится, поскольку предполагает уменьшение перепадов давлений и температур при переходе от реальных к модельным размерам в одинаковых пропорциях. Это увеличивает погрешность моделирования при малых значениях

расходов воздуха вблизи точки теплового запираания потока и исключает возможность подобия границ устойчивости воздушных потоков в реальности и в модели.

Следует отметить, что ни с помощью анализа размерностей, ни составлением системы дифференциальных уравнений состояния воздуха в безразмерной форме не удаётся получить набор критериев подобия, обеспечивающих низкотемпературное подобие пожара в реальной горной выработке и в её уменьшенной модели с приемлемой точностью в области параметров, близкой к тепловому запираанию воздушного потока. Метод масштабирования Фруда такую точность моделирования обеспечивает, но только при условии равенства температур воздуха в реальности и в модели, что технически не реализуемо при высоких температурах. В данной статье предлагается способ решения этой проблемы не соблюдением подобия моделируемых процессов реальным с выявлением безразмерных комплексов подобия, а составлением оценочных физических соотношений с последующей численной и экспериментальной верификациями полученных масштабных зависимостей. Суть этого методического приёма моделирования заключается в том, что при невозможности строгого вывода универсальных соотношений подобия для исследуемого процесса, масштабирование производится приближённо в ограниченной интересами исследований области параметров с подбором эмпирических коэффициентов и последующей проверкой их значений.

Аналитический вывод масштабных соотношений

Анализ уравнения состояния реального газа Ван-дер-Ваальса показывает, что для воздуха в условиях рудничного пожара относительная погрешность приближения идеального газа не превышает 0.5%, поэтому в уточнении этого приближения необходимости нет. Кроме того, учитывая, что тепловые депрессии и падения общешахтной депрессии на выработках значительно ниже значения абсолютного атмосферного давления, составляющего ~ 100000 Па, процесс движения воздуха по выработке можно приближённо считать изобарическим

$$\rho T = \rho_0 T_0, \quad (1)$$

где ρ_0 , T_0 – плотность, $\text{кг}/\text{м}^3$, и температура, К, воздуха в выработке до начала выделения тепла, предполагаются постоянными по длине выработки, а также равными в реальности и модели; ρ и T – плотность, $\text{кг}/\text{м}^3$, и температура, К, воздуха в выработке после нагрева. Устойчивость движения воздуха вниз по наклонной выработке с источником выделения тепла теряется тогда, когда возникающая тепловая депрессия $\Delta P_t < 0$, Па приближается по модулю к падению общешахтной депрессии на этой выработке $\Delta P_0 > 0$, Па,

$$\Delta P_0 \sim |\Delta P_t| \sim (\rho_0 - \rho) g H, \quad (2)$$

$g = 9.8 \text{ м}/\text{с}^2$ – ускорение свободного падения, H – разница высотных отметок узлов наклонной выработки, м, ρ – характерная плотность воздуха после нагрева, $\text{кг}/\text{м}^3$.

Нагрев воздуха при движении его по выработке определяется в адиабатическом приближении, т.е. предполагается, что всё выделяющееся тепло идёт на нагрев воздуха и по ходу его движения в породный массив не уходит

$$\omega = c_p \rho V \Delta T, \quad (3)$$

ω – выделение тепла в единицу времени с единицы поверхности выработки (предполагается сосредоточенный источник тепла в центре выработки), $\text{Вт}/\text{м}^2$, c_p – удельная теплоёмкость воздуха при постоянном давлении, $\text{Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$, V – средняя по

сечению выработки скорость движения воздуха, м/с, $\Delta T = T - T_0$ – среднее по сечению выработки изменение температуры воздуха в результате его нагрева, К. Если учесть, что значительно больше выделяемого тепла при пожаре выносится из выработки, чем уходит в породный массив, то отказ от адиабатического приближения, сделанный в (3), возможно, не окажет заметного влияния на результаты (будет проверено далее численным моделированием), и полученные правила масштабирования будут выполняться и для не теплоизолированных границ. Отток тепла в породу в этом случае может быть смоделирован уменьшением интенсивности выделения тепла ω на часть, уходящую в окружающий породный массив.

Если подставить (1) в (2), опустить одинаковые в реальности и модели параметры g , ρ_0 и T_0 и учесть, что при соблюдении геометрического подобия соотношения H и поперечного размера выработки D , м, одинаковы, то получается

$$\Delta P_0 \sim |\Delta P_t| \sim D \frac{\Delta T}{T}. \quad (4)$$

Из курса гидравлики известно, что при движении жидкости по трубе длиной L , м, и диаметром D , м, падение давления ΔP_0 , Па, зависит от скорости V_0 , м/с, квадратично

$$\Delta P_0 \sim \frac{L}{D} V_0^2, \quad (5)$$

что справедливо также и для движения воздуха по выработкам со сквозным проветриванием и используется при проектировании систем рудничной вентиляции, V_0 – скорость движения воздуха по выработке до возникновения пожара, м/с. Поскольку $|\Delta P_t| \sim \Delta P_0$, и ищутся условия теплового подобия между горной выработкой и её уменьшенной модельной копией, то следует ожидать, что и суммарное падение давления ΔP , Па, с одной стороны также квадратично зависит от скорости, как в (5), с другой стороны, сумма оценивается по её слагаемым, а значит, для неё также справедливо (4)

$$|\Delta P| = |\Delta P_0 + \Delta P_t| \sim \frac{L}{D} V^2 \sim D \frac{\Delta T}{T}, \quad (6)$$

L – длина выработки, м. Соотношение L/D можно опустить, т.к. при соблюдении геометрического подобия оно постоянно. Теперь, если из (6) выразить V , а из (1) выразить ρ , через $\Delta T/T$, и подставить в (3), то ω принимает аналогичный (4) вид

$$\omega \sim \sqrt{D} \left(\frac{\Delta T}{T} \right)^{3/2}. \quad (7)$$

По виду (4) и (7) можно заключить, что безразмерным параметром, определяющим тепловое подобие вблизи точки опрокидывания воздушного потока тепловой депрессией, является отношение $\Delta T/T$. Для получения искомым правил масштабирования необходимо выяснить, как этот параметр зависит от характерного геометрического размера D . В качестве искомой можно использовать степенную зависимость:

$$\frac{\Delta T_r}{T_r} \Big/ \frac{\Delta T_m}{T_m} = \frac{1 - T_0/T_r}{1 - T_0/T_m} = \left(\frac{D_r}{D_m} \right)^n, \quad (8)$$

здесь T_r , D_r и T_m , D_m – температуры воздуха, К, и поперечные размеры, м, горной выработки (индекс r) и её модели (индекс m) соответственно, n – подлежащий определению безразмерный степенной параметр масштабирования. Не сложно убедиться, что при $n=0$ (4) и (7) дают правила масштабирования Фруда с одинаковыми температурами воздуха в

реальности T_r и модели T_m . Поскольку речь идёт о моделировании пожара, то создание столь высоких температур воздуха в лабораторных условиях, с возможностью наблюдения движения и измерения термодинамических параметров воздушных потоков, практически не реализуемо. Однако возможность варьирования значения n позволяет подобрать его так, чтобы обеспечить приемлемое снижение температуры воздуха при уменьшении геометрических размеров стенда по сравнению с реальной горной выработкой. Очевидно, что модельное снижение температуры воздуха не должно быть чрезмерным, т.к. чем меньше перепад температур, тем медленнее движение воздуха, и тем больше будет погрешность экспериментальных данных из-за малой величины конвективных сил.

Характерные значения параметров: размеры модели – в 10 раз меньше размеров горной выработки, т. е. $D_r/D_m = 10$; начальная температура воздуха $T_0 \sim 300$ К; температура воздуха в очаге пожара в выработке $T_r \sim 1500$ К; оптимальное для лабораторных условий значение температуры воздуха в модели $T_m \sim 500$ К. Подстановка этих параметров в (8) даёт $\frac{\Delta T_r}{T_r} / \frac{\Delta T_m}{T_m} \sim 2$ и значение $n = \lg(2) \approx 0.3$, значит, первое масштабное соотношение имеет вид

$$\frac{\Delta T_r}{T_r} / \frac{\Delta T_m}{T_m} = \left(1 - \frac{T_0}{T_r}\right) / \left(1 - \frac{T_0}{T_m}\right) \sim \left(\frac{D_r}{D_m}\right)^{0.3}. \quad (9)$$

Подстановка (9) в (7), (4) и (6) даёт остальные правила масштабирования для задаваемых (ω , ΔP_0 или V_0) и искомых параметров (ΔP , V)

$$\frac{\omega_r}{\omega_m} \sim \left(\frac{D_r}{D_m}\right)^{0.95}; \quad \frac{(\Delta P_0)_r}{(\Delta P_0)_m}, \frac{|\Delta P_r|}{|\Delta P_m|} \sim \left(\frac{D_r}{D_m}\right)^{1.3}; \quad \frac{(V_0)_r}{(V_0)_m}, \frac{|V_r|}{|V_m|} \sim \left(\frac{D_r}{D_m}\right)^{0.65}. \quad (10)$$

Отличительной особенностью данного способа масштабирования является соотношение (9), в котором масштабная пропорция накладывается не на температуру T или перепад температур воздуха ΔT , а на их отношение.

Верификация правил масштабирования путём численного моделирования

При верификации представленной методики масштабирования с помощью численного моделирования параметров воздушного потока во время пожара в наклонной горной выработке в программном комплексе SolidWorks рассмотрены два масштаба: реальный (5 м (D_r – ширина выработки по x , м) x 3 м (h_r – высота выработки по y , м) x 200 м (L_r – длина выработки по z , м)) и модельный (0.5 м (D_m) x 0.3 (h_m) м x 20 м (L_m), уменьшенный в 10 раз).

Начальная стадия пожара с интенсивным отводом тепла в массив моделировалась заданием изотермических границ выработки с температурой воздуха до возгорания. Задание адиабатических граничных условий соответствовало другому предельному случаю – стадии продолжительного пожара, при котором окружающий выработку породный массив в достаточной степени прогрелся, в результате чего образовалась теплоуравнивающая оболочка, в значительной мере уменьшающая интенсивность отвода тепла в массив по сравнению с начальной стадией пожара.

В качестве характерного поперечного размера принята ширина выработки D , наклон выработки – 12 градусов ($g_y = -9.6$ м/с²; $g_z = 2.0$ м/с²), температура наружного воздуха $+20^\circ\text{C} = 293.2$ К, источник выделения тепла W (кВт) считается протяжённым с максимальной интенсивностью по центру выработки. Имитируя горение конвейер-

ной ленты, тепловыделение задаётся распределённой по почве выработки экспоненциальной зависимостью $W = \omega \cdot \exp(-(z/\zeta)^2)$, где ω – равномерная по x плотность выделения тепла (кВт/м²) с поверхности почвы, 2ζ – протяжённость источника (ζ (м) – расстояние вдоль выработки, на котором ω уменьшается в e раз от максимального значения в $z = 0$). Ввиду того, что протяжённость выработки намного больше поперечного размера, значение W можно вычислить интегрированием в бесконечных пределах по z

$$W = \zeta D \omega \sqrt{\pi},$$

при соотношении масштабов реальной выработки к её модели 10:1 принято $\zeta_r = 10$ м и $\zeta_m = 1$ м.

Численное моделирование в приближении интенсивного теплообмена со стенками (изотермические границы с фиксированной температурой T_0) показало, что с выходом на стационарный режим движения воздуха эффект тепловой пробки в модельных масштабах возникает в интервале $(\Delta P_0)_m$ от 5 до 5.5 Па ($(V_0)_m$ от 2.2 до 2.3 м/с), в котором возникает неустойчивость и опрокидывание воздушного потока. При понижении начального перепада давлений на 0.5 Па происходит опрокидывание воздушного потока тепловой депрессией, что на расчётных рисунках характеризуется сменой окраски с красной (положительная скорость) на синюю (отрицательная скорость). В реальном масштабе этот интервал $(\Delta P_0)_r$ составляет от 100 до 105 Па ($(V_0)_r$ от 10.4 до 10.7 м/с). Расчётные значения продольной скорости движения воздуха $(V_z)_m$ и $(V_z)_r$, м/с и безразмерных температурных параметров $\Delta T_m/T_m$ и $\Delta T_r/T_r$ при потере устойчивости движения воздушного потока представлены на рис. 1 и 2.

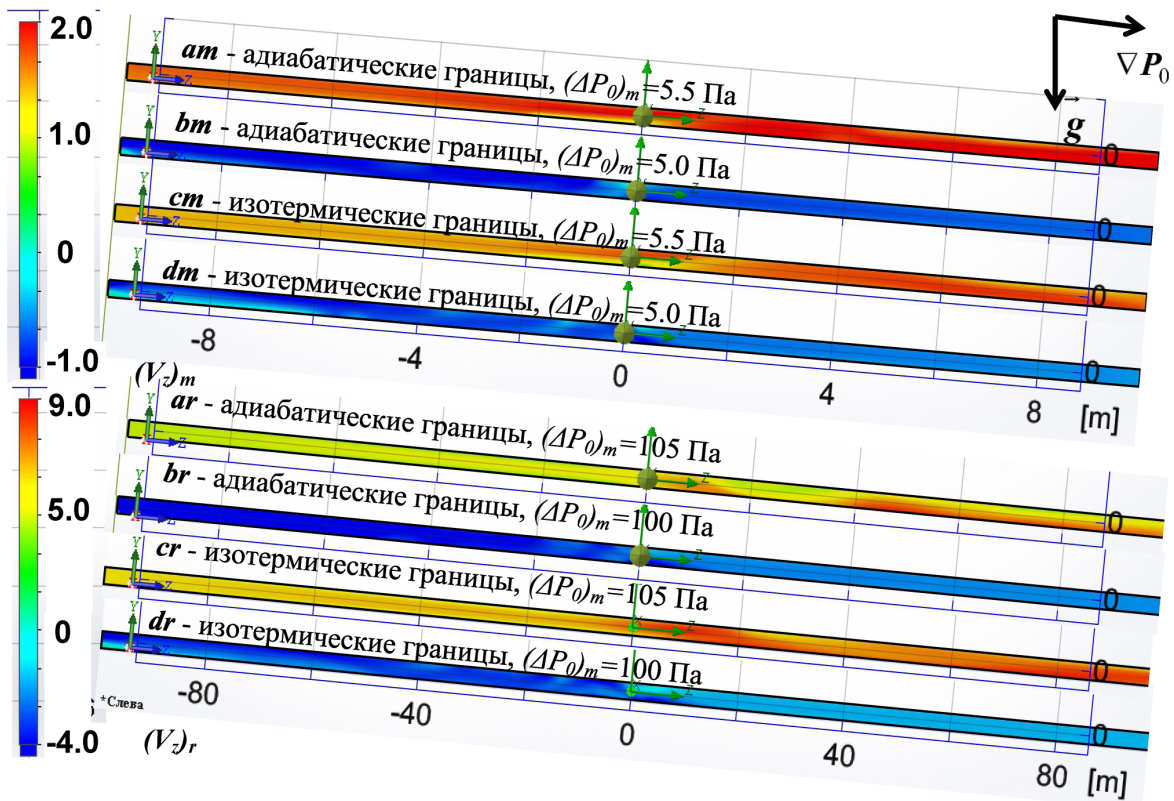


Рис. 1. Результаты численного моделирования продольной скорости движения воздуха V_z при разных напорах источника тяги ΔP_0 с двух сторон точки опрокидывания воздушного потока тепловой депрессией в модельном и реальном масштабах

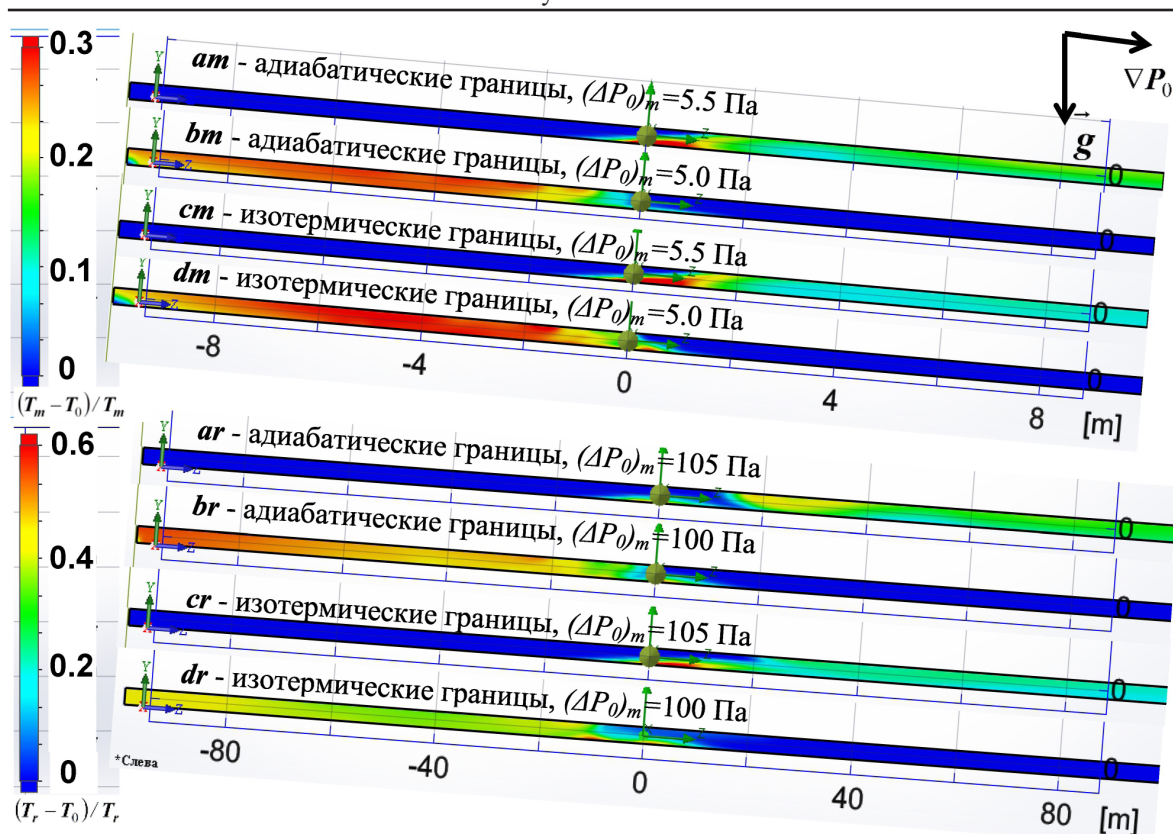


Рис. 2. Результаты численного моделирования безразмерного температурного параметра $(T-T_0)/T$ при разных напорах источника тяги ΔP_0 с двух сторон точки опрокидывания воздушного потока тепловой депрессией в модельном и реальном масштабах

Для проверки представленных в статье правил масштабирования размеры выработки были увеличены в 10 раз, а интенсивность выделения тепла ω и напор ΔP_0 изменены в соответствии с масштабными соотношениями (10): $\omega_r = 100.53 \approx 100$ кВт/м², $(\Delta P_0)_r$ увеличено по сравнению с $(\Delta P_0)_m$ в $10^{1.3} \approx 20$ раз - 100÷110 Па. Округлённый до целых значений пересчёт пределов легенд на рис. 1 и 2 по соотношениям (9)-(10) для искомых параметров V_z и $\Delta T/T$ даёт: $(V_z)_m$ (-1 м/с; 2 м/с) \rightarrow $(V_z)_r$ (-4 м/с; 9 м/с); $(\Delta T/T)_m$ (0; 0.3) \rightarrow $(\Delta T/T)_r$ (0; 0.6). Чем лучше соответствие расчётных результатов, представленных цветовой раскраской, тем лучше соблюдено подобие разработанными правилами масштабирования (9)-(10).

Анализ результатов численной проверки правил масштабирования

Оценка погрешности правил масштабирования для определения точки потери устойчивости производилась уменьшением интенсивности тепловыделения $\omega_r = 100$ кВт/м² с шагом 0.5 кВт до опрокидывания потока и восстановления его нисходящего движения. Изменение направления потока воздуха произошло ниже значения $\omega_r = 98.0$ кВт/м², что даже не в адиабатических условиях свидетельствует о невысокой относительной погрешности определения критического значения интенсивности тепловыделения $\sim 2\%$, при котором теряется устойчивость движения воздуха по выработке. Этот результат подтверждает также сделанное предположение о том, что значительно больше выделяемого тепла выносится из выработки, чем уходит в породный массив. При этом

значении ω_r , расчётные результаты для изотермических и адиабатических граничных условий практически не отличаются, т.к. опрокидывание воздушного потока со снижением интенсивности тепловыделения происходит, как показали численные эксперименты, именно путём потери устойчивости направления движения воздуха, а не постепенно. Относительная погрешность определения скорости движения воздуха оказалась не малой, $\sim 50\%$, однако рассчитывать на получение лучшего результата в параметрической области неустойчивого расхода не приходится, поскольку изменение величины и направления скорости в этой области происходит при малейшем изменении параметров. В отношении температуры, судя по результатам, можно сказать, что на достаточном удалении от источника выделения тепла температуры воздуха соответствуют правилу масштабирования (9), но вблизи источника в уменьшенной модели воздух остывает медленнее, чем в полномасштабной. Отличие это более отчётливо выражено в варианте с изотермическими границами, что ожидаемо, поскольку соотношения (9)-(10) были выведены в адиабатическом приближении. Интенсивность теплообмена со стенками тем выше, чем больше перепад температур, поэтому в полномасштабной модели с большим перепадом температур интенсивность теплообмена вблизи источника горения выше.

Можно оценить также, какой выигрыш даёт представленный способ низкотемпературного масштабирования в отношении понижения температуры в модели. Несложно выразить ΔT через безразмерный параметр $\Delta T/T$, исходя из того, что $\Delta T = T - T_0$

$$\Delta T = T_0 \frac{\Delta T/T}{1 - \Delta T/T},$$

откуда характерные значения расчётных перепадов температур составляют для изотермических границ порядка $\Delta T_m = 100$ К и $\Delta T_r = 200$ К, а для адиабатических границ – порядка $\Delta T_m = 100$ К и $\Delta T_r = 300$ К, что соответствует модельному понижению перепада температур приблизительно в 2-3 раза, абсолютной температуры – в 1.25-1.5 раза. Представленные результаты проведённого численного моделирования эффекта тепловой пробки соответствуют сценарию слабого пожара в горной выработке, при котором температура воздуха не поднимается выше 600°C . Расчётный вариант с адиабатическими границами подтверждает масштабное соотношение (9).

Результаты моделирования эффекта тепловой пробки на имитационном стенде

Экспериментальное моделирование тепловой пробки проводилось на изготовленном из оцинкованных металлических воздухопроводов имитационном физическом стенде высотой 0.3 м, шириной 0.5 м и длиной 10 м (рис. 3). После канального вентилятора в стенде установлен тройник (ответвление № 1), имитирующий сопряжение с другой горной выработкой. Нагрев воздуха осуществлялся канальным калорифером, расположенным в центральной части стенда. Нагревательные элементы калорифера для обеспечения лучшего теплообмена были расположены поперёк воздушного потока, обеспечивая его нагрев по всему сечению канала [19, 20].

Такой способ нагрева воздуха отличается от распределённого по поверхности, рассмотренного выше при численном моделировании, и имитирует другой вид рудничного пожара с локализованным объёмным источником, например, горячей машиной. Такой вид выделения тепла, в отличие от протяжённого поверхностного,

даёт большую крупномасштабную турбулизацию воздушного потока, что увеличивает аэродинамическое сопротивление канала и, соответственно, средняя по сечению скорость движения воздуха уменьшается [21]. Исследование эффекта запирания воздушного потока тепловой депрессией при таком виде пожара проводилось путём измерения полей скорости движения и температуры воздуха в двух сечениях стенда, изображённых на рис. 3, а также перепада давления на герметичном участке стенда между первым и третьим сечениями. Первое и второе сечения располагались на расстоянии 1.2 м до и после канального калорифера в зоне смотровых окон. Каждое исследуемое сечение было разделено на три вертикальных линии по ширине и пять горизонтальных линий по высоте, пересечения которых являлись контрольными точками, где производились измерения величин перечисленных параметров.

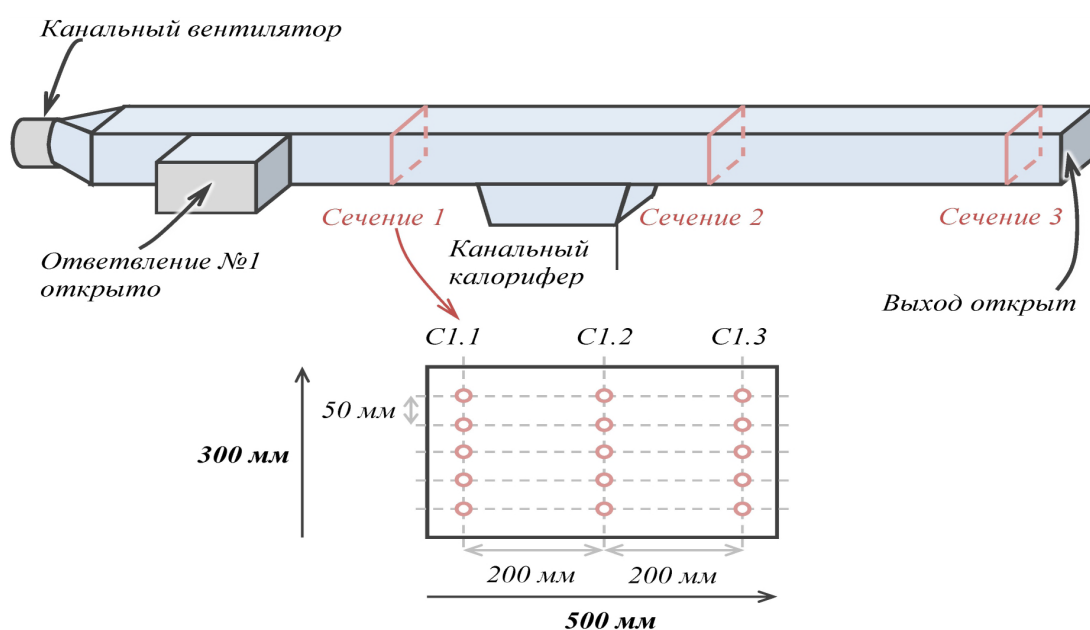


Рис. 3. Схема испытательного стенда с размерами и контрольными точками для измерения параметров воздушного потока

Визуальная фиксация момента опрокидывания воздушного потока тепловой депрессией при мощности калорифера $W_m = 8$ кВт осуществлялась через смотровые окна испытательного стенда при его наклоне в 8 градусов с нисходящим движением воздуха. Частота вращения канального вентилятора постепенно уменьшалась до остановки и опрокидывания потока.

Неопределённым параметром в этом эксперименте являлся перепад давлений, уравнивающий тепловую депрессию, поэтому при численном моделировании наступления теплового запирания (тепловой пробки) воздушного потока в таком же масштабе он являлся подбираемым параметром. Соответствующий возникновению тепловой пробки перепад давлений, измеренный между первым и третьим сечениями, составил ~ 2 Па, что, с учётом погрешности измерительного прибора, согласуется с результатами численного моделирования. Определения перепада давления на участках имитационного стенда выполнены при помощи измерителя дифференциального давления Fluke 922 с диапазоном измерения от 0 до 4000 Па с разрешающей способностью 1 Па и абсолютной погрешностью $\pm 1\%$.

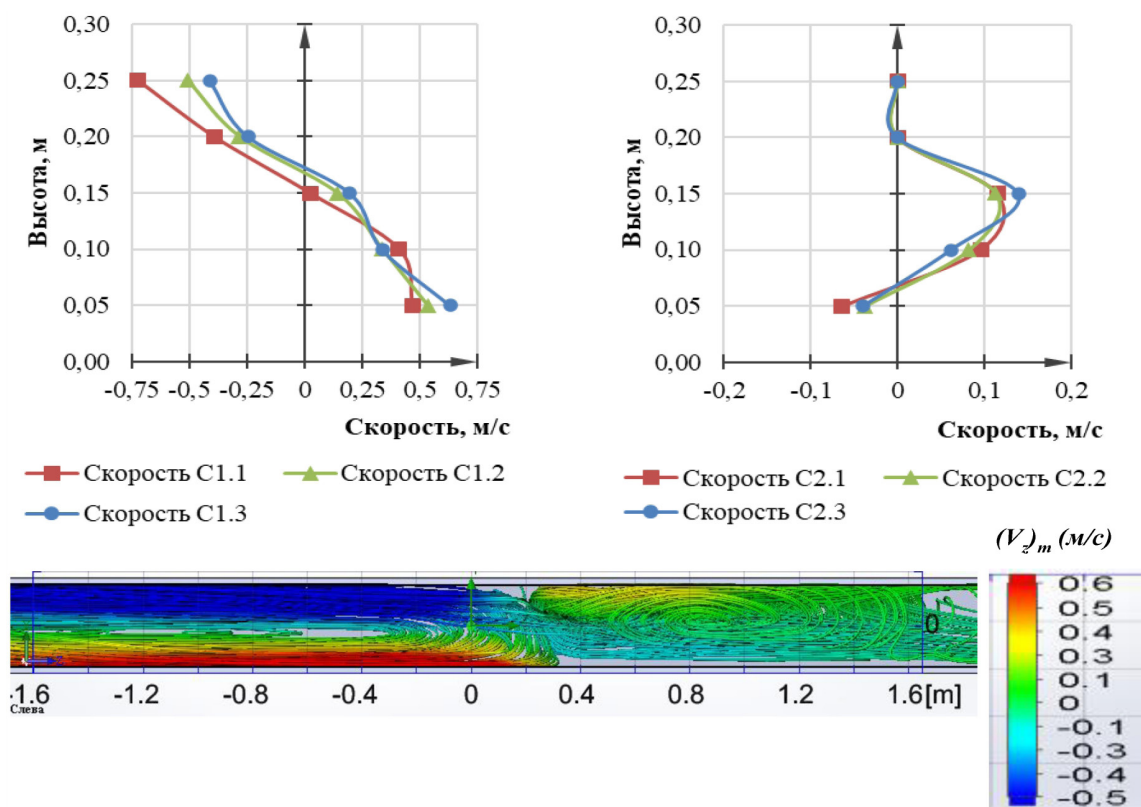


Рис. 4. Распределение скоростей движения воздуха по результатам замеров и численного моделирования

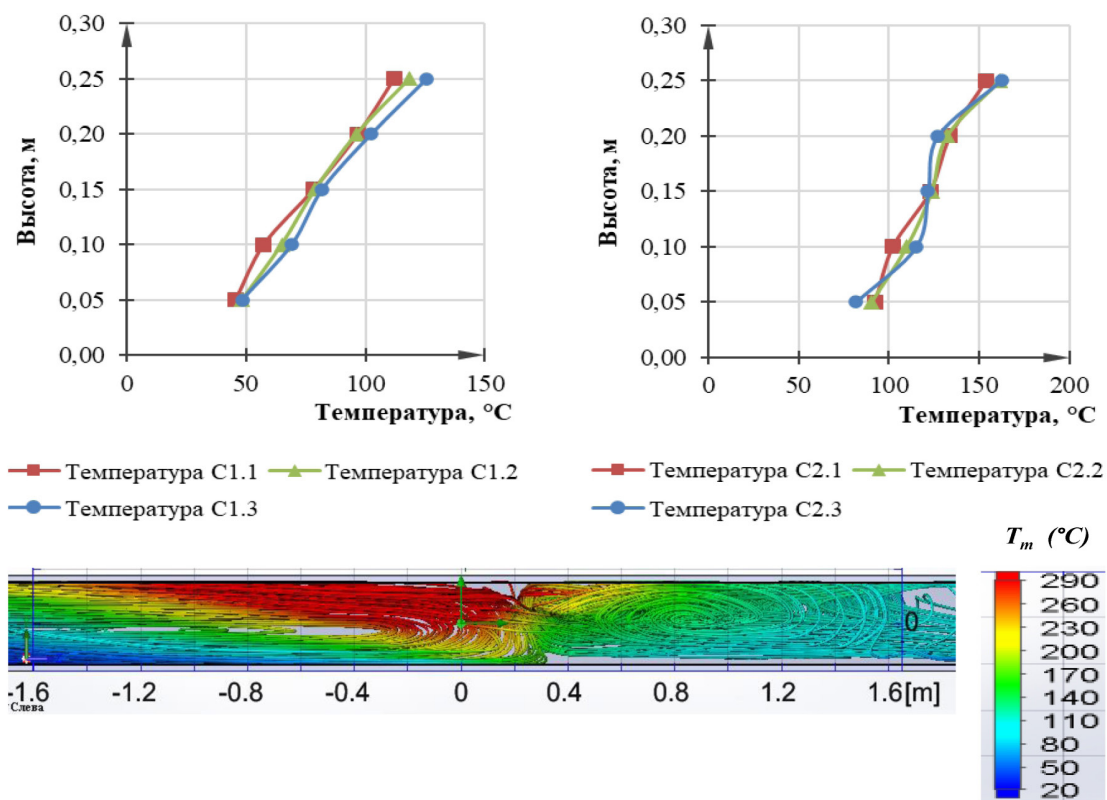


Рис. 5. Распределение температуры воздуха по результатам замеров и численного моделирования

Результаты измерения скорости и температуры воздуха в процессе формирования тепловой пробки в сечениях 1 и 2 спустя 1 минуту с начала выделения тепла, а также результаты численного моделирования этих параметров представлены на рис. 4 и 5. Расчёт на более длительных промежутках времени с близкими значениями начального перепада давлений показал, что эффект тепловой пробки с разнонаправленным движением воздуха в сечении неустойчив, длится порядка нескольких минут, после чего устанавливается одно направленное движения воздуха в ту или иную сторону.

По результатам проведения численных экспериментов был установлен следующий динамический сценарий возникновения и разрушения тепловой пробки. При начальном напоре 1.5 Па на герметичном участке стенда после включения источника выделения тепла нагретый воздух с меньшей плотностью двигается вниз, создавая тепловой напор противоположного направления. В результате скорость движения воздуха уменьшается, а значит, с уменьшением расхода увеличивается его нагрев, что ещё больше увеличивает тепловой напор и тормозит воздушный поток. Однако подобранного напора источника тяги в 1.5 Па всё же хватает для того, чтобы сохранить первоначальное направление движения воздуха вниз, даже после достижения им минимальной скорости и максимальной температуры. Это состояние возникает приблизительно через минуту после включения нагревателя и практически не изменяется в течении нескольких минут, поскольку в обратную сторону от нагревателя против воздушного потока за пределами конвективных вихрей тепло распространяется за счёт турбулентной теплопроводности с гораздо меньшей скоростью, чем конвективным переносом. Тем не менее, этот перенос тепла происходит, величина тепловой депрессии (отрицательный напор) достигает критического значения, превышающего первоначальный напор, и струя опрокидывается. После этого тепловая депрессия начинает прирастать за счёт конвективного нагрева воздуха с другой стороны нагревателя, но уменьшаться за счёт поступления плотного холодного воздуха снизу. В рассмотренном случае опрокидывание воздуха потока произошло с выходом на стационарный режим. В другой параметрической области наблюдались также колебательные сценарии движения воздуха, когда струя опрокидывалась несколько раз, прежде чем происходил выход на стационарный режим.

Заключение

По результатам проведённых теоретических и лабораторных исследований возникновения эффекта тепловой пробки в наклонной горной выработке можно сделать следующие выводы:

- точное соблюдение подобия модели реальной горной выработки в параметрической области теплового запираания воздушного потока возможно только в рамках правил масштабирования Фруда с одинаковыми значениями температуры воздуха, что в лабораторных условиях не реализуемо технически, по причине слишком высоких значений температуры воздуха вблизи очага рудничного пожара;
- низкотемпературные правила масштабирования в геометрических пропорциях 1 к 10 с целевым снижением температуры воздуха в 3 раза, полученные на основании физических приближений идеального газа и адиабатических границ, дают относительную погрешность определения критического для опрокидывания потока значения интенсивности тепловыделения в 2%;

– при несоблюдении адиабатического приближения в условиях изотермических границ погрешность низкотемпературного масштабирования изменяется незначительно, но выигрыш в модельном снижении температуры воздуха уменьшается;

– состояние тепловой пробки возникает не сразу после возникновения пожара в наклонной выработке, путём постепенного уменьшения расхода и увеличения температуры воздуха, держится некоторое время и разрушается из-за потери устойчивости с опрокидыванием воздушного потока.

Представленные в статье низкотемпературные правила масштабирования дают возможность осуществлять прогноз устойчивости проветривания горных выработок во время рудничных пожаров на основе моделирования воздушных потоков вблизи очагов возгорания в лабораторных условиях.

Библиографический список

1. *Осипов С. Н., Жадан В. М.* Вентиляция шахт при подземных пожарах. – М.: Недра, 1973. – 152 с.
2. *Хацько М. С., Онищенко С. А.* Разработка комплекса мероприятий по снижению рисков возникновения чрезвычайных ситуаций на шахте // Современные исследования в науках о Земле: ретроспектива, актуальные тренды и перспективы внедрения. Материалы III Международной научно-практической конференции / редкол.: Н. С. Шуваев, Е. А. Колчин – Астрахань. – 2021. – С. 46–49.
3. *Родионов В. А., Серегин А. С., Иконников Д. А.* Мультипликативный метод оценки взрывопожароопасных свойств рудничной атмосферы при поступлении в воздушную среду углеводородных газов // Горный журнал. - 2023. - № 9. - С. 35-40. DOI: 10.17580/gzh.2023.09.05.
4. *Onifade M., Genc B., Said K. O., Fourie M., Akinseye P. O.* Overview of mine rescue approaches for underground coal fires: A South African perspective. *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, 2022, vol. 122, no. 5, pp. 213-226. DOI: 10.17159/2411-9717/1738/2022.
5. *Chen Y., Liu J., Zhou Q., Liu L., Wang D.* A study on rapid simulation of mine roadway fires for emergency decision-making. *Scientific reports*, 2024, vol. 14, no. 1, 1674 p. DOI: 10.21203/rs.3.rs-3573985/v1.
6. *Шалимов А. В., Кормициков Д. С., Попов М. Д.* Определение показателя конвективной устойчивости воздуха в стволах при нулевом режиме вентиляции рудника // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2025. – Т. 336. – № 4. – С. 89-97. DOI: 10.18799/24131830/2025/4/4701.
7. *Salami O. B., Xu G., Kumar A. R., Pushparaj R. I.* Underground mining fire hazards and optimization of emergency evacuation strategies: The issues, existing methodology and limitations, and way forward. *Process Safety and Environmental Protection*, 2023, vol. 177, pp. 617–634. DOI: 10.1016/j.psep.2023.07.012.
8. *Казаков Б. П., Колесов Е. В., Накаряков Е. В., Исаевич А. Г.* Обзор моделей и методов расчета аэрогазодинамических процессов в вентиляционных сетях шахт и рудников // Горный информационно - аналитический бюллетень. – 2021. – № 6. – С. 5-33. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_6_0_5.
9. *Попов М. Д., Семин М. А., Левин Л. Ю.* Анализ воздухораспределения в наклонной горной выработке при наличии интенсивного источника тепловыделения // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2024. – № 4. – С. 140-151. DOI: 10.15372/FTPRI20240412.
10. *Peng, S., Huang Z., Dong D. V.* Numerical simulation study on fire hazard of a coal mine transport roadway // *Mining Science*, 2022, vol. 29, pp. 33-52. DOI: 10.37190/msc222904.
11. *Yao Y., Wang J., Jiang L., Wu B., Qu B.* Numerical study on fire behavior and temperature distribution in a blind roadway with different sealing situations // *Environmental Science and Pollution Research*, 2023, vol. 30, no. 13, pp. 36967–36978. DOI: 10.1007/s11356-022-24896-4.
12. *Thomas P. H., Hinkley P. L., Theobald C. R., Simms D. L.* Investigations into the Flow of Hot Gases in Roof Venting // Her Majesty's Stationary Office: London, UK, 1963, vol.7, no. 3, pp. 100-112.
13. *Hansen R.* Overview of fire and smoke spread in underground mines // *Proceedings from the Fourth International Symposium on Tunnel Safety and Security*, Frankfurt am Main, Germany, 2010. pp. 483–494.
14. *Cafaro E., Bertola V.* Fires in tunnels: Experiments and modelling // *The Open Thermodynamics Journal*, 2010, vol. 4, no. 1, pp. 156-166. DOI: 10.2174/1874396X01004010156.
15. *Carey A. C.* Scale Modeling of Static Fires in a Complex Geometry for Forensic Fire

- Applications // Ph.D. Thesis, University of Maryland, College Park, MD, USA, 2010, 127 p.
16. *Prahl, J., Emmons H. W.* Fire induced flow through an opening // *Combust. Flame*, 1975, vol. 25, no. 3, pp. 369–385.
 17. *Свердлов А. В., Волков А. П., Рыков С. В., Волков М. А., Барафанова Е. Ю.* Моделирование процессов дымоудаления в подземных сооружениях транспортного назначения // *Вестник Международной академии холода*. – 2019. – № 1. – С. 3-10. DOI: 10.17586/1606-4313-2019-18-1-3-10.
 18. *Шалимов А. В., Жихарев С. Я., Семин М. А.* Критерии подобия для масштабного моделирования шахтных пожаров в наклонных горных выработках // *Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых*. – 2025. – № 4. – С. 108-119. DOI: 10.15372/FTPRPI20250410.
 19. *Левин Л. Ю., Семин М. А., Попов М. Д., Жихарев С. Я.* Валидация модели тепломассопереноса в атмосфере горизонтальной горной выработки при наличии интенсивного источника нагрева // *Недропользование*. – 2024. – Т. 24. – № 3. – С. 169-176. DOI: 10.15593/2712-8008/2024.3.8.
 20. *Попов М. Д.* Разработка методики расчёта устойчивости проветривания рудников в аварийных ситуациях, связанных с наличием тепловых депрессий // *Горное эхо*. – 2024. – № 2 (95). – С. 80-86. DOI: 10.7242/echo.2024.2.15.
 21. *Hu D., Li Z., Wang H., Xu H., Miao C.* Smoke dispersion test and emergency control plan of fire in mine roadway during downward ventilation, *Scientific Reports*, 2023, vol. 13, no. 1, pp. 1-11. DOI: 10.1038/s41598-023-30779-6.

Благодарности:

Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках государственного задания (рег. номер НИОКТР: 126012716039-2).

Для цитирования:

Шалимов А.В., Жихарев С.Я., Семин М.А., Кузьминых Е.Г. Низкотемпературное масштабное моделирование устойчивости движения воздуха в наклонной горной выработке с источником выделения тепла // *Вестник Пермского федерального исследовательского центра*. – 2026. – № 1. – С. 19–32. <https://doi.org/10.7242/2658-705X/2026.1.2>

Сведения об авторах:

Шалимов Андрей Владимирович, доктор технических наук, ведущий научный сотрудник, Горный институт УрО РАН – филиал Пермского федерального исследовательского центра УрО РАН («ГИ УрО РАН»), 614007, г. Пермь, ул. Сибирская, 78а; e-mail: shalimovav@mail.ru, ORCID: 0000-0001-6675-9093
Жихарев Сергей Яковлевич, доктор технических наук, главный научный сотрудник, «ГИ УрО РАН»; e-mail: perevoloki55@mail.ru, ORCID: 0000-0003-4102-6066

Семин Михаил Александрович, доктор технических наук, заведующий лабораторией математического моделирования геотехнических процессов, ученый секретарь, «ГИ УрО РАН»; e-mail: seminma@inbox.ru, ORCID: 0000-0001-5200-7931

Кузьминых Евгений Геннадьевич, инженер, «ГИ УрО РАН»; e-mail: kuzminykh.evgeniy@gmail.com, ORCID: 0009-0005-9596-8050

LOW-TEMPERATURE LARGE-SCALE MODELING OF AIR FLOW STABILITY IN AN INCLINED MINE WORKING WITH A HEAT SOURCE

Shalimov A.V., Zhikharev S.Ya., Semin M.A., Kuzminykh E.G.

Mining Institute UB RAS, Perm

An analysis was carried out on the possibilities of large-scale modeling of downward airflow in inclined mine workings with a heat source within the parametric range of airflow instability. It was established that accurately reproducing model similarity to reality in this range is only possible within the framework of the Froude scaling rules with identical air temperature, which at the fire source reaches 1500 K or more. Since achieving such air heating under laboratory conditions is problematic, an attempt was made to obtain approximate low-temperature scaling relations based on estimated calculations targeting a threefold reduction in temperature with a tenfold reduction in geometric dimensions. The obtained relations were verified through numerical modeling of the thermal plug effect in the SolidWorks software suite, as well as on a laboratory simulation stand. The relative error in determining the overturning point of airflow due to thermal depression in model and full scale was 2%. Both methods of modeling the thermal plug effect showed the same dynamic scenario of airflow direction change via instability, in which the flow overturns gradually, forming large-scale convective vortices and multi-directional vertical velocity stratification across the cross-section.

Keywords: *mine fires, thermal depression, airflow stability, adiabatic and isothermal boundaries, heat release intensity, thermal plug, simulation stand, scaling rules*

Поступила в редакцию: 18.11.2025

Принята к публикации: 08.04.2026

ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИИ ГИДРОЦИКЛОНИРОВАНИЯ ПРИ СМЕНЕ СПОСОБА ПЕРЕРАБОТКИ ШЛАМОВ

Оносов Д.В., Горный институт УрО РАН, Пермь

Сметанников А.Ф., Горный институт УрО РАН, Пермь

Разработан способ переработки складированных (флотационных) шламов с целью извлечения благородных металлов, одним из основных переделов которого является процесс трехстадийного гидроциклонирования обожженных шламов (огарков) с применением на каждой стадии основного и перечистного гидроциклонов. Истертый огарок распульцовывается и поступает на линию гидроциклонов с углами конусности 10, 7, 5 градусов, задачей которых является дешламация истертого огарка и получение песков, идущих на центробежную сепарацию с получением концентрата, представляющего собой смесь интерметаллидов Pd, Pt, Ag, Cu, Sn, Pb и интерметаллидов Fe, Cr, Ni. Магнитная сепарация разделяет смесь интерметаллидов на немагнитную фракцию (Pd, Pt, Ag, Cu, Sn, Pb) и магнитную фракцию (Fe, Cr, Ni). Результатом применения трехстадийного гидроциклонирования явилось 10-кратное уменьшение объема истертого огарка, что позволило, в свою очередь, уменьшить масштаб оборудования в операциях по центробежной сепарации песков в 10 крат.

Ключевые слова: складированные флотационные шламы, высокотемпературный обжиг, гидроциклоны, органическое вещество, интерметаллиды палладия, платины, серебра, хлориды, вещественный состав

Введение

Ранее способ переработки шламов с целью извлечения благородных металлов разрабатывался на текущих выпусках галургических шламов и включал трехстадийное гидроциклонирование, высокотемпературный обжиг и кислотно-сорбционную переработку огарка [1]. На трех стадиях гидроциклонирования применялись гидроциклоны с углами конусности соответственно 10, 7 и 5 градусов. Гидроциклоны на каждой стадии работали в паре (основной и перечистой).

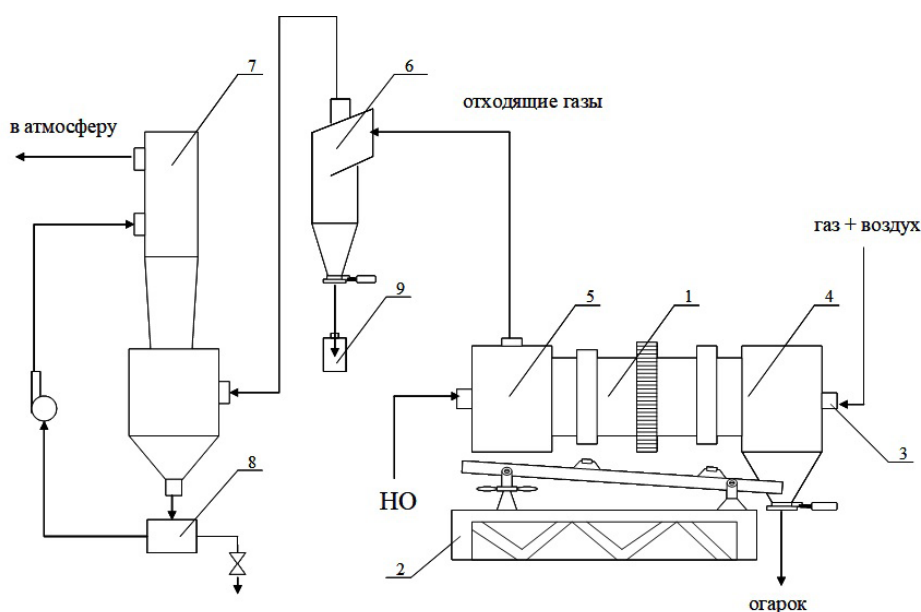
Для реализации этого процесса была разработана аппаратно-технологическая схема. Позиция линии гидроциклонов являлась началом процесса. Роль гидроциклонов заключалась в частичном обессоливании исходных (необожженных) шламов, поскольку переработка обожженного шлама кислотно-сорбционным способом предполагала (обязывала) иметь предел содержания солей в обожженном шламе не более 15-20%. Это связано с тем, что хлориды являются «кислотоемкими» соединениями и высокий расход кислоты может сделать нерентабельным весь цикл переработки шламов. Кроме того, еще одной задачей было выведение крупной фракции шламов, которая практически не содержала сульфатов кальция, включающих органические соединения благородных металлов (БМ). В этой связи диаметры пескового и сливного «насадков» устанавливались в соотношении соответственно 3:2.

Продукт гидроциклонирования проходил стадию переработки на пресс-фильтрах, где также «уходила» в фильтрат часть хлоридов, и далее частично обессоленный шлам

с влажностью 20% подвергался сушке до влажности 14-15% и подавался на гранулятор. Гранулы досушивались во вращающейся печи до влажности 1-3%.



Рис. 1. Вращающаяся прокалочная печь



1 – печь; 2 – рама; 3 – газовая горелка; 4 – горячая камера; 5 – холодная камера; 6 – циклон; 7 – скруббер; 8 – зумпф; 9 – контейнер для пыли

Рис. 2. Схема вращающейся прокалочной печи

Готовый гранулят обжигался при температуре до 800°C во вращающейся прокалочной печи (рис. 1). Элементы конструкции и позиции процесса обжига представлены в блок-схеме вращающейся прокалочной печи (рис. 2). Время обжига составляло не более 30 минут.

Полученный огарок после дробления проходил кислотно-сорбционную переработку с получением коллективного концентрата БМ, предназначенного для аффинажа. Аппаратно-технологическая схема с использованием гидроциклонов в начале процесса показана на рисунке 3.



Рис. 3. Схема переработки галургических шламов

Технология формирования галургических шламов включает растворение измельченной сильвинитовой руды обратным щелоком с температурой 90°C, при котором происходит избирательное растворение КСl на основе различных температурных коэффициентов растворимости хлоридов натрия и калия. Оставшийся галит направляют в отвал. Формируется насыщенный щелок, содержащий растворенный КСl и нерастворимый остаток. Полученный щелок очищают в сгустителях от солевого и глинистого шлама. Из осветленного щелока производят кристаллизацию хлорида калия. Полученный кристаллический КСl сушат и получают товарный продукт – хлорид калия. Маточный щелок после подогрева возвращают на выщелачивание новых порций хлорида калия. В практике в этот процесс вводятся так называемые антислеживатели – реактивы, препятствующие слеживанию хлористого калия. Ввиду того, что щелок используется как оборотный, концентрация реагента антислеживателя практически не меняется на всех стадиях процесса переработки сильвинитовых руд. В качестве антислеживателя на отдельных предприятиях применяют разные реагенты. На БПКРУ-1 (ПАО «Уралкалий») применялся 0,8%-й кислотный раствор аминов, способствующий концентрированию соединений благородных металлов (Au, Pd, Pt, Ag) в глинисто-солевых шламах. На БПКРУ-4 (ПАО «Уралкалий») в этом качестве применяют железосинеродистый калий. Этот реагент оказывает негативное воздействие на процесс осаждения соединений благородных металлов вместе с глинисто-солевыми шламами. Лабораторные исследования по стабилизации щелоков путем добавления соды с целью изменения рН или добавления 0,8% кислотного раствора аминов помогли достигнуть нужного эффекта. Но применение этого способа на практике невозможно в условиях налаженного производственного процесса. Таким образом, для использования галургических шламов в качестве источника благородных металлов требуются дополнительные исследования [2].

Результаты исследований по переработке флотационных шламов

В связи с прекращением исследований галургических шламов возникла необходимость оценки возможности переработки флотационных шламов. Объемы выпуска флотационных шламов превышают выпуск галургических шламов в несколько раз. Годовой выпуск флотационных шламов составляет около 2 миллионов тонн, а их накопленные запасы около 90 миллионов тонн. Необходимость исследований по технологии переработки флотационных шламов стала очевидной.

Результаты исследований повлияли на смену методологии в технологии переработки шламов, которая заключалась в том, что в переработку вводились складированные флотационные шламы из шламохранилищ, свойства которых сильно отличаются от текущих выпусков галургических шламов и объясняются, в первую очередь, их статическим положением в течение длительного времени, которое обуславливает проявление процессов сегрегации, приводящее к изменению распределения макро- и микрокомпонентов шламов. Второе отличие – процесс формирования флотационных шламов. Технология переработки сильвинитовых руд флотационным способом включает механическое и флотационное обесшламливание измельченной сильвинитовой руды. Предварительная обработка реагентами-депрессорами не влияет негативно на поведение соединений благородных металлов.

Рассмотрим подробнее эти отличия.

В шламохранилищах происходит естественная сегрегация шламов, что сказывается на смене грансостава, т.е. с увеличением глубины грансостав меняется в сторону увеличения доли тонких фракций и изменений в минеральном составе шламов.

С увеличением глубины меняется минеральный состав, увеличивается роль ангидрита, носителя соединений благородных металлов, и уменьшается роль гипса. Одновременно уменьшается содержание хлоридов. Если близ поверхности шламохранилища содержание хлоридов может составлять до 40% и выше, то с увеличением глубины их содержание падает до 25-30%. Причем органические соединения благородных металлов, связанные с ангидритом, также мигрируют вниз по разрезу, обогащая нижнюю часть разреза шламохранилища.

Еще одно отличие состоит в том, что во флотационных шламах отсутствует золото, поскольку золото в соляных породах (сильвинитах) связано в гематитовом пигменте сильвина, а палладий, платина, серебро связаны в органических соединениях и приурочены к ангидриту, локализованному в межзерновом нерастворимом в воде остатке (Н.О.) сильвинитов [3, 4]. При флотационном способе передела зерна сильвина не разрушаются, и золото вместе с сильвином «уходит» в удобрения (флотационный розовый зернистый хлористый калий). Палладий, платина, серебро вместе с ангидритом сконцентрированы в Н.О. и при переработке сильвинита «уходят» в шламы. Отличие также состоит в смене концепции технологического передела шламов с целью извлечения благородных металлов. Если в галургическом «переделе», после обжига, огарок подвергался кислотно-сорбционному переделу, то при флотационном «переделе», после смены параметров обжига, необходимость в кислотно-сорбционном переделе отпала. При обжиге флотационных шламов температура превышает 800°C, хлориды, присутствующие в шламе, плавятся (температура плавления галита и сильвина составляет 799 и 801°C), органические соединения БМ отжигаются, и свободные металлы в силу геохимического сродства аккумулируются в процессе собирательной кристаллизации. Т.е. при температуре обжига выше 800°C вместо кислоторастворимых

соединений БМ формируются индивидуализированные обособления интерметаллидов Pd, Pt, Ag, Cu, Sn, Pb, которые могут извлекаться из обожженного шлама (огарка) гравитационными способами [6, 7]. Роль гидроциклонов в данных обстоятельствах сместилась в сторону обогащительных функций. Исходные шламы проходят стадию сушки, затем грануляцию и обжиг. Обожженный материал (огарок) дробится и истирается до крупности $-0,045$ мм. Большую часть огарка составляют минералы так называемой легкой фракции. Три стадии гидроциклонирования с применением 10, 7 и 5-и градусных циклонов с перечисткой на каждой стадии способствуют максимальному выделению песков с интерметаллидами Pd, Pt, Ag, Cu, Sn, Pb и Fe, Cr, Ni.

Дешламация истертых огарков, полученных при обжиге флотационных шламов, представляет собой иную задачу, чем дешламация исходных шламов при галургическом способе переработки сильвинитовых руд. Грансостав исходного «галургического» шлама на 90-95% представлен фракцией $-0,045$ мм и оставшаяся часть – фракцией $+0,045$ мм. Это потребовало реализации соотношения диаметров пескового и сливного «насадков» соответственно 3:2, что позволило при гидроциклонировании выделить до 30% материала, представленного гипсом, хлоритом и избытком хлоридов, в сливной насадок. Через песковый «насадок» был получен материал, на 70% представленный ангидритом, кварцем, полевым шпатом и хлоридами, в котором была сконцентрирована основная масса соединений благородных металлов.

Складированные флотационные шламы вначале проходят процесс сушки, грануляции, обжига гранул и затем процесс дробления и истирания до крупности $-0,045$ мм. Распульпованный материал представлял собой водную суспензию индивидуализированных обособлений следующих минералов (по убыванию): пироксен, полевой шпат, кварц, ангидрит, оксиды железа, хрома, никеля. В наименьшем количестве оказались обособления интерметаллидов Pd, Pt, Ag, Cu, Sn, Pb с наиболее высокой плотностью. Соотношение диаметров пескового и сливного «насадков» было принято 2:3. Это позволило достигнуть выхода легкой фракции (шламов) в 90%, а тяжелой (песков) в 10%.

Рассмотрим детальней процесс гидроциклонирования. Выход легкой фракции составляет 90-95%, что потребовало трехстадийного обесшламливания с применением длинноконусных циклонов (рис. 4). Причем каждый из трех циклонов работает в паре (основной и перечистной) с циклоном того же угла конусности. На рисунке 5 представлена батарея гидроциклонов в сборе. На рисунке 6 показана схема с выделением и объединением концентратов всех ступеней гидроциклонирования, которая рекомендуется для включения в аппаратно-технологическую цепочку при проектировании опытно-промышленной фабрики для переработки складированных шламов и извлечения благородных металлов в виде интерметаллидов Pd, Pt, Ag, Cu, Sn, Pb.

На рисунке 6 видно, как истертый распульпованный огарок поступает на первую ступень гидроциклонирования, состоящую из двух циклонов с углом конусности 10° . Выделение концентрата может происходить как на первом циклоне, так и с использованием второго для перечистки концентрата первого. Далее слив одного или объединенный слив двух циклонов первой ступени поступает на вторую ступень гидроциклонирования, состоящую из двух циклонов с углом конусности 7° . Концентрат выделяется по тому же принципу, что и в первой ступени. Слив второй ступени гидроциклонирования подвергается аналогичной перечистке на третьей ступени с углом конусности циклонов 5° . Затем концентраты всех трех ступеней объединяются и поступают на дальнейший передел.



Рис. 4. 10-и, 7-и и 5-и градусный циклоны

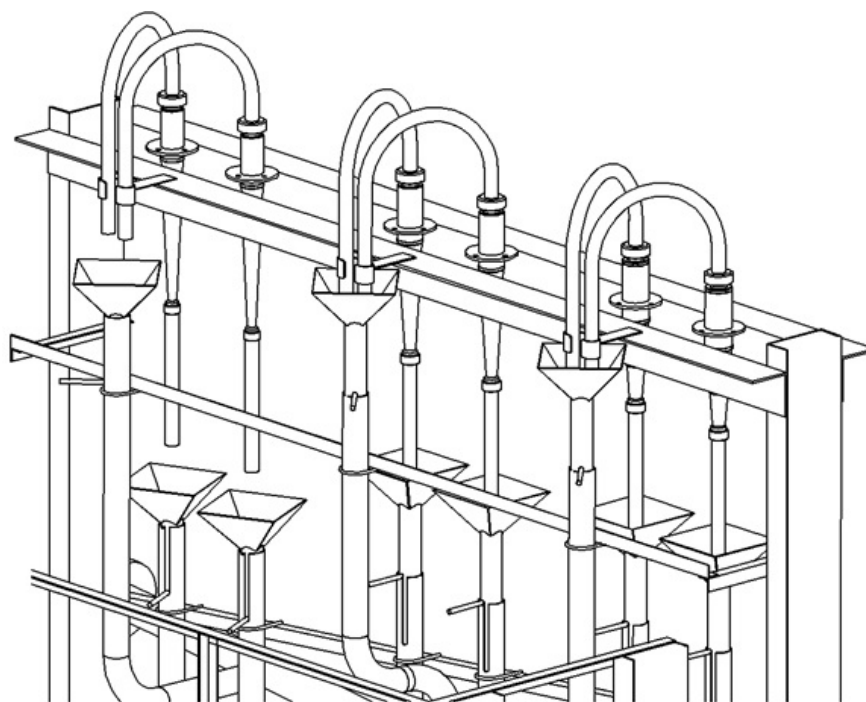


Рис. 5. Батарея гидроциклонов в сборе

На рисунке 7 представлена блок-схема процесса технологического передела складированных шламов с батареей гидроциклонов «во главе» второй стадии всего процесса. Первая стадия осуществляет преобразование органических соединений благородных металлов в металлическое состояние и создание «композиций», представленных многофазными срастаниями, составляющими две группы элементов: Pd, Pt, Ag, Cu,

Sn, Pb и Fe, Cr, N. Вторая стадия задействована на выделение этих сростаний в концентрат, из которого аффинажем будут получены монометаллы Pd, Pt, Ag, Cu, Sn, Pb.

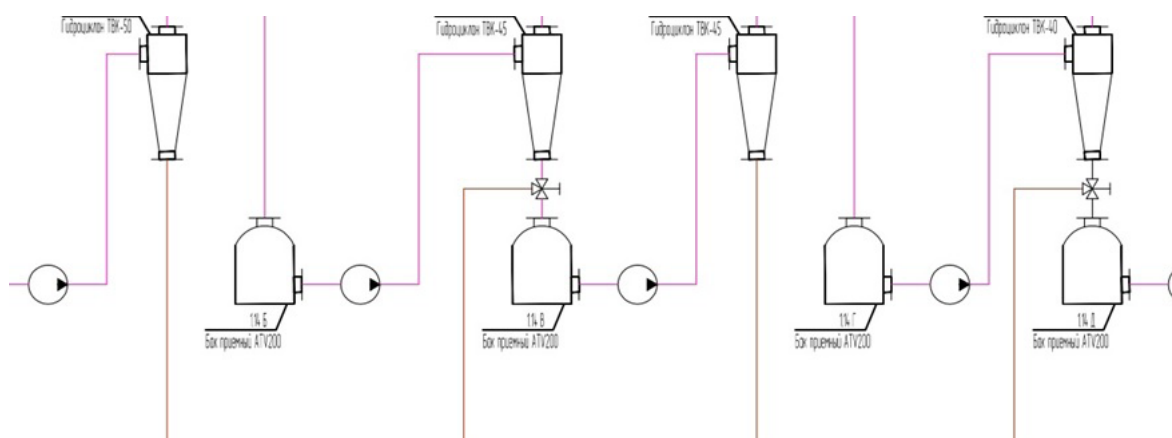


Рис. 6. Схема с выделением и объединением концентратов всех ступеней гидроциклонирования

Шламы после гидроциклонирования и «хвосты» после обогащения песков объединяются и представляют собой материал, который после смешивания и спекания может использоваться для улучшения структурно-физических свойств почвы, изменения ее кислотно-основных свойств, в качестве мелиорантов и комплексных удобрений пролонгированного действия. Иначе говоря, практически весь объем отходов утилизируется, что позиционирует предложенный передел как безотходную технологию переработки шламов [8, 9, 10].

На рисунке 8 показана технологическая схема процесса передела и позиция в ней стадии гидроциклонирования.

На рисунках 9, 10 представлены микрозондовые фото наиболее характерных сростаний интерметаллидов первой группы и детализации сростаний с химическим анализом отдельных фаз. На рисунках 11 – 13 представлены микрофото концентратов общих для двух типов сростаний и отдельных, представляющих каждую группу, с валовым анализом каждой группы. На рисунке 14 представлен концентрат интерметаллидов Pd, Pt, Ag, Cu, Sn, Pb, полученный после магнитной сепарации с элементным анализом отдельных обособлений.

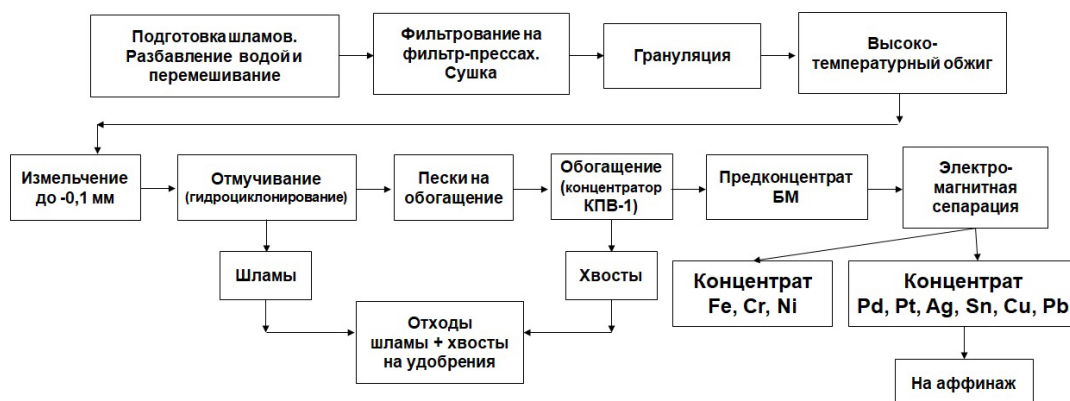


Рис. 7. Принципиальная аппаратно-технологическая схема переработки складированных флотационных шламов

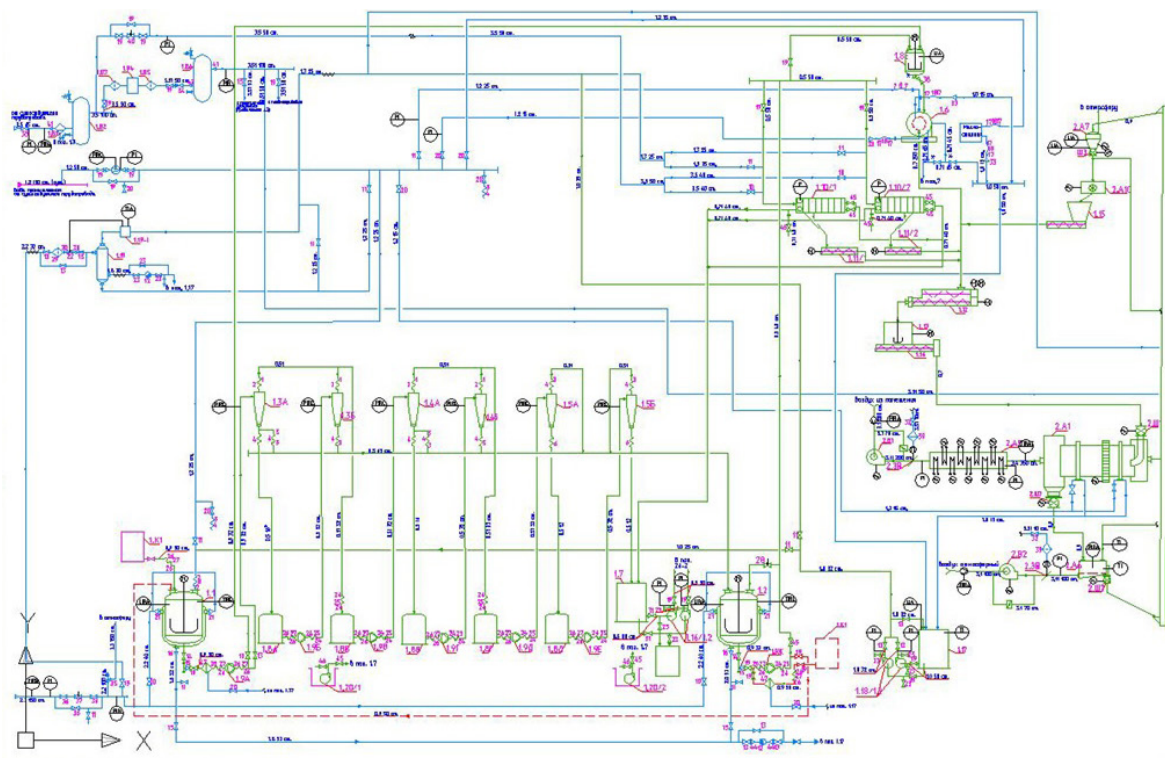


Рис. 8. Технологическая схема процесса передела и позиция в ней стадии гидроциклонирования

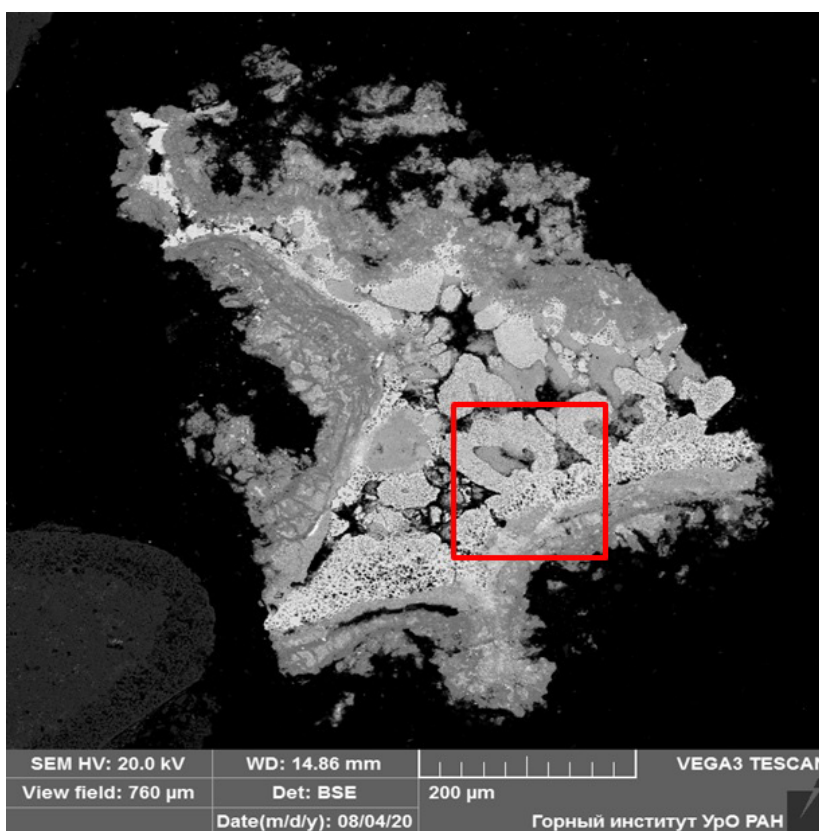
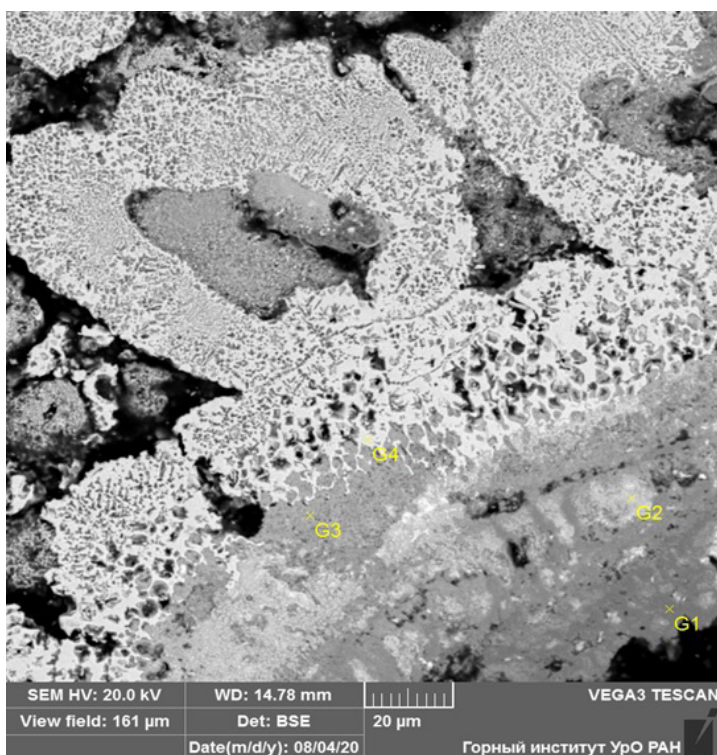


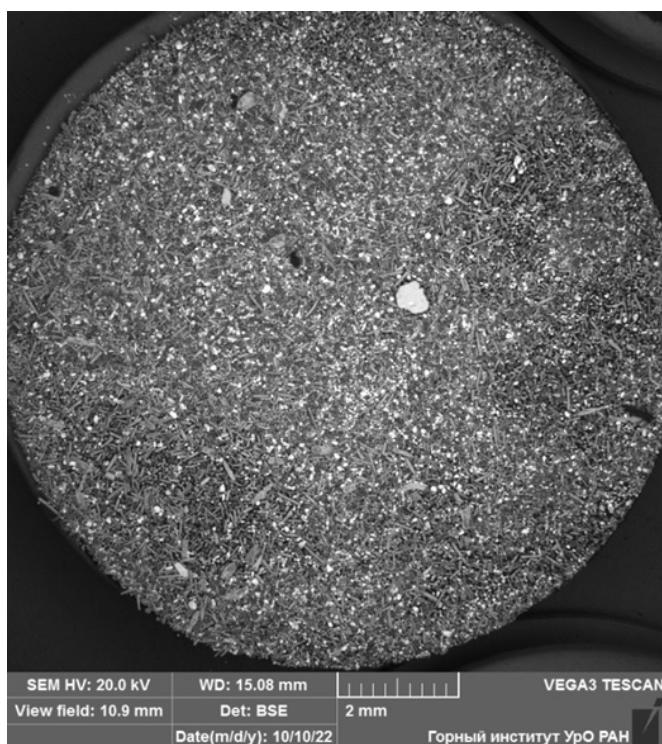
Рис. 9. Электронное фото интерметаллидных обособлений. Обзор



Элементный состав отдельных фаз срастаний

Элементы	Содержания, %			
	G1	G2	G3	G4
O	17,47	16,89	15,97	-
Pd	-	-	-	47,26
Pt	-	-	-	8,96
Ag	-	8,74	4,08	-
Sn	0,23	47,95	68,64	28,39
Pb	-	22,59	2,01	-
Cu	82,3	3,02	7,58	15,4
Σ	100	100	100	100

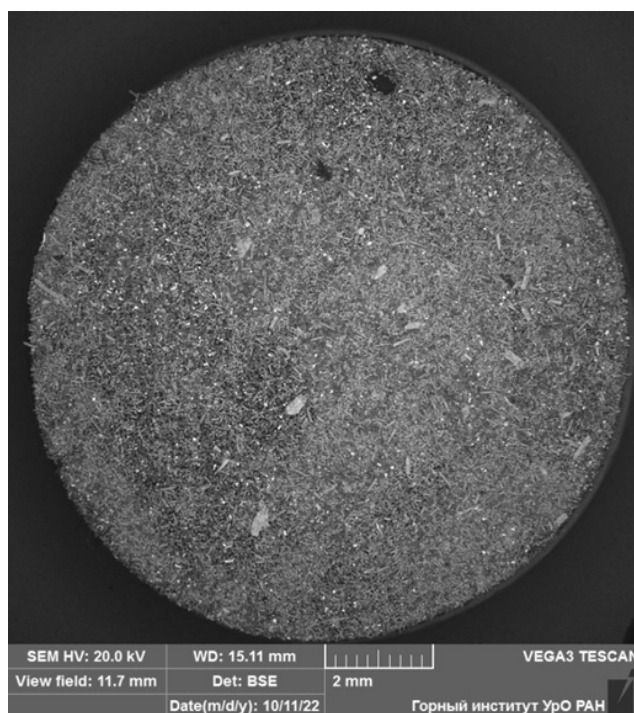
Рис. 10. Электронное фото интерметаллидных обособлений. Деталь



Валовый элементный состав участка 5 x 5 мм

Элементы	Содержания, %
O	22,25
Mg	1,28
Al	1,95
Si	8,03
P, S, Cl, K, Mn	2,58
Ca,	4,76
Ti,	1,37
Cr	8,32
Fe	30,43
Ni	3,45
Cu	5,90
Pd	1,75
Ag	1,24
Sn	4,12
Pt	0,77
Pb	1,82
Σ	100

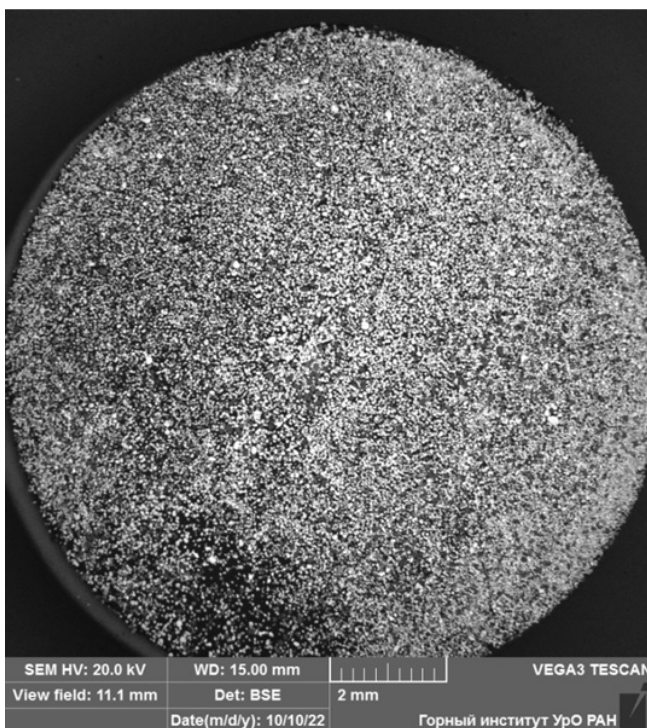
Рис. 11. Электронное фото. Концентрат. Фракция -0,045 мм
Светлые частицы – интерметаллидные обособления Pd, Pt, Ag, Cu, Sn, Pb



Валовый элементный состав участка 5 x 5 мм

Элементы	Содержания, %
O	23,98
Na	1,22
Mg	1,44
Al	2,47
Si	8,89
P, S, Cl, K, Mn	2,98
Ca	5,71
Ti	1,70
Cr	9,80
Fe	36,28
Ni	4,17
Cu	1,36
Σ	100

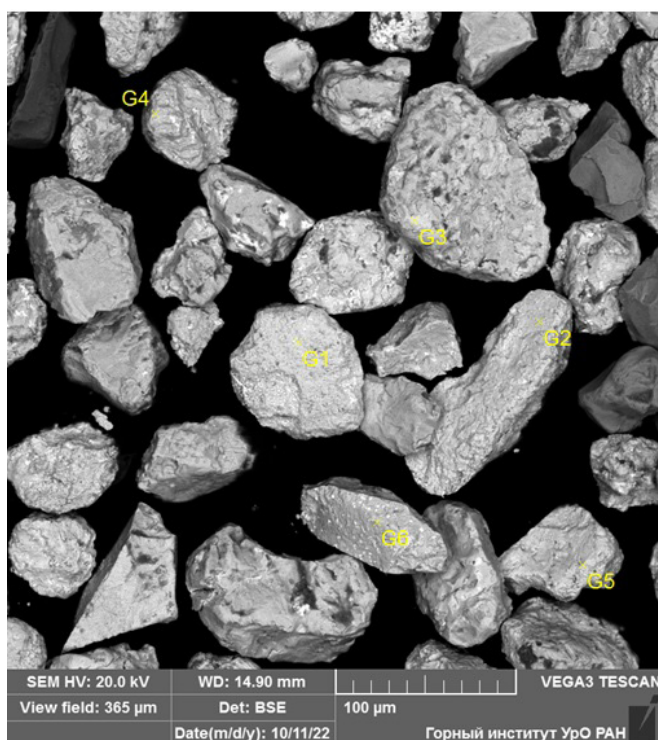
Рис. 12. Электронное фото. Магнитная фракция концентрата.
Интерметаллидные обособления Cr, Ni, Fe.
Частицы Pd, Pt, Ag, Cu, Sn, Pb в небольшом количестве



Валовый элементный состав участка 5 x 5 мм

Элементы	Содержания, %
O	22,45
Si	6,06
S	0,61
Ca	1,50
Ti	1,38
Cr	0,15
Fe	0,67
Ni	0,27
Br	1,19
Zr	3,50
Cu	23,94
Pd	7,95
Ag	5,62
Sn	18,42
Pb	6,19
Σ	100

Рис. 13. Электронное фото. Немагнитная фракция концентрата.
Интерметаллидная фракция Pd, Pt, Ag, Cu, Sn, Pb.
Частицы Cr, Ni, Fe в небольшом количестве



**Элементный состав
отдельных обособлений интерметаллидов**

Элементы	Содержания, %				
	G1	G2	G3	G4	G5
O	7,77	4,20	7,13	2,88	6,60
Al	-	-	-	-	0,27
Si	-	0,23	-	-	0,61
Fe	-	-	-	-	0,24
Ni	-	0,25	-	-	0,44
Cu	11,31	16,41	31,05	38,73	32,14
Pd	8,09	19,43	17,92	8,18	22,32
Ag	32,60	13,62	6,93	6,28	3,27
Sn	34,81	39,80	35,10	38,12	29,56
Pt	-	4,64	1,87	1,33	2,04
Pb	5,17	1,19	-	4,48	2,26
As	0,24	0,14	-	-	0,13
Σ	100	100	100	100	100

*Рис. 14. Электронное фото. Немагнитная фракция. Деталь.
Фракция -0,045 мм. Обособления Pd, Pt, Ag, Cu, Sn, Pb*

Обсуждение результатов

Результаты исследований свидетельствуют, что гидроциклонирование осуществляет вторую часть технологического передела, формируя пески (предконцентрат), и уменьшает объем перерабатываемого материала. В опытах по дешламации истертого материала огарков объем материала после гидроциклонирования уменьшался. Выход песков в ряде опытов составлял от 10 до 2-5% от первоначального объема, что зависит от степени истирания огарка. Дело в том, что достигнуть степени истирания материала до -0,045 мм крайне трудно. Скорее всего, в промышленном варианте выход песков будет составлять около 10%.

Тем не менее, следующая часть процесса переработки (центробежная сепарация песков) может использовать оборудование, в котором объем перерабатываемого материала меньше на порядок. Это уменьшает площади производственных помещений, масштаб и производительность оборудования, экономические показатели в целом. В этом плане гидроциклоны являются наиболее производительным оборудованием и наиболее экономичным.

Необходимо отметить, что дальнейший процесс переработки также складывается с сохранением «кратности» уменьшения объема материала уже практически на два порядка, т.к. применение центробежных сепараторов для гравитационного обогащения песков уменьшает объем обрабатываемого материала практически на два порядка.

Выход концентрата после обогащения песков составляет 1%. Выход от исходного материала составляет 0,001%. Это дает основание считать, что гидроциклонирование в комплексе с центробежной сепарацией обеспечивает наиболее оптимальный уро-

вень концентрации для дальнейшей стадии передела. В свою очередь, это обеспечивает возможность разработки исходных данных для проектирования и создания промышленных модулей переработки шламов.

Заключение

Разработано два технологических передела, в которых гидроциклонирование занимает разные позиции:

1. Система гидроциклонирования в схеме технологического передела галургических шламов осуществляет процесс подготовки шламов к основному переделу – обжигу и кислотно-сорбционному процессу извлечения из огарка коллективного концентрата благородных металлов, направляемого далее на аффинаж.

2. В схеме переработки складированных флотационных шламов система гидроциклонирования становится главной после обжига в ряду основных операций – грануляция шламов, обжиг, гидроциклонирование, с выходом песков до 10% и шламов до 90%, что позволяет 10-кратно уменьшить масштаб оборудования для дальнейших операций. Далее следует центробежная сепарация песков. Конечным продуктом является концентрат, представляющий собой смесь интерметаллидов Pd, Pt, Ag, Cu, Sn, Pb и интерметаллидов Fe, Cr, Ni. Электромагнитная сепарация позволяет разделить смесь этих интерметаллидов. Далее концентрат Pd, Pt, Ag, Cu, Sn, Pb направляется на аффинаж.

Библиографический список:

1. *Сметанников А.Ф., Оносов Д.В., Чистяков А.А., Синегрибов В.А., Новиков П.Ю., Красноштейн А.Е.* Способ получения коллективного концентрата. Патент на изобретение RU 2385772 С.1, 10.04.2010. Заявка № 2008138814/03 от 29.09.2008
2. *Незговорова Н.Н., Шевкунова М.Ю., Сметанников А.Ф., Синегрибова О.А.* Изучение поведения палладия и примесей при отмывке обожженных отходов производства хлорида калия. Химическая технология. 2011. Т.12. №5. С. 278-282.
3. *Сметанников А.Ф., Филиппов В.Н.* Некоторые особенности минерального состава соляных пород и продуктов их переработки (на примере Верхнекамского месторождения солей)//Проблемы минералогии, петрографии и металлогении. Научные чтения памяти П.Н. Чирвинского. 2010. №13. С. 99-113.
4. *Сметанников А.Ф., Филиппов В.Н., Янулова Л.А.* Минеральный состав пигмента сильвинов Верхнекамского месторождения солей. Геология и полезные ископаемые Западного Урала. 2000. С. 71.
5. *Сметанников А.Ф., Оносов Д.В., Оносова Е.Ф., Сметанников А.Ф.* Способ извлечения палладия, платины, серебра из отходов переработки калийно-магниевых руд: Патент на изобретение RU № 70546. МПК С22В 11/06 (2006.01) // атентообладатель ООО «Горно-технологическая корпорация Западный Урал». – № 2021116441; заявл. 07.06.21; опубл. 18.04.22, Бюл. № 11.
6. *Оносов Д.В., Сметанников А.Ф.* Способ переработки флотационных шламов и углеродистых сланцев, содержащих органические соединения благородных металлов, технологическое тестирование малообъемных проб // Горное Эхо, 2024, №3, С.
7. *Сметанников А.Ф.* Связь благородных металлов с органическим веществом соляных пород и углеродистых сланцев // Материалы международной конференции «Плаксинские чтения - 2024», г. Апатиты, 23-27 сентября 2024 г., стр. 434-439
8. *Сметанников А.Ф., Косолапова А.И., Корляков К.Н., Оносов Д.В., Фомин Д.С., Ямалтдинова В.Р., Шишков Д.Г., Оносова Е.Ф.* Концепция использования комплексных удобрений пролонгированного действия на основе отходов переработки калийно-магниевых руд как новой парадигмы в улучшении плодородия почв//Бюллетень почвенного института им. В.В. Докучаева. 2019. № 10. С.133-158
9. *Шишков Д.Г., Корляков К.Н., Васбиева М.Т., Цёма Л.Г., Сметанников А.Ф., Ямалтдинова В.Р.* Использование продукта переработки К-МГ руд как комплексной мелиорирующей добавки на

дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почве в Предуралье // Вестн. Перм. фед. исслед. центра. – 2022. – № 4. – С. 26-34. – DOI: 10.7242/2658-705X/2022.4.3.

10. *Оносов Д.В., Сметанников А.Ф.* О возможности использования вторичных отходов из складированных флотационных шламов после извлечения из них Pd, Pt, Ag в качестве комплексных удобрений // Горное эхо. 2023. №3. (92). С. 48-52.

Для цитирования:

Оносов Д.В., Сметанников А.Ф. Особенности технологии гидроциклонирования при смене способа переработки шламов // Вестник Пермского федерального исследовательского центра. – 2026. – № 1. – С. 33–45. <https://doi.org/10.7242/2658-705X/2026.1.3>

Сведения об авторах:

Оносов Дмитрий Валентинович, ведущий инженер сектора технологической минералогии, Горный институт УрО РАН – филиал Пермского федерального исследовательского центра УрО РАН («ГИ УрО РАН»), 614007, г. Пермь, ул. Сибирская, 78А; e-mail: onosov@inbox.ru, ORCID: 0000-0002-9444-7748
Сметанников Андрей Филиппович, доктор геолого-минералогических наук, заведующий сектором технологической минералогии, «ГИ УрО РАН»; e-mail: smetannikov@bk.ru, ORCID: 0000-0001-7136-7158

FEATURES OF HYDROCYCLONING TECHNOLOGY WHEN CHANGING THE SLUDGE PROCESSING METHOD

Onosov D.V., Smetannikov A.F.

Mining Institute UB RAS, Perm

A method has been developed for processing stockpiled (flotation) sludge for the purpose to extract precious metals. One of the main stages is the process of three-phase hydrocycloning of calcined sludge (cinders) using primary and secondary hydrocyclones at each stage. The ground cinder is pulped and fed to a series of hydrocyclones with taper angles of 10, 7 and 5 degrees. These hydrocyclones desludge the ground cinders and produce sands for centrifugal separation, yielding a concentrate consisting of a mixture of intermetallic compounds (Pd, Pt, Ag, Cu, Sn, Pb) and intermetallic compounds (Fe, Cr, and Ni). Magnetic separation allows for the separation of these intermetallic compounds. The result of using three-phase hydrocycloning was a 10-fold reduction in the volume of ground cinder, which, in turn, made it possible to reduce the scale of equipment in centrifugal separation operations for sand by 10 times.

Keywords: *stockpiled flotation sludge, high-temperature roasting, hydrocyclones, organic matter, intermetallic compounds of palladium, platinum, silver, chlorides, material composition*

Поступила в редакцию: 29.11.2025

Принята к публикации: 03.04.2026

АНАЛИЗ СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ ИЗУЧЕННОСТИ ПРИЧИН САМОВОЗГОРАНИЯ СУЛЬФИДНЫХ РУД

Ольховский Д.В., Горный институт УрО РАН, Пермь

Паршаков О.С., Горный институт УрО РАН, Пермь

Зайцев А.В., Горный институт УрО РАН, Пермь

Кузьминых Е.Г., Горный институт УрО РАН, Пермь

В работе проведен анализ текущего состояния изученности процессов самовозгорания сульфидных руд. Приведены основные факторы разогрева сульфидных руд, среди которых ключевым является превышение тепловыделений от окислительных процессов над уровнем тепловых потерь в окружающую среду. Основным фактором, определяющим уровень тепловых потерь, является геометрический размер штабеля. Отмечено, что малоизученными факторами ускорения процессов окисления сульфидных руд являются температура, фракционный и минералогический состав сульфидных руд, а также наличие взрывчатых веществ на основе аммиачной селитры. Представлен обзор мирового опыта экспериментальных исследований и методик по определению склонности сульфидных руд к самонагреву и возгоранию. Отмечается, что существующие методики и математические модели штабелей не позволяют достоверно определять условия самонагрева и самовозгорания сульфидных руд. На основе этого определены дальнейшие направления исследований по установлению условий возникновения самонагрева и возгорания сульфидных руд в подземных выработках и в штабелях руды.

Ключевые слова: сульфидные руды, эндогенные пожары, самонагрев, самовозгорание, глубокий рудник

Введение

Увеличение глубины ведения добычных работ приводит к росту температуры породного массива, и, как следствие, к ускорению окислительных процессов сульфидных руд и увеличению риска возникновения пожаров. Для предупреждения возникновения возгораний на предприятиях угольной промышленности разработана нормативно-правовая база, направленная на предупреждение пожаров [1, 2]. Аналогичных документов для сульфидных месторождений, закрепленных в России законодательно, разработано не было. Современное состояние изученности вопроса возгорания сульфидных руд не позволяет достоверно определить условия, при которых достигается разогрев до температуры воспламенения, которая, согласно многочисленным исследованиям, находится в диапазоне 280-500°C [3, 4, 5] в зависимости от фракции и минерального состава. В результате возникающие эндогенные пожары в лучшем случае приводят к финансовым потерям, обусловленным ликвидацией аварии и простоем рудника, а в худшем случае приводят к несчастным случаям и выводу части запасов за баланс.

Целью данной статьи является определение текущего состояния изученности причин самовозгорания сульфидных руд на горных предприятиях и формирование дальнейших направлений исследований по определению условий самонагрева и возгорания сульфидных руд.

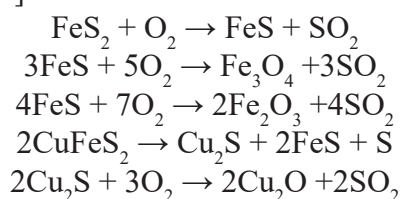
Факторы разогрева сульфидных руд

Причины разогрева и возгорания руд делятся на две основные группы – эндогенные, возникающие без внешнего воздействия источников тепла, и экзогенные, когда разогрев происходит в результате воздействия внешнего источника. К эндогенным причинам разогрева сульфидных руд можно отнести процессы окисления, адсорбирования влаги из воздуха [6], растворение в воде серной кислоты и сульфатов (которые образуются в результате окисления сульфидных руд при наличии воды [7, 8]), реагирование серной кислоты с сульфидами. В случае, если от рассматриваемой системы (например, штабель руды) тепла отводится меньше, чем выделяется, происходит самонагрев, в результате которого может быть достигнута температура, при которой начинается горение.

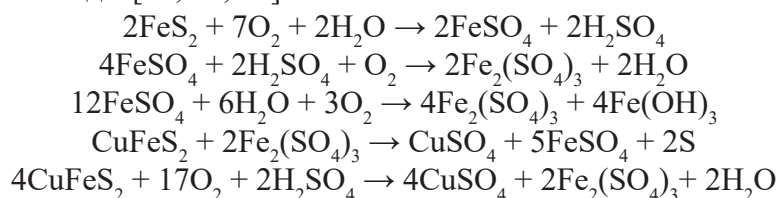
Основной причиной тепловыделений является процесс окисления руды кислородом из воздуха [9], изучению причин ускорения которого посвящено множество работ. В исследованиях выделяются следующие факторы, ускоряющие окисление сульфидных руд:

- температура [3, 10, 4, 5];
- влажность воздуха и руды [11, 6, 8, 7, 12];
- бактериологическое окисление [13, 8, 14];
- фракционный состав [4, 15, 16];
- минералогический состав [17, 9].

При контакте сульфидных руд с воздухом возможно большое количество вариантов протекания экзогенных химических реакций, конечным продуктом которых являются оксиды металлов, соли серной кислоты и сернистый газ, который представляет серьёзную угрозу для горных предприятий [18, 19]. Известен несчастный случай на Орловском месторождении в Казахстане, произошедший в результате выделения сернистого газа по причине саморазогрева сульфидных руд до температур 60-80°C. Ниже приведены примеры возможных реакций для пирита (FeS₂) и халькопирита (CuFeS₂): в сухом состоянии [20, 21]:



в присутствии воды [22, 23, 24]:



Однако необходимо отметить, что при достижении рудой температур 80-120°C практически вся вода испаряется [10, 25] и роль таких факторов ускорения окисления, как влажность воздуха и руды, бактериологическое окисление [26], а также разогрев в результате адсорбирования влаги, растворение серной кислоты [27] и сульфатов в воде существенно снижается. На основе этого можно сделать вывод о том, что эти факторы могут дать только первичный рост температуры руды, за счет которого для возгорания должны достаточно ускоряться окислительные процессы сухих сульфидных

руд, а объем выделения тепла должен быть достаточен для компенсации потерь в результате испарения влаги и снижения скорости окисления. Поэтому ключевыми параметрами для определения условий самовозгорания, на наш взгляд, являются зависимости окислительных процессов сухих сульфидных руд от температуры, фракционного и минералогического состава. В случае, если будет установлен набор параметров, при котором исследуемая сухая сульфидная руда при температурах 80-120°C может самонагреться, то необходимо проведение исследований руды в увлажненном состоянии.

Кроме окислительного процесса, наличие самонагрева определяют геометрические параметры объекта. Известно, что наиболее частым местом возникновения эндогенных пожаров являются места складирования раздробленных пород (навалы, штабеля) [28], в то время как монолитные руды (стенки выработок) не загораются. Вероятность возникновения пожара в навалах и штабелях увеличивается при росте их геометрических размеров [29]. Согласно исследованию [15], это связано с тем, что генерация тепла от окисления зависит от объема навала, а потери от его площади поверхности. Так как при увеличении навала его объем растет быстрее, чем площадь поверхности, то температура внутри навала, при которой достигается тепловое равновесие с окружающей средой, имеет более высокие значения. Помимо этого, при увеличении объема навала растет термическое сопротивление между его центром и окружающей средой, что так же приводит к росту его температуры. В результате в центре навалов достаточно больших размеров температура руды может превышать температуру воспламенения. Кроме того, в работе отмечается, что увеличение температуры окружающей среды приводит к увеличению выделения тепла и снижению его отвода породой. Таким образом, одной из актуальных задач является определение критического размера навала руды, при котором нагрев пород до температуры воспламенения исключен.

Необходимо отметить, что на критический размер штабеля влияет фракционный состав породы и скорость движения воздуха, омывающего штабель. Это определяет объем фильтрации воздуха между частицами пород в штабеле, что в свою очередь обуславливает уровень отвода тепла и поступления кислорода. Исследования фильтрации воздуха через штабель проводились в угольной промышленности [30], однако аналогичных исследований для сульфидных руд найти не удалось.

К другим причинам возникновения пожаров сульфидных руд, представляющим научный интерес, можно отнести взаимодействие руд с взрывчатыми веществами (ВВ) [17].

Согласно проводимым исследованиям установлено, что взрывчатые вещества на основе аммиачной селитры при контакте с сульфидными рудами становятся химически нестабильны и могут начать разлагаться [31, 32, 33]. В процессе разложения аммиачной селитры выделяются вода, тепло и окислитель (N_2O или O_2), что ускоряет окислительные процессы сульфидных руд. Результаты исследований [34] показали, что температура начала интенсивной потери массы при разложении исследованных ВВ снижается с 160-190°C до 120-140°C, что может значительно упростить условия возникновения очагов возгорания. Найденные исследования не позволяют дать ответ на вопрос, при каких температурных условиях и за какое время контакт взрывчатого вещества с сульфидной рудой может привести к возникновению очага пожара. Поэтому необходимо провести дополнительные изыскания, направленные на определение экзотермического эффекта, образующегося при контакте сульфидных руд с взрывчатыми веществами при различных температурах.

Экспериментальные исследования окислительных процессов

Для количественной оценки протекания окислительных процессов в большинстве отечественных работ определяется скорость сорбции кислорода 1 г руды [35, 7, 4], которая выражается в $\text{см}^3/(\text{г}\cdot\text{ч})$. В основном исследования проводятся по методике Веселовского, описанной в [15].

В работе [7] установлено, что скорость сорбции может увеличиваться на порядки при увлажнении образцов сульфидной руды (см. таблицу 1).

Таблица 1

Скорость сорбции кислорода образцов сульфидных руд в зависимости от увлажненности (при температуре 25°C)

Образец	Время от начала сорбции, ч	Скорость сорбции кислорода сухой рудой, $\text{см}^3/(\text{г}\cdot\text{ч})$	Скорость сорбции кислорода, увлажненной до 3% рудой, $\text{см}^3/(\text{г}\cdot\text{ч})$	Скорость сорбции кислорода, увлажненной до 10% рудой, $\text{см}^3/(\text{г}\cdot\text{ч})$
№ 1	24	0,0024	0,6976	0,3224
	72	0,0016	0,3875	0,3797
	120	0,0014	0,1932	0,4582
№ 2	24	0,0008	0,0144	0,01170
	72	0,0004	0,0197	0,0237
	120	0,0002	0,0215	0,0261
№ 3	24	0,0004	0,0055	0,0083
	72	0,0002	0,0084	0,0128
	120	0,0001	0,0072	0,0105
№ 4	24	0,0003	0,0108	0,0175
	72	0,0001	0,0029	0,0037
	120	0	0,0013	0,0019
№ 5	24	0,0012	0,0018	0,0019
	72	0,0010	0,0006	0,0005
	120	0,0004	0,0001	0,0001

В работе [4] представлены результаты определения скорости сорбции кислорода различными образцами сульфидных руд в зависимости от времени контакта с воздухом (см. таблицу 2). Исследования, проводимые в течение нескольких лет, показали, что скорость поглощения кислорода сульфидными рудами медленно снижается. Наибольшая скорость поглощения кислорода наблюдается в первые сутки после дробления.

В [15] приводятся результаты исследований скорости сорбции кислорода в зависимости от фракционного состава (см. таблицу 3).

Отмечается, что скорость сорбции не пропорциональна внешней поверхности зерен измельченного пирита: для двух фракций отношение скоростей меньше, чем отношение поверхностей. С повышением температуры отношение скоростей увеличивается. Эти факты указывают на то, что реагирующей является не внешняя поверхность зерен, а некоторая внутренняя.

Также в работе [15] приведены результаты экспериментальных исследований скорости сорбции кислорода в зависимости от температуры (см. таблицу 4).

Таблица 2

**Изменение скорости поглощения кислорода сульфидными рудами
в зависимости от времени контакта с воздухом**

Тип руды	Постоянная скорость поглощения кислорода за период с начала эксперимента, см ³ /(г·ч)							
	0-24 ч	50-250 ч	50-500 ч	50-1000 ч	50-2000 ч	50-5000 ч	50-0000 ч	50-15000 ч
Массивная галенит-сфалерит-пиритная руда	0,0210	0,0088	0,0065	0,0057	0,0040	0,0030	0,0021	0,0013
Полосчатая пирит-полиметаллическая руда	0,0292	0,0156	0,0124	0,0093	0,0083	0,0100	0,0054	0,0043
Массивная пирротиновая руда	0,0393	0,0224	0,0295	0,0229	0,0065	0,0140	0,0067	0,0032

Таблица 3

**Зависимость скорости сорбции кислорода при температуре 25°C
от степени измельчения пирита**

Размер зерен, мм	Отношение внешних поверхностей зерен	Скорость сорбции, см ³ /(г·ч)		Отношение скоростей сорбции	
		Образец № 1	Образец № 2	Образец № 1	Образец № 2
0,15 - 0,25	-	0,00080	0,00100	2	2,5
2 - 3	12,6	0,00040	0,00040	2	2
7 - 10	3,4	0,00020	0,00020	3	4
15 - 23	2,3	0,00007	0,00005	-	-

Таблица 4

Зависимость скорости сорбции кислорода (фракция 1-3 мм, влажность навесок 5 %)

№ образца	Подаваемый газ	Скорость сорбции, см ³ /(г·ч), при температуре, °С		
		0	25	50
1	Воздух	0,00005	0,00045	0,00210
2	Кислород	0,00025	0,00120*	0,00900
2	Кислород	0,00020	0,00200	0,00800

* значение 0,00120 возможно занижено.

При этом по данным [36] при разогреве сульфидной руды ее химическая активность по отношению к кислороду увеличивается в 1,4-1,6, а по данным [3] – в 1,5-2,0 раза на каждые 10°C роста температуры, что не соответствует результатам экспериментальных исследований, приведенных в таблице 4 в диапазоне 0-25°C. Поэтому, для более точного прогнозирования скорости сорбции кислорода в зависимости от температуры, применяют уравнение Аррениуса:

$$U(T) = U(T_0) \exp\left(-\frac{E_a}{R}\left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0}\right)\right), \quad (1)$$

где $U(T)$ – скорость сорбции кислорода при температуре T , К; $U(T_0)$ – скорость при температуре T_0 , К; E_a – энергия активации процесса окисления, Дж/моль; R – универсальная газовая постоянная, 8.314 Дж/(моль·К).

В данном уравнении наиболее важным параметром является энергия активации (E_a), которая характеризует зависимость скорости химического процесса от температуры (чем меньше значение E_a , тем быстрее ускоряется химическая реакция в результате роста температуры), в связи с чем её определению посвящено множество работ. В работе [37] для окисления пирита растворённым кислородом в температурном диапазоне от 20 до 40°C была определена энергия активации, равная $56,9 \pm 7,5$ кДж/моль. В работе [38] получено значение энергии активации, равное 80,9 кДж/моль. В работе [39] рассчитанные энергии активации окисления пирротина кислородом составили от 47 до 63 кДж/моль. В работе [40] отмечается, что энергия активации для никелевых и медных концентратов и смеси сфалерита и пирита находится в диапазоне 22-29 кДж/моль, на основе чего можно сделать вывод, что концентраты сульфидных руд более восприимчивы к температуре окружающей среды, чем руды. В работе также приводятся данные по энергии активации для некоторых присутствующих сульфидам химических реакций (см. таблицу 5).

Таблица 5

Энергия активации окисления сульфидных минералов

Реакция	Диапазон температур (°C)	Условия	E_a , кДж/моль
$\text{FeS} + \text{O}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow 4\text{Fe}(\text{OH})_2 + 4\text{S}^0$	25-45	pH: 2,5	47-63
$\text{FeS} + \text{O}_2 \rightarrow \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{SO}_2$	46-120	Окисление сухим воздухом	80-120
$\text{FeS} + 3/4\text{O}_2 (\text{водн.}) + 1/2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{S}(\text{водн.}) + \text{FeOOH}$	25	pH: 2.75–3.45	31-52
$\text{FeS}_2 + \text{O}_2 + 1/2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Fe}^{2+} + 2\text{SO}_4^{2-} + 2\text{H}^+$	3-25	Карбонизированный буферный раствор	88
$\text{FeS}_2 + \text{O}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Fe}^{2+} + 2\text{SO}_4^{2-} + 2\text{H}$	-	pH: 2	49-64
$\text{CuFeS}_2 + \text{O}_2 \rightarrow \text{Cu}_2\text{S} + 2\text{FeS} + \text{SO}_2$	330-440	-	222-282

Таким образом, энергия активации сульфидных руд находится в диапазоне 47-120 кДж/моль.

Учитывая довольно большой разброс получаемых значений E_a , для практического использования необходимо проведение исследований скорости сорбции кислорода при различных температурах.

На основе данных о скорости сорбции кислорода возможно провести сравнение сульфидных руд с более изученными в части причин самовозгорания углями. Известно, что наиболее склонным к самовозгоранию является бурый уголь, его усредненные теплофизические свойства, а также аналогичные свойства сульфидных руд приведены в таблице 6.

Данные исследований [7, 41, 15] указывают, что скорость окисления углей приблизительно в 20 раз выше, чем у сульфидных руд. В таблице 7 приведены диапазоны скорости окисления сульфидных руд и углей для фракции 1-3 мм при температуре 25°C [15], а так же дана оценка тепловыделений пород на основе количества тепла, образующегося при сорбции 1 см³ кислорода [15, 42].

Теплофизические свойства бурых углей и сульфидных руд

Тип породы	Плотность, кг/м ³	Теплоемкость, Дж/(кг·К)	Теплопроводность, Вт/(м·К)
Бурый уголь	1300	1440	0,25
Сульфидные руды	5700	479	3,2-6,5

Диапазон скорости сорбции кислорода сульфидных руд и углей в одинаковых условиях

Тип породы	Скорость сорбции кислорода, см ³ /(г·ч)	Количество тепла, выделяемого при сорбции 1 см ³ кислорода, Дж/см ³	Тепловыделение 1 г породы, Дж/(г·ч)	Тепловыделение 1 м ³ породы, Дж/(м ³ ·ч)	Прирост температуры в адиабатических условиях, °С/ч
Каменный уголь	0,0213-0,0433	12,6	0,26-0,54	338 000-702 000	0,181-0,375
Сульфидные руды	0,0022-0,0034	18,0	0,04-0,06	228 000-342 000	0,084-0,125

На основе приведенных данных можно сделать вывод, что сульфидные руды значительно менее склонны к самовозгоранию, чем уголь, по двум основным причинам. Во-первых, теплопроводность сульфидных руд в 13-26 раз выше, чем у бурого угля, что значительно ускоряет отвод тепла от штабелей породы и стенок выработки, в результате чего достигнуть температуры воспламенения значительно сложнее. Во-вторых, скорость приращения температуры в адиабатических условиях у угля в 1,5-4,5 раза выше, чем у сульфидных руд, что приводит к более длительному периоду возникновения очага пожара у сульфидных руд. Однако необходимо отметить, что мощность тепловыделений единиц объема сульфидных руд и углей близки по значениям, и в некоторых случаях могут совпадать. Из этого можно сделать вывод о том, что возникновение очагов возгорания в штабелях сульфидных руд и углей возможно при приблизительно равных значениях термического сопротивления между очагом и поверхностью штабеля.

Согласно источнику [15], предельная высота штабеля, которая позволяет безопасно хранить бурые угли в течение 4-6 месяцев, составляет 6-8 м. Если предположить, что критическая высота штабеля пропорциональна коэффициентам теплопроводности, то тогда для штабеля из сульфидных руд она должна составлять 78...208 м. При этом время достижения температуры воспламенения будет в разы больше, чем у бурых углей. Это довольно грубая оценка, не учитывающая влияние на теплопроводность раздробленности руд и фильтрации воздуха, однако она позволяет понять примерный порядок цифр критических размеров штабелей сульфидных руд. Тем не менее, необходимо отметить, что согласно экспериментальным данным [28, 43], в штабеле сульфидной руды высотой 1,5 м и шириной около 6 м, в центре наблюдался нагрев до температуры 100°С через 40-45 дней, после чего эксперимент прекращался.

Альтернативным способом определения критических размеров штабеля может послужить метод экспериментального определения условий теплового самовозгорания твердых веществ и материалов, описанный в документе [44]. Данный метод позволяет определить критическую температуру окружающей среды, размер штабеля и время индукции (время самовоспламенения штабеля при повышении температуры окружа-

ющей среды выше критического значения) на основе экспериментального исследования критической температуры самовозгорания образцов различных размеров.

Испытание образцов проводится в корзинках кубической формы при различных температурах. Время эксперимента регламентировано и зависит от размера корзинок, сторона которых не превышает 20 см, что не позволяет проводить испытания для крупных фракций. Кроме того, для расчетов требуется определение коэффициентов теплопроводности исследуемых фракций сульфидных руд. Таким образом, применимость данного метода для штабелей сульфидных руд требует практической проверки и некоторой доработки.

В зарубежной практике вместо скорости сорбции для оценки свойств самонагрева сульфидных руд применяется метод, разработанный бывшим Технологическим центром Норанды (NTC) специально для оценки самонагрева сульфидных минералов [25, 46], который называется методом NTC [48]. Метод был модифицирован в 2009 г. в Университете Макгилла [47].

Исследователи NTC предложили трёхстадийную модель самонагрева:

- стадия А начинается при температуре окружающей среды и заканчивается при 100°C или когда вся влага испарится;
- стадия В находится в промежутке температур 100-350°C;
- стадия С начинается в так называемой точке воспламенения (350°C), которая отличается высокой экзотермичностью.

На основе количества выделяемого сульфидной рудой тепла [49], определяемого с помощью разработанной лабораторной установки, они предложили диаграмму, по которой определяется способность сульфидных концентратов к самонагреву. Диаграмма поделена на 5 зон риска, от «безопасный» до «рекомендуются превентивные меры» (см. рисунок 1). По оси абсцисс берется значение количества выделяемого тепла в стадии А (при 70°C), а по оси ординат в стадии В (при 140°C).

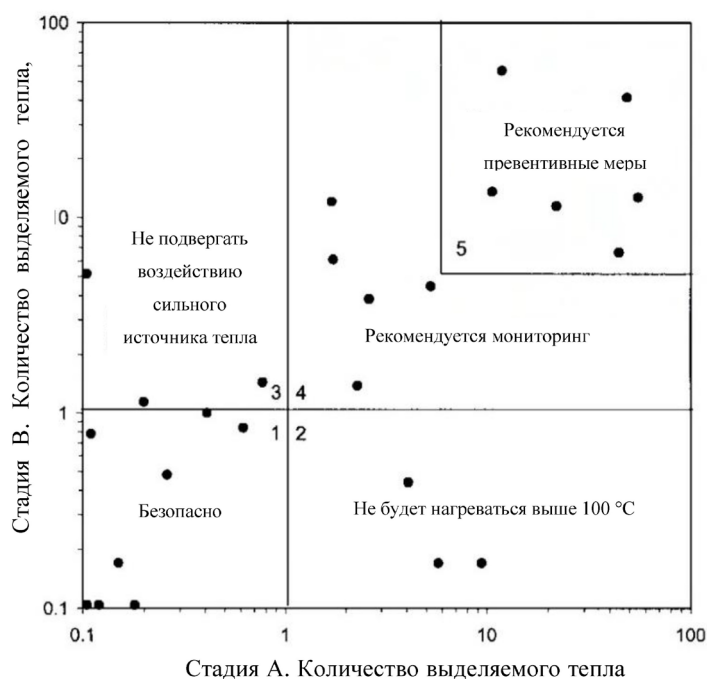


Рис. 1 Диаграмма оценки самонагрева сульфидных концентратов

Определение класса опасности руд происходит только по их мощности выделения и не учитывает их способность его отводить. Поэтому данный метод является несовершенным для определения способности руд к самонагреву. В работе [48] приведен практический опыт применения методики NTC, который показал сильную склонность к самонагреву для всех исследуемых образцов, включая эталонные образцы концентратов Thomson Mill и Clarabelle Mill, хотя на Thomson Mill и Clarabelle Mill не было зафиксировано проблем, связанных с самонагревом. В связи с этим за рубежом предпринимаются попытки по усовершенствованию существующих методик испытаний и прогнозирования самонагрева сульфидных руд.

Моделирование процессов самонагрева

Как уже было отмечено ранее, для возникновения самонагрева и возгорания сульфидных руд, помимо скорости окисления и выделения тепла, важны геометрические размеры штабеля. Контроль размеров штабелей может позволить снизить риски самовозгорания на предприятиях. Для определения критического размера штабеля необходимо учитывать множество взаимовлияющих параметров, для чего применяется численное моделирование [50]. Моделирование позволяет визуализировать процесс самонагрева и дать количественную оценку геометрическим параметрам сульфидных руд [51]. В настоящее время разработаны модели процессов окислительного самонагрева и самовозгорания угля в отвалах и местах складирования [52, 53]. Полученные результаты позволяют более точно прогнозировать и контролировать процессы самовозгорания угля. Аналогичных исследований, посвященных сульфидным рудам, достаточно мало.

В исследовании [54] разработали двумерную модель штабеля сульфидной руды на основе модели сужающегося ядра [55]. Модель довольно упрощена, так как учитывает нагрев только от биологического окисления руды и не позволяет смоделировать условия горения руды.

В недавнем исследовании [56] была разработана модель самонагрева штабеля сульфидных руд с помощью COMSOL Multiphysics, на основе динамики жидкости в пористой среде и теории теплопередачи. Модель позволяет определять динамику температур внутри штабеля, однако имеет некоторые упрощения, которые могут существенно влиять на результат. Например, мощность тепловыделения от окислительных процессов и теплопроводность штабеля задаются эмпирическим путем как функции от температуры, а снижение скорости окислительного процесса внутри штабеля в результате снижения концентрации кислорода [57] и закон Аррениуса не учитываются.

Таким образом, необходимо дальнейшее совершенствование математических моделей самонагрева штабелей сульфидных руд, в части задания тепловыделений и теплопроводности штабелей сульфидных руд.

Выводы

Приведенные в настоящей работе результаты исследований сосредоточены на анализе скорости химических реакций и процессов, протекающих на микроуровне. Безусловно, эти исследования объясняют закономерности протекания окислительных процессов сульфидных руд. Однако применить полученные результаты на практике в целях повышения уровня безопасности на горных предприятиях довольно затруднительно.

Для обоснования безопасных условий ведения горных работ или складирования сульфидной руды важно понимать, при каких параметрах штабеля и окружающей его атмосферы существует риск самовозгорания руды. В связи с чем, во-первых, требуется корректно определить объем тепловыделений (либо при помощи натуральных измерений, либо путем теоретических расчетов с учетом объема потребляемого кислорода) при более крупных фракциях и высоких температурах руды. Существующие исследования скорости сорбции проводились по методике Веселовского при низких температурах (до 50°C) и только для относительно мелких фракций (до 23 мм), что не позволяет адекватно параметризовать математические модели.

Во-вторых, необходимо знать, какое количество теплоты теряет штабель руды в окружающую его среду, для этого нужно учитывать теплопроводность штабеля и уровень фильтрации воздуха через него. Исследования, посвященные изучению теплофизических и геометрических параметров штабелей в процессе их окисления, встречаются в угольной промышленности, однако данная область для сульфидных руд малоизучена.

Кроме этого, следует отметить, что на сегодняшний день малоизучены вопросы газовыделений сульфидных руд и их взаимодействие с взрывчатыми веществами. Ограниченный объем экспериментальных данных не позволяет получить надежные результаты прогноза объема газовыделений и условий возгорания в результате взаимодействия с взрывчатыми веществами.

Проведенный анализ позволяет сформулировать дальнейшие направления научных исследований:

1. Разработать тепловую математическую модель штабеля сульфидных руд, учитывающую основные механизмы выделения тепла и теплообмена с окружающей средой.
2. Для параметризации модели определить скорость сорбции кислорода с учетом фактических фракций горного производства и влияния температуры, а также коэффициенты теплопроводности и фильтрации воздуха.
3. Определить объем выделения ядовитых газов при окислении сульфидных руд в зависимости от температуры и влажности образцов.
4. Провести экспериментальные исследования экзотермического эффекта, образующегося при контакте сульфидных руд с взрывчатыми веществами при различных температурах.

Решение поставленных задач совместно с проведением экспериментальных исследований и созданием методологии предупреждения пожароопасности сульфидных руд позволит снизить риск возникновения эндогенных пожаров при разработке глубоких месторождений.

Библиографический список

1. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила безопасности в угольных шахтах»: утв. приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 8 декабря 2020 г. № 507.
2. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Инструкция по предупреждению экзогенной и эндогенной пожароопасности на объектах ведения горных работ угольной промышленности»: утв. приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 27 ноября 2020 г. № 469.
3. Жолмагамбетов Н.Р., Медеубаев Н.А., Народхан Д., Рахимберлина А.А., Сыздыкбаева Д.С. Анализ причин самовозгорания сульфидных руд // Актуальные проблемы экологии и природопользования: сборник научных трудов XVIII Всероссийской научно-практической конференции, Москва, РУДН, 2017. – С. 168-173.

4. *Ismayilov R. T., Karimov V. M., Zeynalova S. A.* Study of spontaneous combustion of the main industrial types of sulphide ores of sulphide-polymetallic deposits of Azerbaijan // *Journal of Geology, Geography and Geoecology*. – 2023. – Vol. 32. – №. 1. – P. 59-66. DOI:10.15421/112307
5. *Крупнов Л. В., Пахомов Р. А., Цымбулов Л. Б., Цемехман Л. Ш.* Исследования кинетики окислительных процессов сульфидных концентратов различного гранулометрического состава // *Современные технологии производства цветных металлов: материалы Международной научной конференции, посвященной 80-летию СС Набойченко, Екатеринбург, 24–25 марта 2022 г.* – Екатеринбург, 2022. – Издательство Уральского Университета, 2022. – С. 236-247.
6. *Брагина П. С.* Самовозгорание угольных отвалов в Кемеровской области // *Вестник Кузбас. гос. пед. акад.* – 2013. – С. 57-64.
7. *Портола В. А., Бобровникова А.А., Палеев Д.Ю., Еременко А.А., Шапошник Ю.Н.* Исследование скорости сорбции кислорода самовозгорающимися сульфидными рудами // *Безопасность труда в промышленности*. – 2020. – №. 1. – С. 57-62.
8. *Mal'tsev S. V., Chaikovskii I. I., Grishin E. L., & Isaevich A. G.* Analysis of Oxidation of Sulfide Minerals in Copper–Nickel Deposits // *Journal of Mining Science*. – 2022. – Vol. 58. – №. 2. – P. 289-299. DOI:10.1134/S1062739122020120
9. *Özdeniz A. H., Kelebek S.* A study of self-heating characteristics of a pyrrhotite-rich sulphide ore stockpile // *International Journal of Mining Science and Technology*. – 2013. – Vol. 23. – №. 3. – С. 381-386. DOI:10.1016/j.ijmst.2013.05.022
10. *Theiler, J., Beamish, B.* Spontaneous combustion of sulfide ores and concentrates – assessing the hazard likelihood // *AusIMM Bulletin*. – 2022. – URL: <https://www.ausimm.com/bulletin/bulletin-articles/spontaneous-combustion-of-sulfide-ores-and-concentrates--assessing-the-hazard-likelihood/> (дата обращения: 25.07.2025).
11. *Голынская Ф. А.* Исследование влияния генетической влаги на процесс самовозгорания углей // *Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал)*. – 2013. – № 9. – P. 183-187.
12. *Payant R., Rosenblum F., Nessel J. E., & Finch J. A.* The self-heating of sulfides: Galvanic effects // *Minerals Engineering*. – 2012. – Т. 26. – С. 57-63. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2011.10.019>
13. *Boon M.* The mechanism of ‘direct’ and ‘indirect’ bacterial oxidation of sulphide minerals // *Hydrometallurgy*. – 2001. – № 62. – P.67-70.
14. *Gleisner M., Herbert Jr R. B., Kockum P. C. F.* Pyrite oxidation by *Acidithiobacillus ferrooxidans* at various concentrations of dissolved oxygen // *Chemical geology*. – 2006. – Vol. 225. – №. 1-2. – P. 16-29. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2005.07.020>
15. Самовозгорание промышленных материалов / В.С. Веселовский, Н.Д. Алексеева, Л.П. Виноградова, Г.Л. Орлеанская, Е.А. Терпогосова — М.: Наука, 1964. — 248 с.
16. *Liu, H., Pan, K., Xiang, C., Ye, D., Wang, H., & Gou, X.* Mechanochemical effect of spontaneous combustion of sulfide ore // *Fuel*. – 2022. – Vol. 329. – P. 125391. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2022.125391>
17. *Рыльникова М. В., Айнбиндер Г.И., Митишова Н.А., Гаджиева Л.А.* Исследование закономерностей возгорания сульфидных руд и пород при комбинированной разработке месторождений // *Известия Тульского государственного университета. Науки о земле*. – 2020. – №. 2. – С. 341-356.
18. *Портола В. А., Крупник Л. А., Шапошник Ю. Н., Шапошник С. Н.* Изучение влияния различных факторов на выделение ядовитых газов при самовозгорании сульфидных руд // *Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук*. – 2020. – Т. 7. – №. 1. – С. 124-130.
19. *Левин Л. Ю., Кормицков Д. С., Гришин Е. Л.* Исследование процессов изменения рудничной атмосферы для определения причин произошедшего группового несчастного случая на одном из рудников РФ // *Горное эхо*. – 2020. – №. 3. – С. 115-119.
20. *Рафиенко В. А.* О механизме выщелачивания сульфидов из шунгитовых пород // *Горный информационно-аналитический бюллетень (Научно-технический журнал)*. – 2007. – №. 9. – С. 38-48.
21. *Ермолаев А. И., Тетерев Н. А.* Анализ исследований в области взрывов пыли и их предупреждения на подземных рудниках // *Известия высших учебных заведений. Горный журнал*. – 2015. – №. 8. – С. 75-80.
22. *Кико Д. С.* Изменение серноколчеданных руд при техногенных процессах // *Геология, геоэкология и ресурсный потенциал Урала и сопредельных территорий*. – 2016. – №. 4. – С. 227-230.

23. Вигдергауз В. Е., Макаров Д. В., Маслобоев В. А., Белогуб Е. В., Шрадер Э. А., Бочарова И. В., Кузнецова И. Н., Саркисова Л. М., Меньшиков Ю. П. Исследование закономерностей окисления и изменения технологических свойств уральских медно-цинковых руд // Минералогия техногенеза. – 2011. – №. 12. – С. 138-160.
24. Jin, H., Pan, W., Shen, X., & Cheng, S. Nonlinear Determination Method for Self-Heating Initiative Temperature of Sulfide Ores // Complexity. – 2020. – №. 1. DOI:10.1155/2020/1709158
25. Rosenblum F., Nessel J., Spira P. Mineral Processing v Evaluation and control of self-heating in sulphide concentrates // Cim. Org. – 2001. – Vol. 94.
26. Ремезов А. В. Почему существуют эндогенные пожары? // Инновации в технологиях и образовании. – 2016. – С. 106-120.
27. Davis G. B., Ritchie A. I. M. A model of oxidation in pyritic mine wastes: part 1 equations and approximate solution // Applied mathematical modelling. – 1986. – Vol. 10. – №. 5. – P. 314-322. [https://doi.org/10.1016/0307-904X\(86\)90090-9](https://doi.org/10.1016/0307-904X(86)90090-9)
28. Liu, H., Wang, Z., Zhong, J., & Xie, Z. Early detection of spontaneous combustion disaster of sulphide ore stockpiles // Technical Gazette/Tehnički Vjesnik. – 2015. – Vol. 22. – №. 6. DOI:10.17559/TV-20150522125313
29. Греков С. П., Пашковский О. П. Минимальные пожаробезопасные размеры породных отвалов угольных шахт // Научный вестник НИИГД Респиратор. – 2019. – №. 1. – С. 86-93.
30. Портола В. А., Жданов А. Н., Бобровникова А. А. Анализ условий, способствующих развитию процесса самовозгорания в штабелях угля // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2022. – №. 6-1. – С. 187-197.
31. Рьльникова М. В., Митишова Н. А. Методика исследований взрывоопасности убогосульфидных руд при подземной отработке колчеданных месторождений // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2019. – №. 9. – С. 41-51.
32. Козырев С. А., Власова Е. А. Исследование химического взаимодействия аммиачной селитры с сульфидсодержащими минералами в составе гематит-магнетитовых кварцитов Оленегорского месторождения // Вестник Кольского научного центра РАН. – 2019. – №. 2. – С. 54-60.
33. Маслов И. Ю., Горинов С. А. Вопросы экспериментального обоснования безопасного применения аммиачно-селитренных ВВ в сульфидсодержащих горных породах // Взрывное дело. – 2020. – №. 126-83. – С. 68-84.
34. Савин П. И., Петров Е. А. Исследование химической стабильности промышленных ВВ в сульфидных рудах. // Южно-сибирский научный вестник. – 2023. – №. 5. – С. 192-198.
35. Ismayilov, R.T. (1975). Oxidizing activity of sulfide ores. Sat. «Safety, labor protection and mine rescue business», Vol. 10, P. 37-43
36. Инструкция по предупреждению и тушению подземных эндогенных пожаров на горнорудных предприятиях министерства цветной металлургии СССР. 1981г., 44 с.
37. McKibben M. A., Barnes H. L. Oxidation of pyrite in low temperature acidic solutions: Rate laws and surface textures // Geochimica et Cosmochimica Acta. – 1986. – Vol. 50. – №. 7. – P. 1509-1520. [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(86\)90325-X](https://doi.org/10.1016/0016-7037(86)90325-X)
38. Ilyas A., Hawboldt K., Khan F. Thermal stability investigation of sulfide minerals in DSC // Journal of hazardous materials. – 2010. – Vol. 178. – №. 1-3. – P. 814-822. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2010.01.149>
39. Janzen M. P., Nicholson R. V., Scharer J. M. Pyrrhotite reaction kinetics: reaction rates for oxidation by oxygen, ferric iron, and for nonoxidative dissolution // Geochimica et Cosmochimica Acta. – 2000. – Vol. 64. – №. 9. – P. 1511-1522. DOI:10.1016/S0016-7037(99)00421-4
40. Ngabe B., van der Spuy J. E., Finch J. A. Estimating activation energy from a sulfide self-heating test // Minerals Engineering. – 2011. – Vol. 24. – №. 15. – P. 1645-1650. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2011.08.019>
41. Портола В. А., Торосян Е. С. Влияние антипирогенов на сорбционную активность разогретого угля // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2016. – №. 3 (115). – С. 15-21.
42. Li S. H., Parr S. W. The oxidation of pyrites as a factor in the spontaneous combustion of coal // Industrial & Engineering Chemistry. – 1926. – Vol. 18. – №. 12. – P. 1299-1304.
43. Pan, W., Wu, C., Li, Z. J., Wu, Z. W., & Yang, Y. P. Evaluation of spontaneous combustion tendency of sulfide ore heap based on nonlinear parameters // Journal of Central South University. – 2017. – Vol. 24. – №. 10. – P. 2431-2437.

44. ГОСТ 12.1.044-2018 «Система стандартов безопасности труда. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения»
45. *Rosenblum F., Spira P., Konigsmann K. V.* Evaluation of hazard from sulphide oxidation // Proceedings of the 141 h International Mineral Processing Congress, Paper IX-2. – 1982.
46. *Rosenblum F., Spira P.* Evaluation of hazard from self-heating of sulphide rock // CIM bulletin. – 1995. – Vol. 88.
47. *Wang X., Rosenblum, F., Nasset, J. E., Finch, J. A., & Somot, S.* Oxidation, weight gain and self-heating of sulphides. – 2009.
48. *Dai Z.* Development of an experimental methodology for sulphide self-heating studies and the self-heating tendency of Vale's Voisey's Bay Concentrator products // Minerals Engineering. – 2016. – Vol. 92. – P. 125-133. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2016.03.006>
49. *Ngabe B., Finch J. A.* Self-heating: Estimation of the heat release coefficient QA for Ni-and Cu-concentrates and sulphide mixtures // Minerals Engineering. – 2014. – Vol. 64. – P. 126-130. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2014.05.027>
50. *Bustamante Rúa, M.O., Daza Aragon, A.J., Bustamante Baena, P.*, 2019. A study of fire propagation in coal seam with numerical simulation of heat transfer and chemical reaction rate in mining field // International Journal of Mining Science and Technology. – 2019. – Vol. 29. – №. 6. – P. 873-879. <https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2019.09.003>.
51. *Yang, S., Hu, X., Liu, W.V., Cai, J., Zhou, X.* Spontaneous combustion influenced by surface methane drainage and its prediction by rescaled range analysis // International Journal of Mining Science and Technology. – 2018. – Vol. 28. – №. 2. – P. 215-221. <https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2017.12.004>.
52. *Yang, S., Zhou, B., Wang, C.*, 2021. Investigation on coal spontaneous combustion in the gob of Y type ventilation caving face: A case study. Process Saf. Environ. 148, P. 590–603. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2020.11.024>.
53. *Zhou, A., An, J., Wang, K., Zhang, J., Liu, Y., Wang, J., Si, G., Wang, W.*, 2024. Modeling and parametric analysis of low-temperature oxidative self-heating in coal stockpiles driven by natural convection. Fuel 361, 130670. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2023.130670>
54. *Sidborn, M., Casas, J., Martinez, J., & Moreno, L.* Two-dimensional dynamic model of a copper sulphide ore bed //Hydrometallurgy. – 2003. – Т. 71. – №. 1-2. – С. 67-74. [https://doi.org/10.1016/S0304-386X\(03\)00178-6](https://doi.org/10.1016/S0304-386X(03)00178-6)
55. *Levenspiel O.* Chemical reaction engineering. – John wiley & sons, 1998.
56. *Liu, W., Huang, Y., Yin, H., Yang, F., & Hong, Y.* Multi-physics modelling and simulation on the spontaneous heating of sulfide ores // Process Safety and Environmental Protection. – 2025. – P. 107304. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2025.107304>
57. *Steinepreis M.* Investigation of gas transport rates through a covered waste rock pile and synchrotron studies on the sulfide oxidation reaction: Doctoral dissertation – University of Waterloo, 2017.

Благодарности:

Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках государственного задания (рег. номер НИОКТР: 126012716039-2)

Для цитирования:

Ольховский Д.В., Паршаков О.С., Зайцев А.В., Кузьминых Е.Г. Анализ современного состояния изученности причин самовозгорания сульфидных руд // Вестник Пермского федерального исследовательского центра. – 2026 – № 1. – С. 46–59. <https://doi.org/10.7242/2658-705X/2026.1.4>

Сведения об авторах:

Ольховский Дмитрий Владимирович, кандидат технических наук, научный сотрудник лаборатории развития горного производства, Горный институт УрО РАН – филиал Пермского федерального исследовательского центра УрО РАН («ГИ УрО РАН»), 614007, г. Пермь, ул. Сибирская, 78а; e-mail: demexez@gmail.com, ORCID 0009-0009-6370-149X

Паршаков Олег Сергеевич, кандидат технических наук, научный сотрудник лаборатории развития горного производства, «ГИ УрО РАН»; e-mail: olegparshakov@gmail.com, ORCID 0000-0001-5545-442X
Зайцев Артем Вячеславович, доктор технических наук, заведующий лабораторией развития горного

производства, «ГИ УрО РАН»; e-mail: artem.v.zaitsev@yandex.ru, ORCID 0000-0002-2314-0482
Кузьминых Евгений Геннадьевич, инженер сектора промышленной безопасности, «ГИ УрО РАН»;
e-mail: kuzminykhvgeniy@gmail.com, ORCID 0009-0005-9596-8050

ANALYSIS OF THE CURRENT STATE OF KNOWLEDGE OF THE CAUSES OF SPONTANEOUS COMBUSTION OF SULFIDE ORES

Olkhovsky D.V., Parshakov O.S., Zaitsev A.V., Kuzminykh E.G.

Mining Institute UB RAS, Perm

This paper analyzes the current state of knowledge of the spontaneous combustion of sulfide ores. The main factors affecting the heating of sulfide ores are presented, including the excess of heat release from oxidation processes over heat loss to the environment. The primary factor determining the level of heat loss is the geometric size of the waste heap. It is noted that little-studied factors accelerating sulfide ore oxidation include temperature, fractional and mineralogical composition of sulfide ores, as well as the presence of ammonium nitrate-based explosives. A review of international experimental research and methods for determining the susceptibility of sulfide ores to spontaneous heating and combustion is presented. It is noted that existing methods and mathematical models of waste heaps do not allow for the reliable determination of the conditions for spontaneous heating and combustion of sulfide ores. Based on this, further research directions have been identified to determine the conditions for spontaneous heating and combustion of sulfide ores in underground workings and waste heaps of ore stored on the surface.

Keywords: *sulfide ores, endogenous fires, spontaneous heating, spontaneous combustion, deep mine*

Поступила в редакцию: 11.02.2026

Принята к публикации: 06.04.2026

БОРЩЕВИК СОСНОВСКОГО (*HERACLEUM SOSNOWSKYI* MANDEN.) КАК ОБЪЕКТ ЭКОЛОГО-ПРАВОВОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ: КОМПЛЕКСНЫЙ АНАЛИЗ ИНВАЗИИ, МЕТОДОВ БОРЬБЫ И ЭВОЛЮЦИИ ЗАКОНОДАТЕЛЬНОЙ БАЗЫ НА ПРИМЕРЕ ПЕРМСКОГО КРАЯ

Фомин Д.С., Пермский научно-исследовательский институт сельского хозяйства, Пермский филиал ФГБУ «ВНИИКР», Пермь

Фомин Д.С., Пермский научно-исследовательский институт сельского хозяйства, Пермский филиал ФГБУ «ВНИИКР», Пермь

Борщевик Сосновского (*Heracleum sosnowskyi* Manden.) является ярким примером трансформации интродуцированного вида в масштабную эколого-социальную угрозу, требующую комплексного правового реагирования. В статье проведен всесторонний анализ проблемы, основанный на синтезе данных биолого-экологических особенностей растения, агротехнической практики борьбы и детального изучения нормативно-правовой базы. Особый акцент сделан на эволюции законодательного регулирования борьбы с инвазивными видами в Российской Федерации – от фрагментированных региональных инициатив до формирования единого федерального правового поля. Детально рассмотрена история интродукции вида, механизмы его инвазивного успеха и многоплановый ущерб, включающий снижение биоразнообразия, экономические потери и прямую угрозу здоровью населения. Описаны методы борьбы (механические, агротехнические, химические) с оценкой их эффективности, ресурсоемкости и экологических рисков. Центральное место в исследовании занимает анализ законодательных мер: прослежена динамика от правового вакуума, через активное региональное нормотворчество (на примере Московской, Ленинградской, Тверской, Калужской областей и Пермского края) к системным изменениям федерального уровня, инициированным Федеральным законом № 294-ФЗ от 31.07.2025. Приведен обзор санкций, установленных в различных субъектах РФ, и административных процедур. На примере Пермского края детально разобрана модель эскалации управленческих мер – от введения режима «Повышенная готовность» и установления административной ответственности до расширения зоны действия законодательства на все земли муниципальных образований и организации плановой межведомственной работы. Делается вывод о том, что эффективное подавление инвазии возможно только при условии интеграции научно-обоснованных методов контроля в строгие рамки постоянно совершенствующегося законодательства, устанавливающего четкие обязанности для всех категорий землепользователей и обеспечивающего их неотвратимый контроль и соблюдение ответственности.

Ключевые слова: борщевик Сосновского, биологическая инвазия, правовое регулирование, административная ответственность, земельный контроль, меры борьбы, законодательство, Пермский край

Введение

Проблема биологических инвазий представляет собой один из ключевых вызовов современной экологии и природопользования. В Российской Федерации наиболее показательным и масштабным примером подобного рода является инвазия борщевика Сосновского (*Heracleum sosnowskyi* Manden.) – крупного зонтичного растения, преднамеренно интродуцированного в середине XX века в качестве высокопродуктивной кормовой культуры [1, 2]. Последующий выход вида из-под контроля и его стремительное распростра-

нение по территории Европейской России, Беларуси, стран Балтии и Восточной Европы [3-7] привели к формированию обширных монодоминантных зарослей, наносящих значительный экологический и социально-экономический ущерб [8, 9]. Угроза усугубляется фитотоксичностью сока растения, вызывающего у человека тяжелые фотохимические ожоги [10, 11]. Долгое время противодействие этой угрозе сдерживалось отсутствием целостного правового регулирования, ограничивавшего обязанности по борьбе с сорными растениями преимущественно землями сельскохозяйственного назначения, в то время как борщевик утратил статус сельскохозяйственной культуры [12]. Данная ситуация спровоцировала активную нормотворческую деятельность на региональном уровне и, в конечном итоге, стимулировала принятие системных поправок в федеральное законодательство. Целью настоящей статьи является комплексный анализ проблемы борщевика Сосновского через призму взаимодействия биологических факторов инвазии, технологических методов борьбы и, что наиболее важно, развивающегося правового поля. В задачи входит обобщение причин и последствий инвазии; оценка эффективности и ограничений различных методов контроля; детальный обзор и сравнительный анализ законодательных мер, принятых на федеральном и региональном уровнях, включая систему санкций; изучение организационного опыта противодействия инвазии на примере Пермского края как модельного региона, демонстрирующего переход от реактивных к системным мерам.

Материалы и методы

Исследование носит междисциплинарный характер и основано на анализе широкого круга источников. Биолого-экологическая часть базируется на обзоре отечественных и зарубежных научных публикаций, посвященных биологии, экологии и инвазионному потенциалу борщевика Сосновского. Агротехнический и методический анализ проведен на основе специализированной литературы по защите растений, методических рекомендаций и кормопроизводству, а также отчетных материалов полевых испытаний [13-19]. Основу правового анализа составили тексты нормативно-правовых актов Российской Федерации: Земельный кодекс РФ [20], Федеральные законы № 109-ФЗ от 19.07.1997 «О безопасном обращении с пестицидами и агрохимикатами» [21], № 294-ФЗ от 31.07.2025 «О внесении изменений в Земельный кодекс Российской Федерации и отдельные законодательные акты...» [22], Указ Президента РФ № 529 от 18.06.2024 [23]. Детально изучено региональное законодательство субъектов РФ, в частности, законы Московской области [24], Ленинградской области [25], Пермского края [26] и других регионов, устанавливающие обязанности и ответственность в сфере борьбы с борщевиком. Практическая составляющая исследования построена на обобщении официальных документов и отчетных данных органов власти Пермского края за период 2020-2025 гг. (распоряжения Губернатора, протоколы заседаний, планы мероприятий, статистические сводки [27]), а также на опыте мероприятий по борьбе с распространением борщевика Сосновского, выполненных сотрудниками «Пермского НИИСХ» – филиала ПФИЦ УрО РАН [28-30]. В работе использованы методы системного и сравнительно-правового анализа, обобщения, классификации и синтеза эмпирических данных.

Результаты и обсуждение

Биолого-экологические основы проблемы и оценка ущерба. Исходный ареал борщевика Сосновского охватывает Восточный Кавказ и Закавказье [31]. Интродукция в Нечерноземную зону СССР в середине XX века была мотивирована уникаль-

ми хозяйственно-ценными признаками: высокой продуктивностью зеленой массы (урожайность от 30 до 250 т/га в зависимости от региона), холодостойкостью, многолетним циклом использования без необходимости ежегодной вспашки [32-34]. Однако комплекс биологических свойств вида predetermined его последующую инвазию после прекращения планового сельскохозяйственного использования и кризиса аграрного сектора 1990-х годов [35]. К ним относятся феноменальная семенная продуктивность (от 20 000 до 100 000 семян с одного растения), способность семян сохранять жизнеспособность в почвенном банке до 5-7 лет, высокая экологическая пластичность и конкурентное превосходство, выражающееся в активном подавлении аборигенных видов [36, 37]. В отсутствие естественных врагов в новых условиях вид начал стремительно колонизировать заброшенные сельхозугодья, обочины дорог, земли населенных пунктов и рекреационные зоны, сформировав сплошную зону инвазии [38].

Наносимый ущерб носит комплексный характер. Экологический ущерб проявляется в резком снижении биоразнообразия: борщевик, как вид-эксплерент, формирует плотные монодоминантные сообщества, вытесняя местную флору и изменяя почвенную микробиоту, что приводит к деградации естественных фитоценозов [8]. Экономические последствия включают снижение продуктивности и рыночной стоимости земель сельскохозяйственного назначения, вывод значительных площадей из оборота, а также прямые затраты на ликвидационные мероприятия. Наиболее острой является социальная составляющая: произрастание вблизи населенных пунктов создает прямую угрозу здоровью. Сок растения содержит фотосенсибилизирующие фурукумарины, вызывающие при контакте с кожей и последующей инсоляции тяжелые фитофотодерматиты, по клинической картине сходные с химическими ожогами I–III степени [10, 11]. Несмотря на очевидность угрозы, предложения ученых о введении внутреннего карантина долгое время не находили поддержки на системном уровне [39].

Исследования, направленные на сплошную инвентаризацию территорий, засоренных борщевиком в Российской Федерации, не проводились, вследствие чего оценить реальную проблему инвазии в национальном масштабе возможно лишь на основании косвенных данных, в частности, статистики выполнения государственных контрактов по мероприятиям, связанным с предотвращением распространения данного вида. Согласно анализу данных за 2011-2017 гг., борщевик выявлен в 18 субъектах РФ на общей площади около 170 тыс. га, однако фактическая ликвидация за этот период составила лишь 10% от выявленной площади [40]. Спустя пять лет число регионов, столкнувшихся с проблемой инвазии, увеличилось в 2,5 раза. Масштабы ежегодной ликвидации зарослей вышли на принципиально иной уровень: например, в 2024 г. обработке подверглись 42 тыс. га в 33 регионах при затратах около 650 млн руб., что, учитывая современные представления об устойчивости и расселении этих видов, свидетельствует о необходимости долговременной стратегии сдерживания [41].

Меры борьбы, технологические возможности и ограничения. Согласно ГОСТ 16265-89 «Земледелие» [42], борьба с сорной растительностью подразделяется на несколько категорий мер: механические (агротехнические), химические, фитоценологические, биологические, экологические, организационные, а также комплексные. Важно отметить, что действие данного ГОСТа распространяется на отрасль сельскохозяйственного производства, основанную на рациональном использовании земель с целью выращивания сельскохозяйственных культур. Таким образом, регламентируемые им мероприятия ограничены преимущественно землями сельскохозяйственного назначе-

ния. Однако инвазивные сорные растения, к числу которых относится борщевик Сосновского, произрастают не только в агроценозах, но и на других категориях земель – например, на землях населенных пунктов, на промышленных и транспортных территориях и т.п. В связи с этим, в более широком контексте перечисленные мероприятия обозначаются обобщающими терминами «способы» или «методы» борьбы.

Наибольшее практическое применение в контексте борьбы со злостным вредителем нашли два способа: механический и химический.

Механический способ, включающий в себя такие приемы, как скашивание, вспашка, дискование, выкапывание корневой системы, мульчирование, залужение, является экологически безопасным, но отличается высокой ресурсоемкостью, требуя значительных трудозатрат, расхода горюче-смазочных материалов и времени. Его главный недостаток – необходимость многократного повторения приемов в течение одного вегетационного сезона и временный характер эффекта, так как они не воздействуют на почвенный семенной банк и часто не предотвращают отрастание новых побегов из спящих почек корневой шейки [43]. Наиболее рационально применение механических приемов на небольших участках, в водоохраных зонах (где использование пестицидов запрещено Водным кодексом РФ) или в качестве вспомогательных мер в комплексной стратегии. Агротехнический метод, включающий лущение, вспашку с последующим посевом многолетних трав (овсяница красная, райграс пастбищный) и регулярное скашивание, экономически целесообразнее простого скашивания, особенно если полученную биомассу использовать на корм [44].

Химический способ, основанный на применении гербицидов сплошного (глифосаты) или избирательного действия, а также препаратов с почвенным эффектом (имазапир, сульфометурон-метил), признан наиболее эффективным и технологичным для обработки значительных площадей. Преимущества включают высокую биологическую эффективность за счет транслокации действующего вещества в корневую систему, экономию трудовых и временных ресурсов, возможность подавления растений на разных стадиях развития, а также пролонгированное действие почвенных гербицидов, подавляющих прорастание семян из банка на 1-2 года [45, 46]. Однако применение химических мер строго регламентировано и сопряжено с экологическими рисками. Обработка допускается только препаратами, включенными в Государственный каталог пестицидов и агрохимикатов. Все операции должны быть внесены в Федеральную государственную информационную систему прослеживаемости пестицидов и агрохимикатов (ФГИС «Сатурн») для обеспечения тотального контроля [47]. Ответственность за соблюдение регламентов хранения, транспортировки, применения, а также за утилизацию тары возлагается на применяющее лицо.

Наиболее успешной стратегией борьбы с инвазией борщевика Сосновского является не противопоставление мер, а их разумная комбинация в зависимости от целевого постремедиационного назначения территории (земельного участка).

Эволюция правового регулирования: от региональных инициатив к федеральной системе. Правовое регулирование борьбы с борщевиком Сосновского прошло сложный путь от практически полного вакуума к формированию комплексной системы норм. Длительное время федеральное законодательство содержало существенный пробел. Пункт 3 статьи 13 Земельного кодекса РФ обязывал проводить мероприятия по защите земель от сорных растений только на землях сельскохозяйственного назначения. После исключения борщевика в 2012 г. из Государственного реестра

селекционных достижений и включения в 2015 г. в отраслевой классификатор сорных растений, он де-юре лишился специального правового статуса на всех иных категориях земель (землях населенных пунктов, промышленности, лесного фонда и т.д.) [48]. Этот правовой пробел на федеральном уровне стал катализатором активной нормотворческой деятельности в регионах.

Пионером в разработке законодательных норм стала Московская область, принявшая в августе 2018 года поправки в закон о благоустройстве, которые возложили обязанность по удалению борщевика на правообладателей земельных участков и регламентировали допустимые методы борьбы. За ней последовали другие субъекты РФ, такие как Ленинградская, Тверская, Калужская области, Пермский край и др. Региональные законы, как правило, устанавливали схожую структуру обязанностей, но значительно различались по строгости санкций (Таблица).

Таблица

Сравнительный анализ административной ответственности за наличие борщевика Сосновского на земельном участке в отдельных субъектах РФ (по состоянию на 2025 г.)

Субъект РФ	Штраф для граждан (тыс. руб.)	Штраф для должностных лиц (тыс. руб.)	Штраф для юридических лиц (тыс. руб.)
Московская область	2 – 5	20 – 50	150 – 1 000
Ленинградская область	1 – 2	3 – 10	20 – 30
Тверская область	3 – 5	20 – 30	50 – 100
Калужская область	3 – 5	20 – 30	50 – 100
Пермский край	0,5 – 2	10 – 20	30 – 50

Так, в Московской области штрафы для юридических лиц могли достигать 1 млн рублей, в то время как в Пермском крае максимальный штраф для этой же категории составлял 50 тыс. рублей. Региональное регулирование не ограничивалось установлением штрафов. Например, в Ленинградской области был принят отдельный закон, комплексно регулирующий организацию деятельности по борьбе с борщевиком, включая вопросы финансирования, планирования и мониторинга.

Параллельно на федеральном уровне сохранялась общая ответственность по статьям 8.7 (невыполнение обязанностей по рекультивации земель) и 8.8 (нецелевое использование земельного участка) КоАП РФ, которая могла применяться и в контексте зарастания сорняками. Штрафы по ст. 8.7 для юридических лиц составляли от 400 до 700 тыс. рублей, а по ст. 8.8 – от 100 до 200 тыс. рублей. Кроме того, бесхозяйственное содержание земли могло стать основанием для ее изъятия.

Принципиальный перелом в федеральном регулировании произошел 31 июля 2025 года с принятием Федерального закона № 294-ФЗ «О внесении изменений в Земельный кодекс Российской Федерации и отдельные законодательные акты Российской Федерации», вступающего в силу 1 марта 2026 года. Данный закон вносит системные изменения, ликвидирующие прежний правовой пробел. Вводится ключевое понятие «опасные виды инвазивных (чужеродных) растений» – жизнеспособные растения, обитающие за пределами естественного ареала, распространение которых создает угрозу окружающей среде, жизни, здоровью граждан и причиняет экономический вред. Обязанность по защите земель от распространения таких растений и их

уничтожению возлагается на всех правообладателей земельных участков, независимо от категории земель. Закон распространяет свое действие даже на особо охраняемые природные территории (ООПТ), для которых будет установлен особый порядок охраны. Это создает единую правовую основу для борьбы с борщевиком на всей территории страны, включая земли населенных пунктов, лесного фонда, промышленности и иного специального назначения.

Важным дополнением стали утвержденные в 2025 году Правительством РФ критерии неиспользования земельных участков. Согласно им, если на 50% площади участка в течение года после фиксации нарушения остаются сорные растения высотой более 1 метра (к каковым, безусловно, относится борщевик), это считается признаком неиспользования и нарушением земельного законодательства, что может повлечь ответственность и изъятие земель [49]. Таким образом, формируется многоуровневая система правового воздействия, сочетающая специальные нормы об инвазивных видах и общие земельно-правовые механизмы.

Организационный опыт и эскалация мер в Пермском крае. В отличие от федерального уровня, относительно которого отсутствуют системные данные, по Пермскому краю частично имеется официальная статистика распространения инвазионного растения. Согласно информации Министерства сельского хозяйства и продовольствия Пермского края, динамика засорения выглядит следующим образом: в 2018 г. зафиксировано 35,5 тыс. га, 2019 г. – 49,6 тыс. га, 2020 – более 59 тыс. га. [50] К 2022 году площадь увеличилась до 62,4 тыс. га, при этом в разрезе муниципальных образований наибольшее засорение отмечалось в Нытвенском городском округе (15,5 тыс. га), Чернушинском городском округе (11,1 тыс. га), Пермском муниципальном районе (7,5 тыс. га) и Краснокамском городском округе (5,3 тыс. га) [51]. В 2023 г., согласно заявлению министра агропромышленного комплекса региона, площадь распространения достигла 93,6 тыс. га [52]. Столь существенный прирост показателя в 2023 году, вероятно, обусловлен проведением масштабных обследований территории и уточнением данных о ранее неучтенных площадях, а не исключительно активным расселением вида.

Анализ организации мероприятий по борьбе с борщевиком в Пермском крае позволяет проследить смену подходов к финансированию и управлению этими работами. В период 2020–2022 гг. средства краевого бюджета (в размере 30 млн.руб ежегодно [53, 54]) направлялись непосредственно муниципалитетам, которые самостоятельно заключали договора и контролировали исполнение работ, за указанный период обработано порядка 5,7 тыс. га, однако допускались нарушения сроков проведения работ, что существенно снижало эффективность мероприятий. В 2023 и 2024 годах организацию работ передали краевому учреждению «Центр развития агробизнеса», которое выступило единым оператором и заключало контракты на механическое уничтожение инвазивного растения на общую сумму более 80 млн [55]. Тем не менее, как показали контрольные мероприятия Контрольно-счетной палаты Пермского края, проведенные в 2025 году, данная модель также оказалась неэффективной: проверкой было установлено нецелевое и неэффективное расходование бюджетных средств в общей сумме 60,67 млн руб., в том числе 23,48 млн руб. в 2023 г. и 37,19 млн руб. в 2024 г. [56]. Основанием для таких выводов послужило невыполнение работ в полном объеме и несоблюдение периодичности обработки площадей, тогда как эффективность борьбы с борщевиком Сосновского, согласно заключению контролирующего органа, достигается именно своевременностью и строгим соблюдением регламентов обработки.

Таким образом, анализ опыта Пермского края демонстрирует, что смена модели финансирования (от децентрализованной к централизованной) сама по себе не обеспечивает повышения результативности борьбы с инвазионным видом. Ключевым фактором остается соблюдение технологических требований — своевременности и периодичности обработок, нарушение которых как при муниципальном, так и при региональном управлении приводит к неэффективному использованию бюджетных средств и не позволяет достичь устойчивого сокращения засоренных площадей.

Учитывая выявленные недостатки предшествующих периодов, в Пермском крае был разработан и внедрен новый подход к оценке результативности муниципальных работ, в 2025 году утверждена официальная методика оценки эффективности деятельности органов местного самоуправления в сфере борьбы с борщевиком Сосновского (приказ Министерства агропромышленного комплекса Пермского края от 27.08.2025 № 25-01.2-02-250) [57]. Данная методика устанавливает формализованный, основанный на количественных показателях порядок ежегодной оценки. Ключевой особенностью методики является расчет интегрального показателя эффективности как суммы баллов по нескольким критериям. В их числе, доля площадей, на которых проведены мероприятия по уничтожению борщевика, от общей площади засорения территории муниципалитета; доля обработанных земель населенных пунктов от площади засорения в данной категории; а также дополнительные показатели, детализируемые в приложении к методике.

Наличие утвержденной региональной методики свидетельствует о переходе от фрагментарного учета к системной оценке результативности борьбы с инвазионным видом на муниципальном уровне, что создает основу для повышения эффективности планирования и выполнения мероприятий по борьбе с инвазионным видом.

Расширение правового поля и зон ответственности в борьбе с инвазивным сорным растением: опыт Пермского края. Административная практика Пермского края служит наглядной иллюстрацией того, как регион, действуя в условиях первоначального правового вакуума, выстраивал комплексную систему противодействия угрозе распространения борщевика.

Первым шагом к побуждению собственников земельных участков к действиям стало принятие в феврале 2021 года Закона Пермского края № 608-ПК. Документ ввел административную ответственность (статья 6.9.1) за непринятие мер по уничтожению сорняка в границах населенных пунктов.

Дальнейшая мобилизация ресурсов и координация действий множества ведомств (Минсельхоза края, органов местного самоуправления, Россельхознадзора и других) потребовала особого режима функционирования. В связи с угрозой массового распространения борщевика Распоряжением Губернатора № 130-р от 17 мая 2023 года на территории края для органов власти и сил РСЧС был введен режим «Повышенная готовность», что позволило не только объединить усилия, но и утвердить первоначальный план действий на 2023 год с конкретными сроками и ответственными исполнителями.

Логическим продолжением стало установление жестких требований к землепользователям: уже 30 мая 2023 года Указом Губернатора № 57 [58] были утверждены обязательные правила по уничтожению борщевика и недопущению его распространения для всех физических, юридических лиц и органов местного самоуправления. Указ регламентирует также обеспечение допуска физических и юридических лиц, оказывающих услуги по уничтожению борщевика Сосновского в соответствии с государствен-

ным контрактом, на очаги произрастания борщевика Сосновского для проведения мероприятий по предотвращению распространения и уничтожению сорного растения на земельных участках любых собственников.

Ключевым правовым шагом, расширившим саму парадигму борьбы, стало принятие 3 июня 2024 года Закона Пермского края № 324-ПК. Он заменил в двух ключевых законах термин «населенные пункты» на «муниципальные, городские округа», данные изменения имели принципиальное значение: теперь обязанности по благоустройству и административная ответственность за отсутствие мероприятий по борьбе с борщевиком распространились не только на земли внутри населенных пунктов, но на всю территорию муниципальных образований, включая поля, леса, земли запаса. Тем самым была создана правовая основа для борьбы с очагами инвазии там, где они наиболее масштабны – на заброшенных сельскохозяйственных землях. Позже Указ Губернатора № 57 был приведен в соответствие с этим законом.

Организационно работа была переведена на плановую, постоянную основу. Распоряжением Губернатора № 4-р от 15.01.2024 сроки проведения мероприятий по уничтожению борщевика были продлены и установлены как ежегодные (с мая по сентябрь), действующие до отмены режима «повышенная готовность», что означало переход от разовой кампании к постоянной системной работе.

Практический опыт, накопленный в крае, показал, что основные очаги приурочены к бывшим паям сельхозпредприятий, неудобиям, охранным зонам ЛЭП, где борьба осложнена раздробленностью собственности, сложным рельефом и засоренностью территории.

Заключение

Проведенный анализ позволяет сделать ряд выводов, имеющих как теоретическое, так и практическое значение.

Проблема борщевика Сосновского носит комплексный характер, являясь результатом взаимодействия биологических особенностей вида (инвазионный потенциал), исторических предпосылок (ошибочная интродукция) и социально-экономических факторов (кризис сельского хозяйства). Ущерб, наносимый экосистемам, экономике и здоровью населения, требует незамедлительного и системного ответа.

Технологическая борьба с инвазией не имеет универсального решения. Эффективность механических методов ограничена их ресурсоемкостью и не существенным воздействием на семенной банк. Химический метод, обладая высокой эффективностью, требует строжайшего соблюдения экологических и санитарных регламентов. Оптимальной стратегией является научно-обоснованное комбинирование методов, адаптированное к конкретным условиям участка и его целевому назначению.

Наиболее значимым результатом исследования является выявление и анализ динамики правового регулирования. Преодоление первоначального правового вакуума стало возможным благодаря последовательным действиям на двух уровнях:

1) региональном: Субъекты РФ, выполняя опережающее нормотворчество, апробировали различные модели возложения обязанностей и установления ответственности, создав правоприменительную практику и доказав необходимость федерального регулирования;

2) федеральном: принятие Закона № 294-ФЗ от 31.07.2025 ознаменовало качественный скачок, введя понятие опасного инвазивного растения и установив универ-

сальную обязанность по его уничтожению для всех правообладателей на всех категориях земель. Это создает основу для единой государственной политики биобезопасности.

Опыт Пермского края демонстрирует эффективную модель эскалации управленческих мер: от установления базовой административной ответственности → через введение режима ЧС («Повышенная готовность») для мобилизации ресурсов → к системной плановой работе, подкрепленной расширением зоны действия закона на всю территорию муниципалитетов. Данный опыт может быть тиражирован в других регионах.

Перспективы успешного подавления инвазии борщевика Сосновского лежат в плоскости тесной интеграции трех компонентов: 1) непрерывных научных исследований и технологических разработок; 2) развитого и постоянно совершенствующегося законодательства, обеспечивающего четкость правил, неотвратимость контроля и ответственности; 3) эффективной межведомственной координации и управления на всех уровнях власти при активном вовлечении правообладателей. Только такой комплексный подход позволит переломить негативную тенденцию и перейти от сдерживания распространения к планомерной ликвидации очагов этой опасной инвазии на площадях.

Библиографический список

1. Богданов В.Л., Николаев Р.В., Шмелева И.В. Инвазия экологически опасного растения борщевика Сосновского (*Heracleum Sosnowskyi* Manden) на территории Европейской части России // Региональная экология. – 2011. – № 1-2(31). – С. 43-52.
2. Семчук Н.Н., Балун О.В., Гладких С.Н., Перекопский А.Н. Экологические способы борьбы с инвазионным видом борщевик Сосновского // АгроЭкоИнженерия. – 2022. – № 4(113). – С. 104-114.
3. Laiviņš M., Gavrilova Ģ. Neofītās Sosnovska latvāņa *Heracleum sosnowskyi* sabiedrības Latvijā [*Heracleum sosnowskyi* in Latvia: sociology, ecology and distribution] // Latvijas Veģetācija. – 2003. – Vol. 7. – P. 45–65.
4. Мотыль М.М., Галынская Н.А., Сандрозд Ю.И., Путьрский И.Н. Инвазия борщевика Сосновского и перспективы её устранения в Беларуси // Интродукция, сохранение и использование биологического разнообразия мировой флоры : материалы Междунар. конф., посвящ. 80-летию Центрального ботанического сада Национальной академии наук Беларуси. – Минск, 2012. – Ч. 2. – С. 143–146.
5. Chmielewski J., Poberezny J., Florek-Uszczki M., Zeber-Dzikowska I., Szpringer M. Sosnowsky's hogweed – current environmental problem // Ochrona Srodowiska i Zasobow Naturalnych. – 2017. – Vol. 28, No. 3. – P. 40–44.
6. Zihare L., Blumberga D. Invasive species application in bioeconomy case study *Heracleum sosnowskyi* Manden in Latvia // Energy Procedia. – 2017. – Vol. 113. – P. 238–243.
7. Gudžinskas Z., Žalneravičius E. Seedling dynamics and population structure of invasive *Heracleum sosnowskyi* (Apiaceae) in Lithuania // Annales Botanici Fennici. – 2018. – Vol. 55, No. 4–6. – P. 309–320.
8. Товстик Е.В., Широких И.Г., Соловьева Е.С., Широких А.А., Ашихмин Т.В. Изменение почвенной актинобиоты под влиянием инвазии борщевика Сосновского // Теоретическая и прикладная экология. – 2018. – № 4. – С. 114–118. – <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2018-4-114-118>.
9. Лаптева Е.М., Захожий И.Г., Далькэ И.В., Панюков А.Н. Влияние инвазии борщевика Сосновского (*Heracleum sosnowskyi* Manden.) на плодородие постагрогенных почв Европейского Северо-Востока // Теоретическая и прикладная экология. – 2021. – № 3. – С. 66–73. – <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2021-3-066-073>.
10. Шулятьева Г.М. Проблемы и перспективы борьбы с экологически опасным растением - борщевиком Сосновского // Экономика и управление: проблемы, решения. – 2018. – Т. 4, № 8. – С. 81–88.

11. *Симонова А.Ю., Белова М.В., Ильяшенко К.К., Карева М.В., Лодягин А.Н., Батоцыренов Б.В., Шилов В.В.* Фотохимический дерматит вследствие контакта с соком борщевика Сосновского // Неотложная медицинская помощь. Журнал им. Н.В. Склифосовского. – 2020. – Т. 9, № 4. – С. 653–658. – <https://doi.org/10.23934/2223-9022-2020-9-4-653-658>.
12. *Лунева Н.Н.* Борщевик Сосновского в России: современный статус и актуальность его скорейшего подавления // Вестник защиты растений. – 2013. – № 1. – С. 29–43.
13. *Антропова Г.Е., Прожерина Г.П., Косарева Е.Н., Труфанова Е.Ю., Холопова Е.В.* Методические рекомендации по борьбе с борщевиком Сосновского для сельскохозяйственных товаропроизводителей в условиях Архангельской области / ФГБУ САС «Архангельская». – Архангельск, 2019. – 26 с. – URL: <https://ustyany.ru/wp-content/uploads/2022/07/metodicheskie-rekomendatsii.pdf> (дата обращения: 12.11.2025).
14. *Ламан Н.А., Прохоров В.Н., Масловский О.М.* Методология и способы ограничения распространения и искоренения гигантских борщевиков / Ин-т эксперим. ботаники им. В.Ф. Купревича НАН Беларуси. – Минск: БелНИИТ «Транстехника», 2020. – 52 с. – URL: <https://botany.by/wp-content/uploads/2022/01/Methodologiya-i-sposoby-ogranicheniya-rasprostraneniya-i-iskoreneniya-gigantskih-borshhevikov.pdf> (дата обращения: 16.11.2024)
15. Методические рекомендации по борьбе с борщевиком Сосновского в Московской области. – Московская область: Администрация Волоколамского муниципального округа, 2019 – URL: <https://volok-go.ru/article/metodicheskie-rekomendatsii-po-borbe-s-borshhevikom-sosnovskogo-v-moskovskoj-oblasti-72448> (дата обращения: 16.11.2025).
16. Методические рекомендации по борьбе с борщевиком Сосновского в Свердловской области. – Екатеринбург: Филиал ФГБУ «Россельхозцентр» по Свердловской области, 2019. – 26 с. – URL: <https://msp.midural.ru/download/74609/> (дата обращения: 16.11.2025).
17. Методические рекомендации по борьбе с борщевиком Сосновского в Ярославской области. – Ярославль: Филиал ФГБУ «Российский сельскохозяйственный центр» по Ярославской области, 2022. – 25 с. – URL: <http://myshkinmr.ru/rus/power/finance/Borchevic/> (дата обращения: 16.11.2025).
18. *Эсенкулова О.В., Строт Т.А., Коробейникова О.В., Юшкова О.В.* Методические рекомендации по борьбе с борщевиком Сосновского в Удмуртской Республике / ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА. – Ижевск, 2019. – 27 с. – URL: <https://balezino.udmurt.ru/upload/mo/voegurt/36-1.pdf> (дата обращения: 16.11.2025).
19. *Якимович Е.А., Сорока С.В., Ивашкевич А.А.* Методические рекомендации по борьбе с борщевиком Сосновского / РУП «Ин-т защиты растений». – Минск, 2011. – 76 с. – URL: <https://izr.by/doc/metodica.pdf> (дата обращения: 16.11.2025).
20. Земельный кодекс Российской Федерации от 25.10.2001 № 136-ФЗ (ред. от 31.07.2025) // Собрание законодательства РФ. – 29.10.2001. – № 44. – ст. 4147. – URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/17478> (дата обращения: 14.11.2025).
21. Федеральный закон от 19 июля 1997 г. № 109-ФЗ «О безопасном обращении с пестицидами и агрохимикатами» // Официальный интернет-портал правовой информации. – URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/11213> (дата обращения: 14.11.2025).
22. Федеральный закон от 31.07.2025 № 294-ФЗ «О внесении изменений в Земельный кодекс Российской Федерации и отдельные законодательные акты Российской Федерации» // Официальный интернет-портал правовой информации. – URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202507310026> (дата обращения: 14.11.2025).
23. Указ Президента Российской Федерации от 18 июня 2024 г. № 529 «Об утверждении приоритетных направлений научно-технологического развития и перечня важнейших наукоемких технологий» // Официальный интернет-портал правовой информации. – URL: <http://publication.pravo.gov.ru/document/0001202406180018> (дата обращения: 14.11.2025).
24. Закон Московской области от 30 декабря 2014 г. № 191/2014-ОЗ «О регулировании дополнительных вопросов в сфере благоустройства в Московской области» (ред. от 09.07.2025) // Официальный интернет-портал правовой информации Московской области. – URL: <https://mosoblpravo.ru/zakon/2025/07/09/n-135-2025-oz/> (дата обращения: 14.11.2025).
25. Областной закон Ленинградской области от 27 июня 2023 г. № 76-оз «Об организации деятельности по борьбе с борщевиком Сосновского на территории Ленинградской области и о внесении изменений в областной закон «Об административных правонарушениях»» // Официальный интер-

- нет-портал правовой информации. – URL: <http://publication.pravo.gov.ru/document/4700202306270001> (дата обращения: 14.11.2025).
26. Закон Пермского края от 11 марта 2021 г. № 608-ПК «О внесении изменений в Закон Пермского края «Об административных правонарушениях в Пермском крае»» // Официальный интернет-портал правовой информации. – URL: <http://publication.pravo.gov.ru/document/5900202103120001> (дата обращения: 14.11.2025).
 27. На заседании правительства представлен новый подход к уничтожению борщевика Сосновского в Прикамье [Электронный ресурс] // Официальный сайт Губернатора и Правительства Пермского края. – 2023. – 7 июня. – URL: <https://permkrai.ru/news/na-zasedanii-pravitelstva-predstavlen-novuyu-podkhod-k-unichtozheniyu-borshchevika-sosnovskogo-v-prikamye/> (дата обращения: 14.11.2025).
 28. Обработка территорий гербицидами (ядохимикатами) для уничтожения сорняков [Электронный ресурс] : реестровая запись контракта № 118/20 / Администрация Верещагинского городского округа Пермского края. – Дата подписания контракта: 06.07.2020. – Режим доступа: <https://zakupki.gov.ru/epz/contract/contractCard/common-info.html?reestrNumber=3593301221120000049>, свободный. – (дата обращения: 26.02.2026).
 29. Обработка территорий гербицидами (ядохимикатами) для уничтожения сорняков [Электронный ресурс] : реестровая запись контракта № 119-21/К / Администрация Верещагинского городского округа Пермского края. – Дата подписания контракта: 30.04.2021. – Режим доступа: <https://zakupki.gov.ru/epz/contract/contractCard/common-info.html?reestrNumber=3593301221120000037>, свободный. – (Дата обращения: 26.02.2026).
 30. *Фомин Д.С., Чащин А.Н.* Идентификация борщевика Сосновского (*Heracleum sosnowskyi Manden*) по данным дистанционного зондирования Земли в Среднем Предуралье // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2019. – № 1(75). – С. 68–70.
 31. *Манденова И.П.* Кавказские виды рода *Heracleum*. – Тбилиси: Тр. института ботаники АН Груз. ССР, Сер.А, 1950. – 103 с.
 32. *Медведев П.Ф.* Малораспространенные кормовые культуры. – Л.: Колос, 1970. – 160 с.
 33. *Ткаченко Ф.М., Синицына А.П., Чубарова Г.В.* Силосные культуры. – М.: Колос, 1974. – 284 с.
 34. *Вавилов П.П., Кондратьев А.А.* Новые кормовые культуры. – М.: Россельхозиздат, 1975. – 350 с.
 35. *Кондратьев М.Н., Бударин С.Н., Ларикина Ю.С.* Физиолого-экологические механизмы инвазивного проникновения борщевика Сосновского (*Heracleum sosnowskyi Manden*) в неиспользуемые агроэкосистемы // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. – 2015. – № 2. – С. 36–49.
 36. *Nielsen C., Ravn H.P., Nentwig W., Wade M. (Eds.)*. The Giant Hogweed Best Practice Manual: Guidelines for the management and control of an invasive weed in Europe. – Copenhagen: Forest & Landscape Denmark, 2005. – 44 p.
 37. *Dergunova N.V., Kazachkova N.M., Karpunina T.A.* Seed bank dynamics of *Heracleum sosnowskyi Manden* in the conditions of the North-West of Russia // Russian Journal of Biological Invasions. – 2012. – Vol. 3, No. 4. – P. 246–253.
 38. *Афонин А.Н., Лунева Н.Н., Ли Ю.С., Коцарева Н.В.* Эколого-географический анализ распространения и встречаемости борщевика Сосновского (*Heracleum sosnowskyi Manden*) в связи со степенью аридности территорий и его картирование для европейской территории России // Экология. – 2017. – № 1. – С. 66–69. – <https://doi.org/10.7868/S0367059717010036>.
 39. *Лунева Н.Н., Конечная Г.Ю., Смекалова Т.Н., Чухина И.Г.* О статусе вида борщевик Сосновского *Heracleum sosnowskyi Manden* на территории РФ // Вестник защиты растений. – 2018. – № 3 (97). – С. 10–15.
 40. *Dalke I., Chadin I., Zakhochiy I.* Analysis of management activities on control of *Sosnowskyi's hogweed (Heracleum sosnowskyi Manden.)* invasion on the territory of the Russian Federation // Russian Journal of Biological Invasions. – 2018. – Vol. 3. – P. 44–61.
 41. *Далькэ И.В., Пономарёв В.Н., Чадин И.Ф.* Рекомендации по управлению инвазией борщевика Мантегацци (борщевика Сосновского): обзор литературы и практика применения в России // Известия Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук. Серия «Экспериментальная биология и экология». – 2025. – № 7 (83). – С. 116–131.
 42. ГОСТ 16265-89. Земледелие. Термины и определения. – Введ. 1991-01-01. – Москва: Издательство стандартов, 1990. – 23 с.
 43. *Антипина Г.С., Маганов И.А.* Опыт борьбы с борщевиком Сосновского // Защита и карантин растений. – 2018. – № 7. – С. 30–32.

44. *Богданов В.Л., Шмелева И.В., Глуценко А.Б., Жданова М.Н., Шишинунов В.М.* Пути борьбы с распространением борщевика Сосновского // Проблемы региональной экологии. – 2007. – № 2. – С. 78–85.
45. *Далькэ И.В., Чадин И.Ф.* Влияние глифосатсодержащего гербицида на рост, развитие и функциональные показатели борщевика Сосновского // Известия Коми научного центра УрО РАН. – 2010. – № 4(4). – С. 36–41.
46. *Шкляревская О., Якимович Е.* Стратегии борьбы с борщевиком // Наука и инновации. – 2019. – № 5(195). – С. 74–79.
47. Федеральная государственная информационная система прослеживаемости пестицидов и агрохимикатов (ФГИС «Сатурн») [Электронный ресурс]. – URL: <https://fgis-saturn.ru/> (дата обращения: 24.11.2025).
48. *Джабборов Н.И., Добринов А.В.* Эффективность использования почвообрабатывающего агрегата с кольцевыми рабочими органами в борьбе с борщевиком Сосновского // АгроЭкоИнженерия. – 2021. – № 3 (108). – С. 75–90.
49. Об установлении признаков неиспользования земельных участков из состава земель населенных пунктов, садовых земельных участков и огородных земельных участков : постановление Правительства Российской Федерации от 31 мая 2025 г. № 826 // Официальный интернет-портал правовой информации. – 2025. – 2 июня. – № 0001202506020049. – URL: <http://publication.pravo.gov.ru/document/0001202506020049> (дата обращения: 24.11.2025).
50. *Фомин Д.С., Фомин Д.С.* Борщевик Сосновского (*Heracleum sosnowskyi* Manden.) – инвазивное сорное растение как экологическое бедствие на территории Пермского края // Защита растений от вредных организмов : материалы X Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 100-летию Кубанского государственного аграрного университета. – Краснодар: Кубанский ГАУ, 2021. – С. 384–386.
51. Контрольное мероприятие «Проверка использования бюджетных средств, направленных на реализацию мероприятия по предотвращению распространения и уничтожения борщевика Сосновского на территории Пермского края» [Электронный ресурс] : информация по результатам контрольного мероприятия : [отчёт № 24, утв. 29.09.2022] / Контрольно-счетная палата Пермского края. – 30 ноября 2022. – Режим доступа: <https://ksppk.ru/otkrytye-dannye/kontrolno-revizionnaya-deyatelnost-ksp/otchet-po-godam/informaciya-po-otchetam-za-2022-god/119-kontrolnoe-meropriyatie-proverka-ispolzovaniya-byudzhetnyh-sredstv-napravlennyh-na-realizaciyu-meropriyatiya-po-predotvrasheniyu-rasprostraneniya-i-unichtozheniya-borshhevika-sosnovskogo-na-territorii-permskogo-kraja/>, свободный. – (Дата обращения: 26.02.2026).
52. В Пермском крае площадь поражения борщевиком земель выросла за год более чем на треть [Электронный ресурс] / редакция сайта ТАСС // ТАСС : [сайт]. – 07 июня 2023. – Режим доступа: <https://tass.ru/v-strane/17953649>, свободный. – (Дата обращения: 26.02.2026).
53. *Бреднева О.О.* О реализации плана мероприятий по борьбе с борщевиком Сосновского в Пермском крае в 2020 году [Электронный ресурс] : презентация доклада / докладчик О.О. Бреднева; Министерство сельского хозяйства и продовольствия Пермского края. – Пермь, 2020. – 12 с. – Режим доступа: <https://permkrai.ru/documents/%D0%91%D0%BE%D1%80%D1%89%D0%B5%D0%B2%D0%B8%D0%BA.pdf>, свободный. – (Дата обращения: 26.02.2026).
54. В Пермском крае впервые остановлен темп роста борщевика [Электронный ресурс] // Сайт губернатора и Правительства Пермского края : [сетевое издание]. – 16 октября 2020. – Режим доступа: <https://permkrai.ru/news/v-permskom-krae-vpervye-ostanovlen-temp-rosta-borshhevika/>, свободный. – (Дата обращения: 26.02.2026).
55. На заседании Правительства представлен новый подход к уничтожению борщевика Сосновского в Прикамье [Электронный ресурс] // Сайт губернатора и Правительства Пермского края : [сетевое издание]. – 07 июня 2023. – Режим доступа: <https://permkrai.ru/news/na-zasedanii-pravitelstva-predstavlen-novyy-podkhod-k-unichtozheniyu-borshhevika-sosnovskogo-v-prik/>, свободный. – (Дата обращения: 26.02.2026).
56. Контрольное мероприятие «Проверка целевого и эффективного использования бюджетных средств, предусмотренных ГКУ ПК «Центр развития агробизнеса» [Электронный ресурс] : информация о результатах контрольного мероприятия : [отчёт, утв. 30.06.2025] / Контрольно-счетная палата Пермского края. – 19 сентября 2025. – Режим доступа: <https://ksppk.ru/otkrytye-dannye/kontrolno-revizionnaya-deyatelnost-ksp/otchet-po-godam/informaciya-po-otchetam-za-2025-god/123-kontrolnoe-meropriyatie-proverka-celevogo-i>

effektivnogo-ispolzovaniya-byudzhetyh-sredstv-predusmotrennyh-gku-pk-centr-razvitiya-agrobiznesa/, свободный. – (Дата обращения: 26.02.2026).

57. Об утверждении методики оценки показателя эффективности деятельности в сфере предотвращения распространения и уничтожения борщевика Сосновского в муниципальных образованиях Пермского края [Электронный ресурс] : приказ Министерства агропромышленного комплекса Пермского края № 25-01.2-02-250 : принят 27.08.2025 / Министерство агропромышленного комплекса Пермского края. – Режим доступа: <https://agro.permkrai.ru/dokumenty/364314/>, свободный. – (Дата обращения: 26.02.2026). – 7 с.
58. О мероприятиях, реализуемых в связи с угрозой распространения борщевика Сосновского на территории отдельных муниципальных образований Пермского края [Электронный ресурс] : указ Губернатора Пермского края № 57 : принят 30.05.2023 / Губернатор Пермского края Д.Н. Махонин. – Режим доступа: <https://perm-gov.ru/doc/75614>, свободный. – (Дата обращения: 26.02.2026).

Благодарности:

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема № 122032200247-7 Разработка приемов управления производственным процессом сельскохозяйственных культур на основе разрабатываемых научных основ точного земледелия в условиях повышенной антропогенной нагрузки).

Для цитирования:

Фомин Дм.С., Фомин Д.С. Борщевик Сосновского (*Heracleum sosnowskyi* Manden.) как объект эколого-правового регулирования: комплексный анализ инвазии, методов борьбы и эволюции законодательной базы на примере Пермского края // Вестник Пермского федерального исследовательского центра. – 2026 – № 1. – С. 60–73. <https://doi.org/10.7242/2658-705X/2026.1.5>

Сведения об авторах:

Фомин Дмитрий Станиславович, кандидат сельскохозяйственных наук, научный сотрудник, Пермский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – филиал Пермского федерального исследовательского центра УрО РАН («Пермский НИИСХ»), 614532, Пермский край, Пермский район, с. Лобаново, ул. Культуры, д. 12; младший научный сотрудник, Пермский филиал ФГБУ «ВНИИКР», 614500, Пермский край, м.о. Пермский, д. Песьянка, ул. Строителей, д. 1Б; e-mail: prm.fomin.d@gmail.com, ORCID: 0000-0003-0718-7632

Фомин Денис Станиславович, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, «Пермский НИИСХ», научный сотрудник, Пермский филиал ФГБУ «ВНИИКР»; e-mail: akvilonag@mail.ru, ORCID: 0000-0001-8261-7191

SOSNOWSKI'S HOGWEED (*HERACULUM SOSNOWSKYI* MANDEN) AS AN OBJECT OF ECOLOGICAL AND LEGAL REGULATION: A COMPREHENSIVE ANALYSIS OF INVASION, CONTROL METHODS AND THE EVOLUTION OF THE LEGISLATIVE FRAMEWORK ON THE EXAMPLE OF THE PERM REGION

Fomin Dm.S., Fomin D.S.

*Perm Scientific Research Institute of Agriculture, Perm
FGBU "VNIKR", Perm Branch, Perm*

Sosnowsky's hogweed (*Heracleum sosnowskyi* Manden) is a striking example of the transformation of an introduced species into a large-scale environmental and social threat requiring a comprehensive legal response. The article provides a comprehensive analysis of the

problem, based on a synthesis of data on the biological and ecological characteristics of the plant, agricultural control practices, and a detailed study of the regulatory framework. Special emphasis is placed on the evolution of legislative regulation of invasive species control in the Russian Federation – from fragmented regional initiatives to the formation of a unified federal legal framework. The history of the species' introduction, the mechanisms of its invasive success, and the multifaceted damage, including reduced biodiversity, economic losses, and a direct threat to public health, are examined in detail. Control methods (mechanical, agrotechnical, chemical) are described, with an assessment of their effectiveness, resource intensity, and environmental risks. The central focus of the study is an analysis of legislative measures: tracing the dynamics from a legal vacuum, through active regional rulemaking (using the examples of Moscow, Leningrad, Tver, Kaluga Oblasts and Perm Krai), to systemic changes at the federal level initiated by Federal Law No. 294-FZ of July 31, 2025. An overview of sanctions established in various constituent entities of the Russian Federation and administrative procedures is provided. Using the example of Perm Krai, the model of escalation of management measures is analyzed in detail – from the introduction of a “High Alert” regime and the establishment of administrative liability to the extension of the legislation’s scope to all lands of municipalities and the organization of planned interdepartmental work. It is concluded that effective suppression of invasion is possible only if scientifically based control methods are integrated into the strict framework of continuously improving legislation, which establishes clear obligations for all categories of land users and ensures their inevitable oversight and accountability.

Keywords: *Sosnowsky's hogweed, biological invasion, legal regulation, administrative liability, land control, control measures, legislation, Perm Krai*

*Поступила в редакцию: 29.01.2026
Принята к публикации: 10.04.2026*

НОВЫЕ ДАННЫЕ ПО КРАНИОЛОГИИ НАСЕЛЕНИЯ ПЕРМСКОГО ПРИКАМЬЯ ЭПОХИ НОВОГО ВРЕМЕНИ

Смертин П.Р., *Институт гуманитарных исследований УрО РАН, Пермь*

В статье публикуются первичные краниометрические данные по малочисленным выборкам с территории Пермского Прикамья, которые датируются Новым временем. Сравниваются три группы, которые происходят из кладбищ Соликамска, Перми (Егошихинского медеплавильного завода), Пыскора. После морфологической характеристики был проведен канонический анализ. В результате исследования появились предположения относительно генетической связи населения Соликамска XVII – первой половины XVIII вв. с некоторыми средневековыми группами региона. Подтверждены известные из литературы выводы о сложности формирования антропологического состава в Пермском Прикамье. Очевидной становится самостоятельность проблемы формирования населения в новом индустриальном центре XVIII в. – г. Перми.

Ключевые слова: биологическая антропология, палеоантропология, краниология, краниометрия, Прикамье, Новое время, Соликамск, Пермь

Введение

Процесс русской колонизации Пермского Прикамья сложен, продолжителен, хронологические рамки его наиболее активной фазы ограничены XV – началом XVIII вв. При изучении этого периода внимание чаще акцентируется на политических, экономических, культурных вопросах, о которых нам широко известно из многочисленных исторических исследований [25; 31; 14 и др.]. При этом биолого-антропологические аспекты изучения населения Пермского Прикамья до сих пор остаются довольно слабо разработанными. Вхождение Перми Великой в состав Московского царства обусловило значимые перемены в этнокультурном и антропологическом составе населения, жившего на границе ареалов обитания европеоидной и монголоидной рас, на стыке Европы и Азии.

Охватить такую сложную проблему формирования населения в эпоху Нового времени в рамках одной статьи невозможно, поэтому в данной работе предпринята публикация новых первичных краниометрических данных и актуализированы известные работы по краниологии. Вопросы антропологии прикамского населения требуют отдельной проблемной статьи, а ценность публикуемых материалов для решения глобальных задач сильно ограничена. Однако значимость, пусть и малочисленных данных, также исключаться не может, их следует воспринимать как сигнал для продолжения краниологических работ в регионе.

Палеоантропологический материал как исторический источник традиционно рассматривается в работах отечественной антропологической школы. Палеоантропологическое исследование способно решать вопросы этногенеза, миграций, формирования биологических особенностей населения. Здесь ключевой является связь географических факторов с историческими и биологическими процессами. Не менее

важным является обстоятельство таксономической неравноценности признаков и отсутствия прямой зависимости между расой, этносом и культурой [12].

В 1886 г. вопросом происхождения пермяков начал заниматься прозектор анатомии Казанского университета – Н.М. Малиев [23]. Им была поставлена проблема генетической преемственности коми-пермяков и «чуди», жившей на территории Пермского Прикамья в средневековье (чаще ассоциируются со средневековыми археологическими культурами или пермянами как народом, говорившим на прапермском языке). Н.М. Малиевым были проведены раскопки кладбища в г. Кудымкар, исследованы черепа. Данные по полученной серии сегодня широко известны. Наиболее значима здесь работа В.П. Алексеева, где на основе изучения краниологических данных сделан вывод о генетическом родстве коми-пермяцкого населения [4]. В ту пору он опирался не только на данные Н.М. Малиева, но и на серию черепов из Митинского могильника (IV–VI вв.), исследованную М.С. Акимовой [1]. Антропологическое изучение Кудымкарского могильника (его ранней части, раскопанной В.А. Обориным) было продолжено М.С. Акимовой и С.Г. Ефимовой [24, 19; 18]. Авторы приходят к выводу о неоднородности серии. Данные по ранней части могильника используются в новейших краниологических работах, подтверждающих тезис о смешанности группы [7, 33]. Интересны выводы И.Г. Широбокова о родстве народов пермской языковой группы со средневековым населением Волго-Камья [33]¹.

После работ Н.М. Малиева следует упомянуть краниологическое исследование Н.И. Ансерова, профессора Пермского университета в 1923–1926 гг. При измерении черепов, происходящих из кладбища XVI в. в с. Троицкое (бывшего Сылвенского острожка), автор приходит к выводу о неоднородности группы [5]. Однако эта неоднородность, по его мнению, вызвана не смешением местного населения с пришлым, а смешением пришлых популяций, которые мигрировали в Прикамье с разных территорий (Московский центр, Новгородский север или Сольвычегодск). К сожалению, в работе опубликованы лишь некоторые указатели, на основании которых сделаны выводы о происхождении группы. В своем труде автор отталкивается от исторических данных и заведомо ставит перед собой цель исследования «древнерусского» населения Прикамья, то есть пришлого, что изначально могло исказить результаты. Возможно, на такое целеполагание повлияли работы других ученых по изучению «великорусского» ядра Прикамья, на которые автор ссылается [10]. Позже на основе этой серии начала собираться коллекция черепов, хранящаяся ныне в анатомическом музее Пермского медицинского университета². Статья Н.И. Ансерова подверглась резкой критике со стороны А.А. Любищева, впоследствии известного биометрика, на тот момент – профессора Пермского университета. Критика сводилась, в основном, к отрицательной оценке использования методов статистики [19].

Более частыми становятся краниологические работы в первой четверти XXI в. Прежде всего – это исследования Н.Г. Брюховой, проведенные, правда, преимущественно на материалах более ранних эпох [6; 7; 8; 9]. Согласно этим работам, население эпохи великого переселения народов (Митинский могильник IV–VI вв. н.э.), средневековья («западная» группа Плотниковского могильника XIII–XV вв.) и Нового времени (Кудымкарское коми-пермяцкое кладбище XVIII – начала XIX вв.) имеет генетическую преемственность. Несмотря на устойчивость местного компонента, определяется и не-

¹ В этой же работе И.Г. Широбокова использованы для сравнения неопубликованные данные В.И. Хартановича по коми-пермяцкому кладбищу в д. Пятигоры [34, 8].

² В 2015 г. также была опубликована ученическая статья студентов Пермского медицинского университета, где производилось сравнение древних и современных черепов, из которой мы, правда, не сможем извлечь полезных данных для нашей работы – абсолютные размеры не опубликованы [11]. В настоящее время атрибуция черепов в коллекции невозможна, поэтому их современное изучение затруднено.

которое влияние зауральских групп на часть прикамских популяций (Баяновский могильник IX – первой половины X в.; Важгортский могильник VII–IX вв.; Деменковский могильник VII–IX вв.; «восточная» группа Плотниковского могильника XIII–XV вв.).

Очень важна работа В.И. Хартановича по краниологии коми, где черепа из кладбищ XIX – начала XX вв. сел Гривы и Подъельска сравнивались с сериями коми-пермяков, удмуртов, карел [30]. Автор приходит к выводу о том, что черепа из Гривы и Подъельска не имеют лапоноидных черт, отличны от коми-пермяцких и удмуртских черепов, сближаются с серией карел. Позже в работах И.Г. Широбокова среди пермских финно-угров были выделены два европеоидных комплекса, к первому отнесены коми-пермяки и большая часть удмуртских групп, ко второму – коми-зыряне и среднечепецкие удмурты [33].

Известна серия черепов, происходящая из Спасо-Преображенского монастыря XVI в. русского поселения Пыскор, изученная Е.М. Макаровой. Автор приходит к выводу о смешанности серии – на разных черепах фиксируются как европеоидные, так и монголоидные черты [21]. Также автором измерены черепа Староогошихинского некрополя второй четверти XVIII в. г. Перми. Данные пока не опубликованы, но встречаются в обсуждениях в некоторых статьях [27, 112; 22]. Так, в работе Д.В. Пежемского по краниологии Томска, в сравнительной характеристике указано, что пермские черепа обладают своеобразием из-за расположения в зоне межэтнических контактов. Согласно приведенному автором графику канонического анализа, население Перми и Свияжска имеет определенное краниологическое сходство.

Материалы и методы

В данной работе приведены краниометрические материалы по трем малочисленным выборкам:

Соликамск, Богоявленский некрополь. Останки получены в результате археологических раскопок кладбища XVII – первой половины XVIII в. в 2007 г. [29]. Измерены черепа 7-ми мужчин и 2-х женщин.

Пермь, Егошихинский медеплавильный завод, Старопетропавловский некрополь. Останки, принадлежащие первым поселенцам при Егошихинском заводе (будущая губернская столица – г. Пермь), получены в результате раскопок некрополя второй четверти XVIII в. в 2021 г. [15]. Измерены черепа 5-ти мужчин и 2-х женщин.

Пыскор, некрополь Пыскорского Спасо-Преображенского монастыря. Останки получены в результате раскопок монастырского некрополя XVI в. в 2003 г. [13]. Доступны измерительные данные по черепам 9-ти мужчин и 2-х женщин, опубликованные Е.М. Макаровой [21]. Серия дополнена автором работы (измерено 3 мужских черепа).

Группы малочисленные, увеличение выборок невозможно, но, на наш взгляд, нельзя игнорировать эти материалы. Следует с особой внимательностью ориентироваться на показатели дисперсии, сигнализирующие нам о внутригрупповой неоднородности, что может быть вызвано как реальной неоднородностью выборки, так и её малочисленностью.

Цель работы – определить место исследуемых групп в системе краниологической изменчивости популяций Пермского Прикамья и сопредельных территорий.

По этим группам мы уже получили данные по морфологии длинных костей скелета и некоторым особенностям телосложения [28]. Крайне низкорослым и грацильным (но очень однородным) оказалось соликамское население. Группы из Перми и Пыско-ра более массивны и высокорослы, но сопоставимы с данными по другим прикамским группам разных эпох.

Половая принадлежность индивидов определялась по морфологии черепа и костей таза [2; 3]. Измерения производились стандартными антропологическими инструментами: скользящий, толстотный и координатный циркули, штангенциркуль, гониометр, измерительная лента [2]. Все инструменты были верифицированы перед каждой серией измерений с помощью плоскопараллельных концевых мер длины, размером от 10 до 250 мм³.

Измерения, выбор признаков и указателей, их оценка выполнены в соответствии с методикой, принятой в отечественной палеоантропологии [16; 2; 26; 36]. Публикуются 28 стандартных признаков, из них – 12 указателей и 3 угла. Измерительные признаки парных частей черепа брались на левой стороне. Используются также дифференцирующие показатели, разработанные Г.Ф. Дебецом для определения доли монголоидного элемента в смешанных группах [17]: преаурикулярный фацио-церебральный показатель (ПФЦ) – соотношение лицевого и мозгового отделов черепа; уплощенность лицевого скелета (УЛС); условная доля монголоидного элемента (УДМЭ). Эти показатели выбраны не с целью «указания на монголоидность» той или иной группы, а как инструмент для демонстрации наглядности сходства и различия серий по набору признаков.

При указании средних значений приводится стандартное квадратическое отклонение и величина ошибки средних. Для межгруппового сопоставления был применен канонический дискриминантный анализ, выполненный при помощи программы MultiCan, разработанной И.А. Гончаровым и Н.Н. Гончаровой, и программы Statistica 10.

Результаты и обсуждение

Краниологическая характеристика мужчин

Богоявленский некрополь г. Соликамска (табл. 1)

При измерении и описании черепов было выявлено явное отличие индивида из погребения № 3. Абсолютные значения признаков намного отклонялись от их значений в остальной группе, что отразилось на показателях дисперсии. Большинство значений размеров черепа из погребения № 3 расположены в категориях больших и очень больших величин, визуально также фиксировалась значительная его массивность. По этой причине средние значения указаны как по всей группе, так и с исключением этого индивида. Последнее заметно сказалось на снижении показателей дисперсии по признакам. Характеристика группы дана без учета этого индивида.

Мужская часть краниологической серии характеризуется небольшими значениями признаков мозгового отдела черепа. Мозговая капсула брахикранных пропорций. Наименьшая ширина лба небольшая, наибольшая его ширина – средняя, ширина основания черепа также довольно мала. Черепа слабо расширяются от лобной части – к затылочной. Ширина затылка характеризуется малыми значениями, затылочный бугор выражен слабо, сосцевидные отростки развиты ниже среднего. Скуловой диаметр, верхняя и средняя ширина лицевого отдела имеют малые величины. Верхняя и полная высоты лица попадают в категорию очень малых величин. Абсолютные размеры лица характеризуются малыми значениями, но лицо относительно субэурипрозно согласно верхнему лицевому указателю. Лицо имеет среднюю профилировку на верхнем и малую – на зиго-максилярном уровнях (но индивидуально размеры углов горизонтальной профилировки сильно варьируют). В вертикальной плоскости лицо мезогнатное. Нос малый, а переносье характеризуется средними размерами. Угол вы-

³ Класс точности № 1, выполнены в соответствии с ГОСТ 9038-90.

ступания носа средний. Орбиты неширокие и низкие. Рельеф надбровья и надпереносья выражен слабо. Признаки нижней челюсти имеют малые величины. В целом, группа довольно однородна, очень грацильна, брахикранна, с маленьким лицом (рис. 1).



Рис. 1. Мужской череп из погребения №6 (Богоявленский некрополь, г. Соликамск)

Старопетропавловский некрополь г. Перми (табл. 2)

Показатели дисперсии имеют, в основном, повышенные значения, что связано либо с неоднородностью выборки, либо с её чрезвычайной малочисленностью.

Все черепа характеризуются преимущественно небольшими размерами мозгового отдела черепа, за исключением короткого, но крайне широкого черепа из погребения № 9. При этом черепа брахикранны, кроме субдолихокранного черепа из погребения № 3, значения которого расположены ближе к мезокранной категории. Наименьшая и наибольшая ширина лба, размеры затылка варьируют от очень малых к очень большим значениям. Лицевой отдел неширокий и невысокий. Размеры носа и орбит также невелики, снова выделяется лишь индивид из погребения № 9 с высоким и широким носом и высокой орбитой.

В целом объединение этой выборки в единую группу условно, поскольку наблюдается сильная ее неоднородность: субдолихокранный ортогнатный череп из погребения № 3 с развитым переносьем, низким и широким лицом, имеющий европеоидные черты; брахикранный прогнатный череп из погребения № 7 с низким переносьем, низким и широким лицом, имеющий монголоидные черты; брахикранный ортогнатный череп из погребения № 12А со среднеразвитым переносьем, средневысоким и относительно узким лицом, во многом похожий на черепа соликамской группы; брахикранный массивный череп из погребения № 9 с сильно развитым надбровьем, надпереносьем, затылочным бугром и сосцевидными отростками, с большим носом и высокой орбитой, среднешироким лицом, широким и средневысоким переносьем. Эту смешанность, вполне закономерную для городского населения, нам мешает подробно проанализировать малочисленность выборки.

Спасо-Преображенский монастырский некрополь Пысгора (табл. 3)

Мужское население Пысгора характеризуется суббрахикранными черепами с малым продольным и средним поперечным диаметрами. Наименьшая ширина лба средняя, наибольшая ширина лба большая. Ширина основания черепа характеризуется

средними значениями, как и ширина затылка. Лицо относительно мезопротопно и мезогнатно. Скуловой диаметр, средняя и верхняя ширина лица средние. Лицевой отдел имеет среднюю высоту, он средне профилирован на верхнем и слабо профилирован на зиго-максиллярном уровнях. Размеры носа средние, переносье среднеширокое и довольно высокое, что особенно заметно на примере симотической высоты. Угол выпячивания носа средний, ближе к большому. Орбиты низкие и среднеширокие.

Мужские черепа относятся к мезоморфному брахикранному европеоидному типу. Кроме того, Е.М. Макарова, изучившая большую часть серии, отмечает, что визуальнотипологическим методом в серии выделяются как европеоидные черепа с хорошо выраженной профилировкой лица (лицевой отдел при этом узкий относительно его высоты), так и более монголоидные широколицые слабо профилированные [21]. Здесь мы имеем дело также со смешанной выборкой.

Общая сравнительная характеристика мужчин (табл. 3)

В целом для морфологического типа соликамской группы характерны меньшие величины абсолютных размеров, для пыскорской – чуть большие, петропавловская серия располагается чаще посередине. У пыскорцев относительно других групп наблюдается чуть более высокий череп, чуть более длинное его основание, более широкий лоб и затылок, более высокое и широкое лицо. Особенно ярко в пыскорской группе выделяется симотическая высота – попадает в категорию очень больших величин, тогда как в соликамской и петропавловской группах этот признак имеет средние значения. Объединяет группы преимущественно брахикранное строение мозговой коробки, выступание лица характеризуется как мезогнатное. Сходны также углы горизонтальной профилировки (зиго-максиллярный угол имеет малые значения, назо-малярный – средние).

При сопоставлении трех групп, пыскорская серия отличается сильнее – соликамская и петропавловская серии демонстрируют более очевидные сходства. Среди остальных соликамская группа видится более однородной, показатели сигм у пыскорцев выше. Самой неоднородной, как уже было сказано, является петропавловская серия.

Расчет ошибки средней (табл. 3) обнажает проблемы с петропавловской выборкой. Фактически, размах по большинству признаков в этой серии вновь подтверждает условность объединения индивидов в единую группу. Меньшую ошибку средней мы наблюдаем в соликамской и пыскорской группах. Расчет интервалов подтверждает полученные нами выводы по сравнению соликамской и пыскорской групп.

Краниологическая характеристика женщин (табл. 4)

Женская серия еще малочисленнее мужской, что не позволяет сделать развернутых выводов. Со всех трех кладбищ удалось собрать и измерить лишь по два черепа.

Женская часть краниологических серий характеризуется чаще малыми и средними значениями признаков мозгового отдела черепа. Сильно отличается от остальных субдолихокранный череп из погребения № 1 соликамского кладбища – наблюдается большой продольный диаметр черепа (большой, чем у мужчин Соликамска) и средний поперечный диаметр. Остальные черепа при этом суббрахикранные. У женщины из погребения № 20 фиксируется гораздо большее расширение черепа в его задней трети, что показывают нам большие значения по поперечному диаметру и ширине основания. Наименьшая и наибольшая ширина лба располагаются в категории малых и средних значений. Ширина затылка сильно варьирует – от малых до больших размеров.

Соликамские черепа мезогнатные, а нижняя челюсть у женщин петропавловской серии выступает довольно сильно. Для соликамской и петропавловской серий характерно неширокое лицо, что демонстрирует нам верхняя и средняя ширина лицевого отдела. Выделяется лишь скуловой диаметр у женщины из погребения № 20 Старопетропавловского некрополя, попадающий в категорию больших значений. Женщины Соликамска имеют большую верхнюю высоту лица. Самое маленькое лицо наблюдается у женщины из погребения № 16 Старопетропавловского некрополя, также оно сильно уплощено на назо-малярном уровне, как и у черепа из погребения № 1 соликамского кладбища. В остальных случаях уплощения лица не наблюдается. Зигмаксиллярный угол также небольшой (удалось измерить только на черепах, происходящих из Старопетропавловского некрополя, и у черепа из погребения № 5 соликамского кладбища). Рельеф надбровья и надпереносья выражен в соликамской и петропавловской группах очень слабо. Размеры орбит во всех случаях небольшие, нос невысокий и среднеширокий (выделяется лишь высокий нос у женщины из погребения № 1 соликамского кладбища). Говорить об однородности групп не представляется возможным.

Сопоставление с данными Н.И. Ансерова (табл. 5)

В силу недостаточности краниометрических материалов по Пермскому Прикамью и скудости сравнительной базы нами было решено провести сравнение данных, анализируемых в настоящей работе, с цифровыми характеристиками черепов из Сылвенского острожка (Троица), полученных Н.И. Ансеровым. Напомним, им были опубликованы лишь краниометрические указатели [5]. Очевидно, что указатели характеризуют группу лишь относительно и не стоит полагаться на них без анализа абсолютных размеров, однако обратиться к последним, к сожалению, невозможно. Также ничего не известно о способах измерения признаков, поэтому не исключены расхождения между авторами. Вся группа, происходящая с кладбища Сылвенского острожка, объединена для сравнения (нами проигнорировано разделение Н.И. Ансеровым черепов на две группы).

В ходе сопоставления величин указателей наблюдается сходство всех четырех мужских серий по поперечно-продольному, высотно-продольному, верхнему лицевому и носовому указателям. Черепа соликамской и петропавловской групп брахикранны, пыскорской и троицкой – суббрахикранны. Высотно-продольный указатель демонстрирует большие величины (отличается лишь соликамская серия, значение по этому указателю попадает в среднюю категорию). Верхний лицевой указатель показывает мезопрозопность (вновь выделяется субэрипрозопная соликамская серия), соотношение высоты и ширины носа указывает на мезоринность.

Женские черепа по этим указателям менее схожи. Они преимущественно брахикранны (за исключением субдолихокранного черепа из погребения № 1 соликамского кладбища), высотно-продольный указатель имеет средние (погребение № 1 соликамского кладбища и оба черепа Старопетропавловского некрополя) и большие (пыскорская, троицкая группа) значения, соотношение верхней высоты лица и скулового диаметра указывает на мезо- (череп из погребения № 5 соликамского кладбища и троицкая группа) и эурипрозопность (петропавловская серия), носовой указатель демонстрирует мезо- (пыскорская и троицкая группы) и субхамеринность (череп из погребения № 5 соликамского кладбища и петропавловская группа).

Опыт межгруппового сопоставления мужских серий по основным расоводиагностическим показателям

Показатели ПФЦ, УЛС и УДМЭ в настоящее время редко фигурируют в краниологической литературе. Однако, судя по нашему опыту, тоже способны продемонстрировать важные результаты (табл. 6). Здесь наблюдается близость соликамской и петропавловской серий. Очень близкие к ним результаты показывает серия из Плотниковского могильника («восточная» группа), население Пятигор и группа северных удмуртов. Несколько менее близкие относительно друг друга – серия из Деменковского могильника, коми-пермяки Кудымкара и коми Подъельска. Коми Гривы и население Сарапула обнаруживают значительное сходство и немного отстают от коми-пермяков. Пыскорская серия обособляется из-за высоких значений симотической высоты. Раннее население Кудымкара сходно с редикарской группой и относительно близко к «западной» группе Плотниковского могильника.

Иными словами, большинство серий по используемым показателям хоть и распадается на локальные группы, в действительности относительно близко, что может быть связано с общими тенденциями процессов расообразования.

Опыт межгруппового анализа мужских краниологических серий из Пермского Прикамья

Для сравнения с анализируемыми выборками были привлечены измерительные данные по следующим группам: Деменковский могильник (VII–IX вв.), Плотниковский могильник (XIII–XV вв.) – его «западная» и «восточная» группы, коми-пермяки Кудымкара (кладбище XVIII–XIX вв.), Кудымкарский могильник (XII–XIV вв.), Редикарский могильник (XII–XIV вв.). Также взяты данные по сериям, происходящим из сопредельных территорий: Свияжск (кон. XIX–нач. XX вв.), Йошкар-Ола (кон. XVI–сер. XVIII вв.), коми сс. Подъельск и Грива (кон. XIX–нач. XX вв.), северные удмурты (XVI–XVIII вв.), Сарапул (XVII–XVIII вв.) [4; 7; 9; 18; 20; 22; 30; 35].

При проведении канонического дискриминантного анализа мы опирались на 13 линейных признаков: продольный, поперечный и высотный диаметры, длина основания черепа, наименьшая ширина лба, скуловой диаметр, верхняя высота лицевого скелета, высота и ширина носа, высота и ширина орбиты, симотические ширина и высота.

По результатам анализа первый канонический вектор (КВ) объясняет 30% общей изменчивости, второй – 22%. Максимально коррелирует с КВ 1 высота носа и ширина орбиты, значительное влияние также оказывает поперечный диаметр мозгового отдела черепа, верхняя высота лица связана с КВ 1 сильной отрицательной корреляцией. Нагрузки на КВ 2 оказывают в большей степени верхняя высота лицевого скелета, высотный диаметр и наименьшая ширина лба, скоррелированные с ним положительно. Остальные признаки оказывают гораздо меньшее влияние.

В пространстве значений КВ 1 и КВ 2 рассматриваемые группы расположились следующим образом: в верхней части графика находятся группы с относительно более высоким сводом черепа, более широким лбом и высоким лицом, в правой стороне графика находятся группы с более широким черепом, высоким носом и широкой орбитой⁴.

На графике отсутствует пыскорская серия, поскольку она отклоняется от всех групп из-за особенностей строения переносья (большой симотической высоты), поэтому для легкости восприятия эта группа была исключена. Интересно, что при про-

⁴ Нужно учитывать эти признаки не абсолютно, а в комбинации с другими размерами.

ведении анализа без участия симотических ширины и высоты, общая картина существенно не изменяется, но население Пыскора оказывается в непосредственной близости к сарапульской серии⁵.

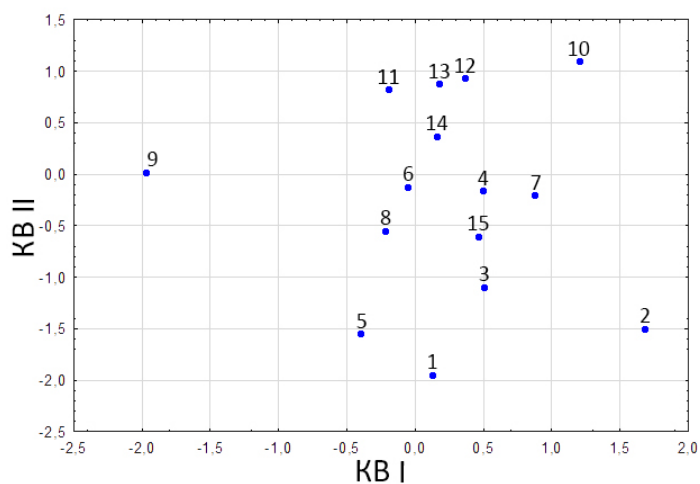


Рис. 2. Расположение мужских серий в пространстве значений KV 1 и KV 2

Условные обозначения: 1. Соликамск, 2. Пермь (Старопетрапавловский некрополь), 3. Деменковский могильник, 4. Плотниковский могильник (зап.), 5. Плотниковский могильник (вост.), 6. Коми-пермяки Кудымкара, 7. Северные удмурты, 8. Свияжск, 9. Йошкар-Ола, 10. Кудымкарский могильник, 11. Редикарский могильник, 12. Коми (Подъельск), 13. Коми (Грива), 14. Сарапул, 15. Пятигоры

В верхней части графика группируются серии коми и Редикарского могильника, немного отстает от них раннее население Кудымкара. Возможно, территориальная близость групп обусловила их морфологическое сходство. Население Сарапула на графике также располагается близко к этим группам, что может показывать относительно однородное на межгрупповом уровне морфологическое пространство в пределах рассматриваемого региона. Отсутствие очевидного сходства между населением, оставившим ранний и более поздний Кудымкарские могильники, добавляет сложности вопросам формирования состава населения в г. Кудымкар. Так, коми-пермяки Кудымкара на графике расположились ближе к «западной» группе Плотниковского могильника (который территориально также очень близок) и северным удмуртам. Определенная связь наблюдается между коми-пермяками и населением Свияжска, что требует дополнительного осмысления⁶. В нижней части графика расположились соликамская, деменковская и «восточная» плотниковская группы. Это может вновь подтверждать вывод, известный из литературы, о разности векторов генетических связей прикамского населения и населения сопредельных территорий. Существенно отклоняется от основного скопления выборки население Перми и Йошкар-Олы. На первое, скорее всего, повлияла малочисленность выборки и её разнородность, на второе – возможно, некоторое своеобразие Йошкар-Олинской серии на фоне остальных поволжских групп.

Заключение

Неполнота краниологических данных обуславливает предварительность рассуждений о расо- и этногенетических процессах в Пермском Прикамье. Полученные ре-

⁵ График не приводится.

⁶ В работе Д.В. Пежемского также обнаруживалась связь между населением Свияжска и Перми [27, 112].

зультаты позволяют осторожно говорить о генетической преемственности средневековых серий (деменковская, «восточная» плотниковская) с более поздними группами (северные удмурты, коми-пермяки). Соликамская группа имеет самые меньшие размеры черепа по большинству признаков, но, похоже, обнаруживает связь со средневековыми деманковской и «восточной» плотниковской сериями. Некоторая обособленность групп коми с редикарской и ранней кудымкарской группами может свидетельствовать о разных антропологических комплексах коми и коми-пермяков [см. также: 32]. Очевидной является самостоятельность проблемы формирования населения в новом индустриальном центре XVIII в. – г. Перми. Статус пыскорской группы вызывает вопросы – если не брать во внимание особенности строения переносья, она оказывается сходной с населением Сарапула, которое, в свою очередь, обнаруживает некоторую связь со многими исследуемыми группами Пермского Прикамья.

Библиографический список

1. *Акимова М.С.* Антропология древнего населения Приуралья. – М.: Наука, 1968. – 119 с.
2. *Алексеев В.П., Дебец Г.Ф.* Краниометрия. Методика антропологических исследований. – М.: Наука, 1964. – 128 с.
3. *Алексеев В.П.* Остеометрия. Методика антропологических исследований. – М.: Наука, 1966. – 252 с.
4. *Алексеев В.П.* Происхождение народов Восточной Европы. Краниологическое исследование. – М.: Наука, 1969. – 324 с.
5. *Ансеров Н.И.* Черепа из древнего кладбища с. Троицкого Пермского округа // Известия Биологического научно-исследовательского института и биологической станции при Пермском государственном университете – 1925 – Том 4 – № 3 – С. 115–122.
6. *Брюхова Н.Г.* Антропологический материал из раскопа Чердынь Посад 1-54(05) // Вестник МАЭ ПГГПУ – 2008 – № 2 – С. 46–48.
7. *Брюхова Н.Г.* Антропологический материал Плотниковского могильника // Крыласова Н.Б., Брюхова Н.Г. Плотниковский могильник. – Пермь: ПГГПУ, 2017. – С. 103–114.
8. *Брюхова Н.Г.* Серия черепов из погребений Митинского могильника: её место в составе средневекового населения Пермского Предуралья // VIII Алексеевские чтения (международная научная конференция, посвященная памяти академиков В.П. Алексеева и Т.И. Алексеевой): Материалы. Москва, 26-28 августа 2019. – М.: НИИ и Музей антропологии МГУ, 2019. – С. 33–34.
9. *Брюхова Н.Г.* Антропологический материал Деманковского могильника (раскопки 2007 года) // Труды VI (XXII) Всероссийского археологического съезда в Самаре. – Самара: Издательство Самарского государственного социально-педагогического университета, 2020. – С. 142–144.
10. *Вишневецкий Б.Н.* К антропологии великорусского населения Пермской губернии // Русский антропологический журнал – 1916 – №№ 1, 2 – С. 46–60.
11. *Галиева К.Р., Скрябина П.Э.* Антропометрические показатели черепов XVI и XX веков анатомического музея ПГМУ им. Е.А. Вагнера // Сборник конференции молодых ученых ПГМУ. – Пермь: ГБОУ ВПО ПГМУ им. Е.А. Вагнера Минздрава России, 2015. – С. 73.
12. *Герасимова М.М., Пежемский Д.В.* Разрешающие возможности палеоантропологических исследований // Палеоантропология Беларуси (коллективная монография: Саливон И.И., Васильев С.В., Герасимова М.М. и др.). – Минск: Беларуская навука, 2015. – С. 8–23.
13. *Головчанский Г.П.* Православный некрополь Пыскорского Спасо-Преображенского монастыря (по результатам раскопок 2002-2003 гг.) // XV Бадеровские чтения по археологии Урала и Поволжья: материалы всероссийской научно-практической конференции (г. Пермь 9-12 февраля 2016 г.). – Пермь: ПГНИУ, 2016. – С. 203–207.
14. *Головчанский Г.П.* Христианизация Перми Великой в XV – начале XVIII в. / Дисс. канд. ист. Наук: 07.00.02. – Пермь, ПГУ, 2006. – 186 с.
15. *Данич А.В.* Раскопки некрополя второй четверти XVIII в. при устройстве наружных сетей водоснабжения, канализации, теплоснабжения, наружного освещения здания «Петропавловский собор» по адресу: Пермь, Советская, 1 // Региональные столицы России – точки опоры и роста:

- материалы Всероссийской научной конференции с международным участием (Екатеринбург – Пермь, 20-22 сентября 2023 г.). – Екатеринбург: Альфа-Принт, 2023. – С. 17–19.
16. *Дебец Г.Ф.* К унификации краниологических исследований // Антропологический журнал – 1935 – № 1 – С. 118–124.
 17. *Дебец Г.Ф.* Опыт краниометрического определения доли монголоидного компонента в смешанных группах населения СССР // Проблемы антропологии и исторической этнографии Азии – 1968 – С. 13–22.
 18. *Ефимова С.Г.* Краниология финно-угорских народов Поволжья и Приуралья: территориальная изменчивость и ретроспективный анализ // Вопросы антропологии – 1999 – Вып. 90 – С. 127–140.
 19. *Любищев А.А.* По поводу работы Н.И. Ансера: Череп из древнего кладбища. С. Троицкого. Пермского округа // Известия Биологического научно-исследовательского института и биологической станции при Пермском государственном университете – 1926 – Том 4 – № 8 – С. 387–390.
 20. *Макарова Е.М., Харламова Н.В.* Население Царевококшайска (Йошкар-Олы) кон. XVI – сер. XVIII вв. по данным антропологии (предварительные результаты исследования) // Интеграция археологических и этнографических исследований – 2013 – Т.2 – С. 82–88.
 21. *Макарова Е.М.* Антропологические материалы из раскопок православного некрополя Пыскорского Спасо-Преображенского монастыря XVI в. Предварительные результаты исследования // XV Бадеровские чтения по археологии Урала и Поволжья: материалы всероссийской научно-практической конференции (г. Пермь 9-12 февраля 2016 г.). – Пермь: ПГНИУ, 2016. – С. 208–211.
 22. *Макарова Е.М.* Новые данные по антропологии Свияжска (предварительные итоги) // Вестник антропологии – 2018 – № 1 (41) – С. 35–47.
 23. *Малиев Н.М.* Антропологический очерк племени пермяков // Труды Общества естествознания Казанского университета – 1887 – Т. XVI – 78 с.
 24. *Оборин В.А.* Раскопки Кудымкарского могильника и городища. Пермь, 1951. Архив Коми-Пермяцкого краеведческого музея им. П.И. Субботина-Пермяка. Ф. 926, Оп. 1, Д. 12.
 25. *Оборин В.А.* Заселение и освоение Урала в конце XI – начале XVII вв. Иркутск: Издательство Иркутского университета, 1990. – 168 с.
 26. *Пежемский Д.В., Харламова Н.В.* Методический семинар по коннекции краниометрических программ // Вестник антропологии – 2013 – № 24 – С. 169–172.
 27. *Пежемский Д.В.* Население Томска XVII–XIX вв. в системе антропологического разнообразия Европейской России // Вестник Томского государственного университета. История – 2017 – № 49 – С. 109–114.
 28. *Смертин П.Р.* Морфология длинных костей скелета и особенности телосложения населения Пермского Прикамья в эпоху Нового времени // Археология евразийских степей – 2024 – № 1 – С. 134–150.
 29. *Соколова Н.Е.* Проведение охранных археологических раскопок на территории памятника археологии «Соликамск, город» Пермского края в зоне проведения строительных работ в 2007 году. – Пермь, 2008 – 29 с.
 30. *Хартанович В.И.* Краниология верхневыхгодских и сысольских коми // Антропология Коми. М.: Институт этнологии и антропологии РАН, 2005. – С. 233–243.
 31. *Чагин Г.Н.* Этнокультурная история Среднего Урала в конце XVI – первой половине XIX века. Пермь: ПГУ. 1995. – 364 с.
 32. *Чебоксаров Н.Н.* Этногенез коми по данным антропологии // Советская этнография – 1946 – № 2 (51) – С. 51–80.
 33. *Широбоков И.Г.* К антропологии пермских народов XVII–XIX вв. (краниологические данные) // Ежегодник финно-угорских исследований – 2014 – № 3 – С. 80–98.
 34. *Широбоков И.Г., Моисеев В.Г., Козинцев А.Г., Хартанович В.И., Чистов Ю.К., Громов А.В.* Индивидуальные краниометрические данные близких к современности групп населения Восточной и Северо-Восточной Европы. СПб.: МАЭ РАН, 2017. 25 с.
 35. *Широбоков И.Г.* Население Сарапула в XVII–XVIII вв. по данным антропологии // Русские в Прикамье. Материалы Всероссийской научно-практической конференции (22-23 марта 2018 г., г. Сарапул). – Ижевск-Сарапул: УдГУ, 2018. – С. 57–65.
 36. *Martin R.* Lehrbuch der Anthropologie in systematischer Darstellung. Bd. 1-2. Jena: Gustav Fischer, 1928. – 991 p.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Таблица 1

Краниометрическая характеристика мужской серии, Богоявленский некрополь г. Соликамска

№№ по Р. Мартину и др.	Признаки	Номер погребения							Средние			Средние без погр. № 3		
		№ 3	№ 6	№ 7	№ 9	№ 10	№ 12	№ 13	N	X	S	N	X	S
МОЗГОВОЙ ОТДЕЛ ЧЕРЕПА														
1	Продольный диаметр	186	162,5	166,0	171,5	171,0	172,0	164,5	7	170,5	7,2	6	167,9	3,7
8	Поперечный диаметр	147	140,0	141,5	137,0	147,0	136,0	138,5	7	141,0	4,1	6	140,0	3,6
8:1	Черепной указатель	79,0	86,2	85,2	79,9	86,0	79,1	84,2	7	82,8	3,1	6	83,4	2,9
17	Высотный диаметр	-	124,0	123,0	124,0	124,0	130,0	126,0	6	125,2	2,3	6	125,2	2,3
17:1	Высотно-продольный указатель	-	76,3	74,1	72,3	72,5	75,6	76,6	6	74,6	1,7	6	74,6	1,7
17:8	Высотно-поперечный указатель	-	88,6	86,9	90,5	84,4	95,6	91,0	6	89,5	3,5	6	89,5	3,5
5	Длина основания черепа	-	92,0	92,5	98,5	93,0	96,0	97,0	6	94,8	2,5	6	94,8	2,5
20	Ушная высота	119,0	109,8	108,8	110,1	112,8	112,5	107,6	7	111,5	3,5	6	110,3	1,9
9	Наименьшая ширина лба	107,0	89,5	94,0	93,0	95,0	89,0	94,5	7	94,6	5,5	6	92,5	2,4
9:8	Лобно-поперечный указатель	72,8	63,9	66,4	67,9	64,6	65,4	68,2	7	67,0	2,8	6	66,1	1,6
10	Наибольшая ширина лба	128,0	113,0	114,0	111,0	122,0	116,0	118,0	7	117,4	5,4	6	115,7	3,6
9:10	Широтный лобный указатель	83,6	79,2	82,5	83,8	77,9	76,7	80,1	7	80,5	2,6	6	80,0	2,5
11	Ширина основания черепа	138,0	122,0	129,0	123,0	125,0	114,0	121,0	7	124,6	6,9	6	122,3	4,5
12	Ширина затылка	117,5	107,0	111,0	103,0	106,0	103,0	102,5	7	107,1	5,1	6	105,4	3,0
ЛИЦЕВОЙ ОТДЕЛ ЧЕРЕПА														
45	Скуловой диаметр	144,0	127,0	126,0	124,5	134,0	120,0	127,0	7	128,9	7,3	6	126,4	4,1
45:8	Поперечный фацио-церебральный ук.	98,0	90,7	89,0	90,9	91,2	88,2	91,7	7	91,4	2,9	6	90,3	1,2
40	Длина основания лица	-	93,0	87,0	92,0	93,0	98,0	95,0	6	93,0	3,3	6	93,0	3,3
40:5	Выступление лица	-	101,1	94,1	93,4	100,0	102,1	97,9	6	98,1	3,3	6	98,1	3,3
48	Верхняя высота лица	75,0	60,5	62,5	70,0	65,5	66,0	62,0	7	65,9	4,7	6	64,4	3,2
48:45	Верхний лицевой указатель	52,1	47,6	49,6	56,2	48,9	55,0	48,8	7	51,2	3,1	6	50,9	3,3
47	Полная высота лица	-	101,0	98,5	112,0	101,0	110,0	-	5	104,5	5,4	5	104,5	5,4
43	Верхняя ширина лица	116,5	97,5	97,5	99,0	106,0	98,0	102,0	7	102,4	6,4	6	100,0	3,1
46	Средняя ширина лица	-	91,0	92,5	89,5	94,0	89,0	88,0	6	90,7	2,1	6	90,7	2,1
51	Ширина орбиты (mf)	42,0	38,0	37,5	40,0	41,5	40,2	40,5	7	40,0	1,5	6	39,6	1,4
52	Высота орбиты	33,5	25,0	34,0	33,0	32,5	32,5	34,0	7	32,1	2,9	6	31,8	3,1
55	Высота носа	54,0	43,5	45,0	52,0	50,5	45,0	50,0	7	48,6	3,7	6	47,7	3,3
54	Ширина носа	-	24,5	22,0	25,0	25,0	24,0	23,5	6	24,0	1,0	6	24,0	1,0
52:51	Орбитный указатель	79,8	65,8	90,7	82,5	78,3	80,8	84,0	7	80,3	7,0	6	80,3	7,5
54:55	Носовой указатель	-	56,3	48,9	48,1	49,5	53,3	47,0	6	50,5	3,3	6	50,5	3,3
SC	Симотическая ширина	12,0	3,4	8,5	8,5	7,5	18,8	8,0	7	9,5	4,4	6	9,1	4,7
SS	Симотическая высота	6,0	1,0	4,0	4,5	4,0	4,1	4,5	7	4,0	1,4	6	3,7	1,2
DC	Дакриальная ширина	-	21,5	20,0	21,0	24,5	19,8	21,0	6	21,3	1,5	6	21,3	1,5
DS	Дакриальная высота	-	11,5	11,0	12,5	11,0	12,2	10,0	6	11,4	0,8	6	11,4	0,8
∠Zm'	Зиго-максиллярный угол	-	135,0	126,9	119,1	140,2	121,4	123,1	6	127,6	7,6	6	127,6	7,6
77	Назо-малярный угол	133,9	146,6	139,4	133,5	146,3	143,5	144,2	7	141,1	5,1	6	142,3	4,6
75(1)	Угол выступления носа	18,7	-	32,0	22,8	23,6	24,9	19,5	6	23,6	4,4	5	24,6	4,1

Таблица 2

Краниометрическая характеристика мужской серии, Старопетропавловский некрополь г. Перми

№№ по Р. Мартину и др.	Признаки	Номера погребений					Средние		
		№ 3	№ 7	№ 12А	№ 9	пересгл. инд. 1	N	X	S
МОЗГОВОЙ ОТДЕЛ ЧЕРЕПА									
1	Продольный диаметр	175,0	157,0	167,5	176	166	5	168,3	6,9
8	Поперечный диаметр	133,5	133	140,5	154,5	-	4	140,4	8,7
8:1	Черепной указатель	76,3	84,7	83,9	87,8	-	4	83,2	4,2
17	Высотный диаметр	128,5	118,0	133,0	134,0	-	4	128,4	6,3
17:1	Высотно-продольный указатель	73,4	75,2	79,4	76,1	-	4	76,0	2,2
17:8	Высотно-поперечный указатель	96,3	88,7	94,7	86,7	-	4	91,6	4,0
5	Длина основания черепа	100,0	87,0	94,0	99,0	-	4	95,0	5,1
20	Ушная высота	109,0	101,5	109,8	118,5	-	4	109,7	6,0
9	Наименьшая ширина лба	96,0	88,0	91,0	91,0	93,5	5	91,9	2,7
9:8	Лобно-поперечный указатель	71,9	66,2	64,8	58,9	-	4	65,4	4,6
10	Наибольшая ширина лба	115,0	107,0	112,5	130,0	120,0	5	116,9	7,8
9:10	Широтный лобный указатель	83,5	82,2	80,9	70,0	77,9	5	78,9	4,8
11	Ширина основания черепа	120,5	118,0	124,0	134,0	-	4	124,1	6,1
12	Ширина затылка	108,0	100,0	102,0	112,0	106,0	5	105,6	4,3

ЛИЦЕВОЙ ОТДЕЛ ЧЕРЕПА									
45	Скуловой диаметр	130,0	124,0	128,0	136,0	-	4	129,5	4,3
45:8	Поперечный фацио-церебральный ук.	97,4	93,2	91,1	88,0	-	4	92,4	3,4
40	Длина основания лица	91,0	91,0	89,0	-	-	3	90,3	0,9
40:5	Выступание лица	91,0	104,6	94,7	-	-	3	96,8	5,7
48	Верхняя высота лица	65,5	68,0	69,0	-	-	3	67,5	1,5
48:45	Верхний лицевой указатель	50,4	54,8	53,9	-	-	3	53,0	1,9
47	Полная высота лица	106,0	109,0	113,0	-	-	3	109,3	2,9
43	Верхняя ширина лица	103,0	98,0	101,0	104,5	98,0	5	100,9	2,6
46	Средняя ширина лица	92,5	90,5	93,0	97,0	-	4	93,3	2,4
51	Ширина орбиты (<i>mf</i>)	42,0	41,3	40,0	39,5	-	4	40,7	1,0
52	Высота орбиты	31,0	32,7	34,0	36,0	-	4	33,4	1,8
55	Высота носа	52,0	50,0	50,5	59,0	-	4	52,9	3,6
54	Ширина носа	25,5	24,5	24,5	30,0	-	4	26,1	2,3
52:51	Орбитный указатель	73,8	79,2	85,0	91,1	-	4	82,3	6,5
54:55	Носовой указатель	49,0	49,0	48,5	50,8	-	4	49,4	0,9
SC	Симотическая ширина	8,5	5,0	8,9	10,0	-	4	8,1	1,9
SS	Симотическая высота	5,0	2,3	4,0	4,0	-	4	3,8	1,0
DC	Дакриальная ширина	19,5	19,5	18,5	-	-	3	19,2	0,5
DS	Дакриальная высота	13,5	10,0	10,5	-	-	3	11,3	1,5
∠Zm'	Зиго-максиллярный угол	128,2	128,9	122,5	-	-	3	126,5	2,9
77	Назо-малярный угол	135,5	142,8	160,2	139,7	-	4	143,2	8,8
75(1)	Угол выступания носа	-	16,7	19,5	29,8	-	3	22,0	5,6

Таблица 3

Сравнительная краниометрическая характеристика мужских серий

№№ по Р. Мартину и др.	Признаки	Соликамск, средние ⁸					Пермь, средние					Пыскор, средние				
		N	X	S	m ±	категория	N	X	S	m ±	категория	N	X	S	m ±	категория
МОЗГОВОЙ ОТДЕЛ ЧЕРЕПА																
1	Продольный диаметр	6	167,9	3,7	1,83	оч. малый	5	168,3	6,9	3,86	оч. малый	12	175,5	6,3	2,00	малый
8	Поперечный диаметр	6	140,0	3,6	1,77	средний	4	140,4	8,7	5,78	средний	11	142,9	7,3	2,42	средний
8:1	Черепной указатель	6	83,4	2,9	1,40	брахикран.	4	83,2	4,2	2,82	брахикран.	11	81,5	3,4	1,13	суббрах.
17	Высотный диаметр	6	125,2	2,3	1,15	оч. малый	4	128,4	6,3	4,23	малый	10	135,4	3,8	1,33	средний
17:1	Высотно-продольный указатель	6	74,6	1,7	0,84	средний	4	76,0	2,2	1,45	большой	10	77,5	2,7	0,94	большой
17:8	Высотно-поперечный указатель	6	89,5	3,5	1,72	малый	4	91,6	4,0	2,65	малый	10	94,4	3,5	1,22	средний
5	Длина основания черепа	6	94,8	2,5	1,21	оч. малый	4	95,0	5,1	3,43	оч. малый	10	99,0	3,7	1,30	малый
20	Ушная высота	6	110,3	1,9	0,91	малый	4	109,7	6,0	4,02	малый	10	116,3	4,3	1,51	средний
9	Наименьшая ширина лба	6	92,5	2,4	1,17	малый	5	91,9	2,7	1,50	малый	12	97,0	4,6	1,44	средний
9:8	Лобно-поперечный указатель	6	66,1	1,6	0,78	средний	4	65,4	4,6	3,08	малый	11	68,3	2,4	0,81	средний
10	Наибольшая ширина лба	6	115,7	3,6	1,76	средний	5	116,9	7,8	4,35	средний	11	120,6	6,4	2,13	большой
9:10	Широтный лобный указатель	6	80,0	2,5	1,21	средний	5	78,9	4,8	2,70	малый	11	81,0	2,6	0,85	средний
11	Ширина основания черепа	6	122,3	4,5	2,22	малый	4	124,1	6,1	4,06	средний	11	123,4	6,5	2,17	средний
12	Ширина затылка	6	105,4	3,0	1,47	малый	5	105,6	4,3	2,39	малый	12	109,8	4,9	1,56	средний
ЛИЦЕВОЙ ОТДЕЛ ЧЕРЕПА																
45	Скуловой диаметр	6	126,4	4,1	2,03	малый	4	129,5	4,3	2,89	малый	8	132,5	5,6	2,25	средний
45:8	Поперечный фацио-церебральный ук.	6	90,3	1,2	0,61	малый	4	92,4	3,4	2,27	средний	7	92,2	2,9	1,19	малый
40	Длина основания лица	6	93,0	3,3	1,62	малый	3	90,3	0,9	0,82	оч. малый	8	95,4	4,1	1,64	малый
40:5	Выступание лица	6	98,1	3,3	1,64	мезогнат.	3	96,8	5,7	4,97	мезогнат.	8	96,1	6,5	2,64	мезогнат.
48	Верхняя высота лица	6	64,4	3,2	1,55	оч. малый	3	67,5	1,5	1,27	малый	8	71,4	2,2	0,90	средний
48:45	Верхний лицевой указатель	6	50,9	3,3	1,62	субзурипр.	3	53,0	1,9	1,66	мезопроз.	7	54,0	2,9	1,29	мезопроз.
47	Полная высота лица	5	104,5	5,4	3,03	оч. малый	3	109,3	2,9	2,48	малый	2	121,0	4,0	5,66	средний
43	Верхняя ширина лица	6	100,0	3,1	1,52	малый	5	100,9	2,6	1,46	малый	12	104	4,6	1,45	средний
46	Средняя ширина лица	6	90,7	2,1	1,02	малый	4	93,3	2,4	1,57	малый	9	92,3	4,2	1,59	малый
51	Ширина орбиты (<i>mf</i>)	6	39,6	1,4	0,69	малый	4	40,7	1,0	0,66	малый	10	42,0	1,5	0,53	средний
52	Высота орбиты	6	31,8	3,1	1,53	оч. малый	4	33,4	1,8	1,22	средний	10	32,8	2,0	0,71	малый
55	Высота носа	6	47,7	3,3	1,60	малый	4	52,9	3,6	2,41	средний	9	51,1	2,6	0,98	средний
54	Ширина носа	6	24,0	1,0	0,51	малый	4	26,1	2,3	1,52	средний	8	24,7	1,4	0,56	средний
52:51	Орбитный указатель	6	80,3	7,5	3,69	мезококонх.	4	82,3	6,5	4,31	мезококонх.	10	78,1	5,4	1,91	хамекоконх.
54:55	Носовой указатель	6	50,5	3,3	1,59	мезорин.	4	49,4	0,9	0,59	мезорин.	8	48,8	3,4	1,38	мезорин
SC	Симотическая ширина	6	9,1	4,7	2,29	средний	4	8,1	1,9	1,25	средний	10	5,2	2,6	0,93	оч. малый
SS	Симотическая высота	6	3,7	1,2	0,60	средний	4	3,8	1,0	0,65	средний	10	8,3	2,9	1,03	оч. больш.
DC	Дакриальная ширина	6	21,3	1,5	0,76	средний	3	19,2	0,5	0,41	малый	8	22,2	3,6	1,47	средний
DS	Дакриальная высота	6	11,4	0,8	0,41	средний	3	11,3	1,5	1,34	средний	8	10,9	1,9	0,76	средний
∠Zm'	Зиго-максиллярный угол	6	127,6	7,6	3,71	малый	3	126,5	2,9	2,48	малый	8	128,4	5,5	2,24	малый
77	Назо-малярный угол	6	142,3	4,6	2,24	средний	4	143,2	8,8	4,93	средний	10	139,9	3,4	1,21	средний
75(1)	Угол выступания носа	5	24,6	4,1	2,31	средний	3	22,0	5,6	4,88	малый	7	27,9	7,2	3,16	средний

⁸ Без индивида из погребения № 3.

Сравнительная краниметрическая характеристика женских серий

№.№ по Р. Мартину и др.	Признаки	Соликамск		Соликамск, средние		Пермь		Пермь, средние		Пыскор, средние	
		Погр. № 1	Погр. № 5	N	X	Погр. № 16	Погр. № 20	N	X	N	X
МОЗГОВОЙ ОТДЕЛ ЧЕРЕПА											
1	Продольный диаметр	175,5	160,5	2	168,0	162	171	2	166,5	2	167
8	Поперечный диаметр	134,5	131	2	132,8	133	142	2	137,5	2	137
8:1	Черепной указатель	76,6	81,6	2	79,1	82,1	83	2	82,6	2	82,0
17	Высотный диаметр	129,5	123,5	2	126,5	120,0	126,0	2	123,0	2	128
17:1	Высотно-продольный указатель	73,8	76,9	2	75,4	74,1	73,7	2	73,9	2	76,6
17:8	Высотно-поперечный указатель	96,3	94,3	2	95,3	90,2	88,7	2	89,5	2	93,4
5	Длина основания черепа	97,0	90,5	2	93,8	87,0	94,5	2	90,8	-	-
20	Ушная высота	106,7	104,7	2	105,7	107,7	109,0	2	108,4	-	-
9	Наименьшая ширина лба	90,0	90,0	2	90,0	83,0	93,0	2	88,0	2	92,5
9:8	Лобно-поперечный указатель	66,9	68,7	2	67,8	62,4	65,5	2	63,9	2	67,5
10	Наибольшая ширина лба	113,0	109,0	2	111,0	113,0	113,0	2	113,0	-	-
9:10	Широтный лобный указатель	79,6	82,6	2	81,1	73,5	82,3	2	77,9	-	-
11	Ширина основ. черепа	120,0	118,0	2	119,0	113,0	125,0	2	119,0	-	-
12	Ширина затылка	100,5	109,0	2	104,8	107,5	107,0	2	107,3	-	-
ЛИЦЕВОЙ ОТДЕЛ ЧЕРЕПА											
45	Скуловой диаметр	-	119,0	1	119,0	118,0	130,0	2	124,0	-	-
45:8	Поперечный фацио-церебральный ук.	-	90,8	1	90,8	88,7	91,5	2	90,1	-	-
40	Длина основания лица	97,5	91,0	2	94,3	96,5	99,0	2	97,8	-	-
40:5	Выступание лица	100,5	100,6	2	100,5	110,9	104,8	2	107,8	-	-
48	Верхняя высота лица	69,5	63,5	2	66,5	60,0	63,0	2	61,5	1	66,5
48:45	Верхний лицевой указатель	-	53,4	1	53,4	50,8	48,5	2	49,7	-	-
47	Полная высота лица	107,0	107,0	2	107,0	96,0	108,5	2	102,3	-	-
43	Верхняя ширина лица	102,0	96,5	2	99,3	92,0	100,5	2	96,3	-	-
46	Средняя ширина лица	-	89,0	1	89,0	92,0	88,0	2	90,0	-	-
51	Ширина орбиты (mf)	39,0	38,0	2	38,5	37,0	40,0	2	38,5	1	40,1
52	Высота орбиты	31,0	31,0	2	31,0	30,0	29,5	2	29,8	1	33,9
55	Высота носа	51,5	46,5	2	49,0	45,0	45,5	2	45,3	1	50,0
54	Ширина носа	-	25,0	1	25,0	23,5	24,5	2	24,0	1	25,4
52:51	Орбитный указатель	79,5 ⁹	81,6	2	80,5	81,1	73,8	2	77,4	1	84,5
54:55	Носовой указатель	-	53,8	1	53,8	52,2	53,8	2	53,0	1	50,8
SC	Симотическая ширина	8,0	16,5	2	12,3	5,0	12,0	2	8,5	-	-
SS	Симотическая высота	3,0	2,5	2	2,8	3,0	5,5	2	4,3	-	-
DC	Дакриальная ширина	21,0	19,0	2	20,0	15,0	20,5	2	17,8	-	-
DS	Дакриальная высота	9,5	9,0	2	9,3	9,5	12,5	2	11,0	-	-
∠Zm	Зито-максиллярный угол	-	127,9	1	127,9	122,5	124,7	2	123,6	-	-
77	Назо-малярный угол	147,9	138,8	2	143,4	156,6	135,3	2	146,0	2	141,0

Таблица 5

Сравнительная характеристика краниметрических указателей

№.№ по Р. Мартину	Указатели	Сыльвенский острожек, средние (по Н.И. Ансерову, 1925)				Соликамск, средние ¹⁰				Пермь, средние				Пыскор, средние			
		N	X	S	m ±	N	X	S	m ±	N	X	S	m ±	N	X	S	m ±
Мужчины																	
8:1	Черепной	12	80,5	2,1	0,66	6	83,4	2,9	1,40	4	83,2	4,2	2,82	11	81,5	3,4	1,13
17:1	Высотно-продольный	7	76,0	1,8	0,78	6	74,6	1,7	0,84	4	76	2,2	1,45	10	77,5	2,7	0,94
48:45	Верхний лицевой	7	52,3	0,9	0,40	6	50,9	3,3	1,62	3	53	1,9	1,66	7	54	2,9	1,29
54:55	Носовой	7	49,4	4,6	2,03	6	50,5	3,3	1,59	4	49,4	0,9	0,59	8	48,8	3,4	1,38
Женщины																	
8:1	Черепной	6	80,9	2,1	1,03	6	83,4	2,9	1,40	2	82,6	-	-	2	82	-	-
17:1	Высотно-продольный	1	77,6	-	-	6	74,6	1,7	0,84	2	73,9	-	-	2	76,6	-	-
48:45	Верхний лицевой	2	53,8	2,1	-	6	50,9	3,3	1,62	2	49,7	-	-	-	-	-	-
54:55	Носовой	1	49,8	-	-	6	50,5	3,3	1,59	2	53	-	-	1	50,8	-	-

⁹ Значения по орбите индивида из погребения № 1 взяты по правой стороне из-за плохой сохранности лицевого отдела.¹⁰ Без индивида из погребения № 3.

Расоводиагностические показатели мужских черепов

Серия	Дата	ПФЦ	УЛС	УДМЭ
Деменковский могильник	VII – IX вв.	91,5	32,8	19,3
Редикарский могильник	XII – XIV вв.	89,7	23,2	-1,1
Кудымкарский могильник	XII – XIV вв.	89,4	22,5	-3,3
Плотниковский могильник («западная» группа)	XIII – XV вв.	91,6	20,0	5,1
Плотниковский могильник («восточная» группа)	XIII – XV вв.	92,5	41,3	33,7
Спасо-преображенский монастырь, Пыскор	XVI в.	90,3	13,9	-8,4
Северные удмурты	XVI – XVIII вв.	91,5	39,8	26,8
г. Соликамск	XVII – сер. XVIII вв.	90,8	42,9	27,0
Сарапул	XVII – XVIII вв.	90,5	27,0	7,5
г. Пермь (Старопетropавловский некрополь)	вт. четв. XVIII в.	91,1	47,9	34,2
Коми-пермяки Кудымкара	XVIII – нач. XIX в.	90,3	31,2	11,1
Коми, с. Подъельск	кон. XIX – нач. XX вв.	91,9	34,5	23,4
Коми, с. Грива	кон. XIX – нач. XX вв.	89,6	31,2	7,5
Пятигоры	XIX в.	91,1	49,3	35,8

Благодарности:

Автор выражает огромную благодарность Д.В. Пежемскому за помощь в подготовке работы, Н.Г. Брюховой за ценные комментарии, а также Е.М. Макаровой за предоставление индивидуальных данных по пыскорской серии.

Для цитирования:

Смертин П.Р. Новые данные по краниологии населения Пермского Прикамья эпохи нового времени // Вестник Пермского федерального исследовательского центра. – 2026. – № 1. – С. 74–88. <https://doi.org/10.7242/2658-705X/2026.1.6>

Сведения об авторе:

Смертин Павел Романович, научный сотрудник, Институт гуманитарных исследований УрО РАН – филиал Пермского федерального исследовательского центра УрО РАН («ИГИ УрО РАН»), 614013, Пермский край, г. Пермь, ул. Генкеля, д. 4; e-mail: paulsmert@mail.ru, ORCID: 0009-0006-5765-3573

NEW DATA ON THE CRANIOLOGY OF THE POPULATION OF THE PERM KAMA REGION OF THE MODERN ERA

Smertin P.R.

Institute of Humanitarian Studies UB RAS, Perm

The article publishes primary craniometric data of small samples from the territory of the Perm Kama region which date back to the Modern era. Three groups from the cemeteries of Solikamsk, Perm (Egoshikhinsky cooper smelter) and Pyskor are compared. After the morphological characterization, a canonical analysis was carried out. The research led to assumption regarding the genetic links between the Solikamsk population of the XVII – XVIII centuries and certain medieval groups in the region. The conclusions known from the literature concerning the complexity of the formation of the anthropological composition in the Perm Kama region have been confirmed. The unique nature of the population formation issue in the city of Perm as the new industrial center of the XVIII century is becoming obvious.

Keywords: *biological anthropology, paleoanthropology, craniology, craniometry, the Kama Region, the New era, Solikamsk, Perm*

Поступила в редакцию: 14.01.2026

Принята к публикации: 07.04.2026

ИСТОРИЯ КОМИ-ПЕРМЯЦКОЙ ПИСЬМЕННОСТИ: СРАВНИТЕЛЬНЫЙ ОБЗОР АЛФАВИТОВ КОНЦА XIX – ПЕРВОЙ ПОЛОВИНЫ XX ВЕКА

Черных И.А., *Институт гуманитарных исследований УрО РАН, Пермь*

Статья посвящена сравнительно-историческому анализу алфавитов, разработанных для коми-пермяцкого языка с XIX века до утверждения современного кириллического стандарта в 1938 году. Актуальность исследования обусловлена отсутствием в научной литературе комплексных работ, систематизирующих многочисленные и зачастую мало-распространённые варианты письменности. Целью работы является проведение сравнительного анализа данных систем на основе критериев адекватности передачи фонетики коми-пермяцкого языка, практичности и системности графических решений. В качестве материала исследования привлекаются алфавиты ключевых памятников коми-пермяцкой письменности: словаря Н. Рогова (1869), ряда букварей (1894-1908 гг.), оригинального кириллического алфавита В. Молодцова (1918), проектов на латинской основе (1924, 1932 гг.) и проектов кириллического алфавита 1937 года. Для обеспечения объективности сравнения в статье предварительно даётся детальный обзор фонетической системы пермских языков, включая консонантизм, вокализм и основные диалектные различия. В результате исследования выявлены основные тенденции в эволюции коми-пермяцкой письменности: от ранних проектов, тяготевших к правилам русской орфографии и зачастую игнорировавших специфику языка, через строго фонематические системы (алфавиты Савваитова-Рогова, Молодцова и латинизированный) к современному алфавиту, представляющему собой компромисс между фонематическим принципом и ориентацией на русскую графическую базу. Статья вносит вклад в систематизацию знаний по истории письменности коми-пермяцкого языка и оценивает эффективность рассмотренных алфавитных систем с лингвистической и практической точек зрения.

Ключевые слова: алфавит, орфография, коми-пермяцкий язык, коми-зырянский язык, фонетика, латинизация, кириллизация, языковая политика

Письменная система коми-пермяцкого языка за свою долгую историю пережила множество итераций, большая часть которых пришлась на рубеж прошлого и позапрошлого веков, вплоть до 1938-го года, когда был принят современный вариант письменности. Однако до настоящего времени отсутствовали работы, которые были бы посвящены сравнению всех этих алфавитов, большинство из которых нашло отражение только в единичных изданиях и не получило хоть сколько-нибудь широкого распространения.

Целью статьи является проведение сравнительного анализа алфавитов, использовавшихся для записи коми-пермяцкого языка, начиная с первых опытов XIX века и заканчивая современной кириллической системой, утверждённой в 1938 году. Для этого в настоящей статье будет проанализирована фонетика пермских языков. Далее на этом основании будут определены основные критерии сравнения алфавитов, среди которых необходимыми представляются адекватность отображения коми-пермяцкой фонетики, а также практичность и системность графических решений. На основании же этих критериев будут выявлены основные особенности состава и способа приме-

ния выбранных алфавитов. Проведённый анализ позволит не только систематизировать разрозненные сведения по истории коми-пермяцкой письменности, но и оценить эффективность различных алфавитных систем с точки зрения их лингвистической состоятельности и практического применения.

Таким образом, настоящая статья будет сосредоточена на сравнительном обзоре алфавитов, использовавшихся для записи коми-пермяцкого языка, а именно:

- алфавита словаря Николая Рогова 1869-го года;
- алфавитов пермяцких букварей 1894-го, 1896-го, 1899-го, 1900-го, 1904-го и 1908-го годов;
- алфавита Василия Молодцова 1918-го года;
- латинизированного алфавита Грена 1924-го года;
- латинизированного алфавита 1932-го года;
- современного кириллического алфавита 1938-го года, а также альтернативных ему проектов.

Алфавиты более ранних словарей не будут рассмотрены в данной статье, т.к. они были рукописными и неопубликованными, а значит, не могли повлиять на общественное мнение и оказать влияние на другие проекты алфавитов для коми-пермяцкого языка.

Также следует сказать несколько слов об историографии данного вопроса. Стоит отдельно выделить работы, посвящённые в целом национальной политике в отношении коми-пермяков. Так, например, в 2021-м году вышла книга «Первый национальный: Коми-пермяки в национальной политике России в XX – начале XXI века» за авторством М.С. Каменских, в которой рассматривается в числе прочего и процесс создания коми-пермяцкой автономии, а также отдельный параграф посвящён языковой политике в отношении коми-пермяцкого языка. Кроме того, нельзя никак не упомянуть А.Е. Коньшина и его многочисленные работы, посвящённые истории Коми-Пермяцкого округа, а также А.В. Черных, многие работы которого затрагивали вопросы национальной политики в Пермском крае, в том числе и в отношении коми-пермяков. Из работ, посвящённых конкретно языковому и алфавитному вопросу национальной политики, можно назвать, например, «Письменность финно-пермских народов СССР: политические перипетии 1920-1930 годов» Фёдора Леонидовича Сеницына. Конкретно коми-пермяцкой языковой политики, с точки зрения лингвистики и языкознания, касается А.С. Лобанова – например, в работах «О некоторых этапах развития коми-пермяцкой письменности» и «Коми-пермяцкий язык конца XX – начала XXI вв.: стилистические аспекты» (последняя в соавторстве с С.С. Шляховой), а также Г.В. Пунегова в статье «Из истории коми графики». Отдельным алфавитам в истории письменности языков коми посвящена такая публикация, как «Латинизация алфавита у коми-пермяков Уральской области в исследовании Г. Нечаева» М.Ю. Киселёва. Кроме того, интерес представляет статья В.К. Кельмакова «Из истории буквенной фиксации аффрикат в удмуртской и коми-пермяцкой письменности», в которой даётся обзор того, как разные алфавиты справлялись с особенностями фонетики пермских языков. Подобный анализ будет проведён и в настоящей статье.

Для того, чтоб иметь возможность производить сравнение алфавитов, предназначенных для коми-пермяцкого языка, имеет смысл, в первую очередь определиться с критериями, по которым это сравнение будет проводиться. И главным (но не единственным) критерием мы здесь выделим способность того или иного алфавита точно и однозначно отображать фонетику коми-пермяцкого языка (пусть и только в рамках

литературной нормы). Для этого следует, собственно, сделать обзор фонетики и фонологии литературного коми-пермяцкого языка.

Сразу оговоримся, что прапермская языковая общность, давшая нам современные пермские языки, вероятно, разделилась достаточно поздно. По данным глоттохронологии число лексических совпадений между удмуртскими и коми диалектами составляет от 77% до 87%, а распад прапермской общности приходится на XI-XII века, завершается же и вовсе в XIV-XV-м веках [1, 120-121]. За счёт этого фонетика всех её языков-потомков отличается друг от друга совсем незначительно, в основном отличия касаются рефлексации прапермских фонем и их реализации. Таким образом, можно привести здесь обзор фонетики всех пермских языков сразу.

Одной из ключевых особенностей коми-пермяцкого (наряду с коми-зырянским и удмуртским), непосредственно повлиявшей на способы записи этих языков, следует назвать наличие двух серий собственно переднеязычных согласных – дентально-альвеолярная (твёрдая) и палатальная (мягкая) серии. В целом консонантный набор пермских языков выглядит следующим образом (первая таблица выполнена в международном фонетическом алфавите, вторая же – в уральском фонетическом алфавите):

	губные		переднеязычные						заднеязычные	
			твёрдые				мягкие			
			зубные		альвеолярные					
	г.	з.	г.	з.	г.	з.	г.	з.	г.	з.
взрывные	/p/	/b/	/t/	/d/			/c/	/ɟ/	/k/	/g/
аффрикаты					/tʃ/	/dʒ/	/tɕ/	/dʒ/		
фрикативы		/v/	/s/	/z/	/ʃ/	/ʒ/	/ɕ/	/ʒ/		
дрожжащие				/r/						
носовые		/m/		/n/				/ɲ/		
боковые				/l~ʎ/				/ʎ/		
глайды								/j/		

	губные		переднеязычные						заднеязычные	
			твёрдые				мягкие			
			зубные		альвеолярные					
	г.	з.	г.	з.	г.	з.	г.	з.	г.	з.
взрывные	/p/	/b/	/t/	/d/			/t̪/	/d̪/	/k/	/g/
аффрикаты					/t̪ʃ/	/d̪ʒ/	/t̪ɕ/	/d̪ʒ/		
фрикативы		/v/	/s/	/z/	/ʃ/	/ʒ/	/ɕ/	/ʒ/		
дрожжащие				/r/						
носовые		/m/		/n/				/ɲ/		
боковые				/l~ʎ/				/ʎ/		
глайды								/j/		

Тут же необходимо оговориться о литературной норме и об основных диалектных различиях в фонетике именно коми-пермяцкого языка. Условно коми-пермяцкий язык можно разделить на северные и южные диалекты. Одной из ключевых черт, на основании которых проводится эта дифференциация, является реализация прапермского /l~l̥/. Северные диалекты сохранили эту фонему во всех позициях, в южных же (кроме оньковско-го и нердвинского) она лабиализовалась и в настоящий момент слилась с фонемой /v/. Литературная же норма в связи с тогдашним представлением о том, что коми-зырянский и коми-пермяцкий языки суть диалекты единого коми-языка, была искусственно приближена к коми-зырянской норме (эта тенденция также отразилась, например, на принятии общих алфавитов для двух языков), созданной на основе присыктывкарского диалекта, в котором /l~l̥/ лабиализовался только в позиции исхода слога. Для дальнейшего удобства будем называть северные диалекты коми-пермяцкого L-диалектами, южные диалекты коми-пермяцкого – V-диалектами, а присыктывкарский диалект, соответственно, и основу двух литературных языков коми – LV-диалектом [2, 471].

Реализация этой дифференциации в различных позициях представлена в нижеследующей таблице:

реализация *l	L-диалекты	LV-диалекты	V-диалекты	перевод
ауслaut	кыл	кыв	кыв	«язык»
инлаут	лун	лун	вун	«день»/«юг»
во мн. числе	кыллэз	кыввез	кыввез	языки
в надежном аффиксе	лунлань	лунлань	вунвань	«в сторону юга»
между гласных	велалны	велавны	вевавны	«научиться»

Далее представлена таблица гласных звуков в коми-пермяцком языке, опять же в двух транскрипциях:

подъём/ряд	передний	средний	задний
верхний	/i/	/i/	/u/
средний	/e/	/z/ [э~э]	/o/
нижний		/a/	
подъём/ряд	передний	средний	задний
верхний	/i/	/i/	/u/
средний	/e/	/z/ [е]	/o/
нижний		/a/	

Для вокализма пермских языков характерен в первую очередь «небогатый» набор фонем и отсутствие противопоставления гласных по ряду и долготе, что очень широко распространено в прибалтийско-финских языках. В целом, большинство пермских языков обходится вокализмом из семи фонем, наиболее характерным исключением являются язвинский и бесермянский идиомы, где количество гласных больше. Главным отличием как между языками, так и между диалектами является реализация звука, который записывается что в зырянском, что в пермском коми, что в удмуртском современных алфавитах буквой ö, поэтому транскрибировать мы его будем, следуя

принципам уральского фонетического алфавита, в виде /з/, имея в виду под этим символом «неогублённый гласный неопределённого качества».

Первым в нашей выборке будет «Пермяцко-русский и русско-пермяцкий словарь», составленный Николаем Роговым и опубликованный в Петербурге в 1869-м году. В предисловии к этому словарю автор пишет, что для записи пермяцких слов использует алфавит, который составил П. Савваитов для собственного «Зырянско-русского и русско-зырянского словаря», вышедшего за 19 лет до словаря Рогова. Алфавит Савваитова-Рогова, назовём его так, содержит в себе ряд интересных, даже экстравагантных решений. Так, аффрикативные согласные, которых в русском языке нет, обозначаются здесь лигатурами из соответствующих букв – <д>+<ж>, <д>+<з>, <ч>+<ш>. Для отображения фонемы /dʒ/ используется буква <ДЖдж> [3, V]. Остальные же буквы не были добавлены в Юникод, а потому изобразить их здесь не представляется возможным. Кроме того, в алфавите присутствует буква <ö>, а также <j>, которая выполняет роль знака для йотирования гласных, а ещё функции мягкого знака, как, например, в словах «сјузј» (совр. «сюзь» – ‘сова, филин’) или «јöл»~«јöv» (совр. «йöв» – ‘молоко’). Примечательно также, что по какой-то причине буква <ч> перед всеми гласными, кроме <е> и <і> всегда записывается с <j>, как, например, в слове «чјунј» (совр. «чунь» – ‘палец’), что как бы должно указывать на палатальность звука, однако, по сути, является избыточным, так как буква для «твёрдого ч» уже присутствует в виде соответствующей лигатуры. Вместе с тем, в алфавите отсутствуют буквы <и> (её роль выполняет <і> во всех случаях), <й> (ей же соответствует <j>), <ф>, <х>, <ц>, <щ>, <ъ>, <ь>, <фь>, <ю> и, наконец, <я>; буква <э> же находится после буквы <е> и используется факультативно, либо в междометиях, либо в диалектных формах слов на месте <ö> [3, 49].

Далее обратимся к букварям. Система записи пермяцкого языка из издания «Выдёмь пермякъ-понда» 1894-го года авторства Ермолая Попова, по сути, является просто транскрипцией пермяцкого языка, записанной с использованием тогдашнего русского алфавита и с правилами тогдашней орфографии, без изменений. Букварь составлен на основе южно-пермяцких говоров, на что указывает тотальное использование буквы <в> на том месте, где в нынешней литературной норме писалась бы <л>; ср., например, предложение «Зонкаезь воктисэ шковаэ» [4, 13], что в нынешней орфографии, приближенной к северным диалектам пермяцкого и к зырянской литературной норме, выглядело бы как «Зонкаэз локтисö школаö» (‘Мальчики пришли в школу’). На примере того же предложения можно отметить и другие особенности этой орфографии. Так, например, звук, который мы условились обозначать как /з/, в том букваре обозначается либо буквой <э>, когда перед ним не стоит палатальный согласный, либо буквой <е> в обратном случае. Вероятно, это может быть обусловлено тем, что букварь составлялся на основе одного из южных говоров пермяцкого языка, в котором звук /з/ полностью слился с /е/, хотя сам автор пишет о том, что не находит необходимым вводить новые буквы для звуков пермяцкого языка, которых нет в русском [4, 4]. Тут же можно заметить, что /і/ перед непалатализованными гласными записывается как сочетание <ьи>. Буквы же <і>, <ф>, <х>, <ц>, <щ>, <ъ>, <фь> и <ө> используются идентично русской графике – <ъ> стоит на конце слов, <і> пишется перед гласными – «Ме вии крыса» (совр. «Ме вийи крыса» ‘Я убил крысу’) [4, 5], остальные пишутся в заимствованиях из русского языка, как, например, в слове «мъшэкъ» (совр. «мешök», рус. дореф. «мъшокъ») [4, 6]. О записи аффрикат сказать нечего – в букваре нет ни одного слова, которое бы содержало аффрикаты, даже слова на букву <ж> – сплошь русские заимствования.

Через два года – в 1896-м году – в Казани вышел «Первоначальный учебникъ русскаго языка для (сѣверо-восточныхъ, иньвенскихъ) пермяковъ», в котором мы встречаем уже другую форму пермяцкого алфавита, которая будет довольно активно использоваться в последующих изданиях с небольшими отличиями. Здесь мы уже видим узнаваемые паттерны, часть которых сохранилась и до настоящего времени. Так, например, здесь появляется буква «ö» для обозначения отсутствующей в русском языке гласной фонемы, однако различение звуков /e/ и /z/ довольно непоследовательно. Так, например, слово, ныне знакомое нам как «йёрнёс» («рубаха»), в учебнике выглядит как «ернёсь» [5, 16]. Также появляются обозначения для аффрикативных звуков посредством добавления к букве, означающей парный фрикатив, диакритического знака «кратка»; так, например, буква для аффрикаты /tʃ/ выглядит как «ж̣». В дополнение появилось отдельное обозначение для звука /i/ в позиции после непалатальных согласных, в виде буквы «ы» с краткой. Также эта буква писалась после «й». Поскольку учебник издавался в Российской империи, на конце слов, оканчивавшихся на согласный, также стоял твёрдый знак. В остальном же орфография учебника мало отличается от современной, за исключением, разве что, того факта, что после согласных, которые фонематически не могут быть палатализованными, пишется не «е», как в нынешней орфографии, ср., например, «пельнянь» («пельмень»), а «э» – «пэльянь» [5, 19].

В результате, алфавит учебника 1896-го года выглядит следующим образом:

<i>Алфавит 1896-го года</i>					
Аа	Бб	Вв	Гг	Дд	Ее
Ёё	Жж	Ж̣ж̣	Зз	Ӗӗ	Ии
Йй	Кк	Лл	Мм	Нн	Оо
ӖӖ	Пп	Рр	Сс	Тт	Уу
Чч	Шш	Ш̣ш̣	Ъъ	Ыы	Ы̣ы̣
Ьь	Ээ	Юю	Яя		

Через год там же – в Казани – выходит «Букварь для (сѣверо-восточныхъ, иньвенскихъ) пермяковъ» (1897), который использует ту же орфографию [6, 3]. Однако в 1900-м году выходит второе издание этого букваря, и в нём звук /tʃ/ обозначается не буквой «ш» с краткой, а буквой «ч» с диерезисом (он же умляут), которая сейчас существует, например, в удмуртском алфавите в виде «ч̣» [7, 3]. Собственно, эта буква, вероятнее всего, была взята из казанского издания «Краткій славяно-вотскій словарь» 1897-го года, где впервые используются «ж̣», «ӗ» и «ч̣» [7, 101–102]. Непонятно, однако, чем обусловлено использование диерезиса только над буквой «ч», тогда как остальные аффрикаты продолжают записываться через кратку, однако на протяжении всего букваря диакритические знаки используются последовательно, в соответствии с приведённой в начале букваря таблицей – «ы̣жыт» (совр. «ыджыт» – «большой»), но «ы̣чкыны» (совр. «ытшкыны» – «косить») [7, 5-6]. В этом же издании букваря впервые (если не считать словарь Рогова) не употребляется твёрдый знак в конце слов.

Между первым и вторым изданием букваря «для (сѣверо-восточныхъ, иньвенскихъ) пермяковъ» в Казани в 1899-м году выходит букварь «для пермяковъ иньвенскаго края». В целом орфография этого букваря похожа на орфографию второго издания «Букваря для (сѣверо-восточныхъ, иньвенскихъ) пермяковъ», причём в обоих букварях используется буква «ч» с диерезисом при использовании «ж» и «з» с краткой. Чем это обусловлено, всё так же непонятно. Также, в отличие от того букваря, здесь нет буквы «ы» с краткой, которая соответствует букве «і» в современной орфографии, вместо неё используется сочетание «ьи»; так, например, слово, известное нам в современной орфографии как «шонді» («солнце»), пишется как «шондѣи» [8, 4].

В 1904-м году всё в той же Казани издаётся «Выддемъ коми отирь челядь понда» всё того же Ермолая Попова. В этом букваре упоминается система письма, созданная П. Савваитовым для его «Зырянско-русского и русско-зырянского словаря», изданного в 1850-м году, и позже использованная Н. Роговым в его «Пермяцко-русском и русско-пермяцком словаре» 1869-го года издания. Однако Попов пишет, что находит нежелательным введение дополнительных букв для обозначения нехарактерных для русского языка звуков [9, V]. Тем не менее, в этом букваре автор, хоть и не вводит новых букв в строгом смысле, зато предлагает маркировать аффрикативные согласные надстрочной чертой, которая призвана «показать, что буквы должно произносить одновременно». Таким образом, предлагается записывать аффрикаты /dʒ/, /dz/ и /tʃ/ как «дѣж», «дѣз» и «чѣш» соответственно. Кроме того, для маркирования звука /z/ предлагается пометить букву «э» диерезисом [9, VI]. Поскольку до революции буквы «ё» и «й» не считались отдельными буквами, а лишь вариантами «е» и «и» соответственно, то и «э» в этом букваре не считается отдельной буквой. К тому же, таким образом звук /z/ записывался через «э» только в начале слога и после непалатальных согласных, в остальных же случаях он писался как обычная «е». Однако местами для этой фонемы использовалась буква «э» без диакритики. Например, слово «полог» (совр. «он») на одной странице записывается как «энь» [9, 18], а на другой уже как «эн» [9, 16]. Для фонемы же /i/ после непалатальных дентальных по традиции уже используется диграф «ьи» или же «ы» в позиции перед гласной, по аналогии с тогдашней русской орфографией, как, например, в словах «сѣя» (совр. «сія» – «он/она/оно») и «нѣя» (совр. «нія» – «они») [9, 151]. В остальном же букварь также соблюдает дореформенную русскую орфографию.

Следующим разберём «Букварь для пермяцкихъ дѣтей (на чердынскомъ нарѣчїи)», изданный в Казани в 1908-м году. Это, вероятно, единственный букварь тех лет, основанный не на южных – «иньвенских» – V-говорах пермяцкого языка, а на северных L-говорах. Алфавит, использованный в нём, визуально почти не отличается от современного удмуртского алфавита. Аффрикаты в нём обозначаются буквами «ж», «з» и «ч» для звуков /dʒ/, /dz/ и /tʃ/ соответственно, как, например, в предложении «Нїя мун'исö ычкысьны» (совр. «Нія мунісö ытшкисьны» – «Они пошли косить [траву]» [10, 5]. На примере этого же предложения мы видим, что звук /z/ уже по традиции обозначается буквой «ö». В алфавите также присутствует буква «і», однако она используется исключительно в соответствии с правилами дореформенной русской орфографии, например, в слове «н'ія» («они»). В твёрдой же позиции звук /i/ пишется через апостроф перед буквой «и» или «і», как, собственно, в словах «мун'исö» («[они] пошли») и «н'ія». Ввиду того, что в алфавите нет твёрдого знака, подобным же образом пишутся и йотированные гласные после согласных – «пöр'ясьöмön» (совр. «пöрьясьöмön» – «обманыва») [10, 12]. Таким образом, алфавит этого букваря имеет следующий вид:

<i>Алфавит 1908-го года</i>					
Аа	Бб	Вв	Гг	Дд	Ее
Ёё	Жж	Жж	Зз	Зз	Ии
Іі	Йй	Кк	Лл	Мм	Нн
Оо	Ӧӧ	Пп	Рр	Сс	Тт
Уу	Чч	Чч	Шш	Ыы	Ьь
Ээ	Юю	Яя	'		

Стоит также упомянуть, что в те же годы в Казани велась активная издательская деятельность по выпуску букварей и словарей для других народов Поволжья, в том числе и для удмуртов [11, 80-82]. Алфавиты, представленные в тех изданиях, не только непосредственно легли в основу современной удмуртской орфографии, но также были максимально приближены к алфавитам из коми-пермяцких букварей. Если бы эта тенденция (наметившаяся случайно или намеренно) сохранилась, возможно, сейчас существовал бы единый коми-удмуртский алфавит. Однако этого не произошло, хотя проекты были (см. ниже).

Начало XX-го века ознаменовалось всплеском интереса национальной интеллигенции к оформлению литературного языка и единого, а что самое главное, удобного алфавита. Коми не стал исключением, и после установления советской власти на территории нынешней Республики Коми, в числе прочего, для языка коми принимается беспрецедентный и неповторимый алфавит, созданный Василием Александровичем Молодцовым. Этот алфавит стал, в каком-то смысле, узнаваемым символом коми письменности. Это был в действительности уникальный алфавит на основе кириллицы, включавший символы, придуманные самим Молодцовым, и больше ни до того, ни после нигде не встретившиеся. Большим плюсом алфавита была его строгая фонематичность и тотальное соблюдение принципа «один звук – одна буква». Однако те умопомрачительные формы букв, что использовались в молодцовском алфавите, были довольно неудобны и в рукописном начертании, и ввиду необходимости создания гарнитур для пишущих машинок [12, 510-511].

<i>Молодцовский алфавит</i>					
Аа	Бб	Вв	Гг	дд	ъы
Ее	Жж	Жж	Зз	ьэ	юя
Іі	Јј	Кк	Лл	Љљ	Мм
Нн	Њњ	Оо	Ӧӧ	Пп	Рр
Сс	Гг	Тт	Ѳѳ	Уу	Чч
Шш	Щщ	Ыы			

Алфавит состоял из 33-х букв и имел ряд характерных особенностей. Во-первых, отметим форму буквы <dd> для звука /d/, которая была выбрана для удобства образования палатальной формы буквы – <d̥d̥>. Также, в отличие от современного коми-зырянского и коми-пермяцкого алфавитов, основанных на русской графике и русских принципах орфографии, палатальность согласных маркируется не на последующей гласной, а на самом согласном, а конкретно через крючкообразную модификацию буквы: <d̥ – <d̥>; <ʒ – <ʒ̥>; <l – <l̥>; <n – <n̥>; <s – <s̥>; <t – <t̥>. Такая система, вместе с наличием буквы <j> для обозначения звука /j/, избавляет от необходимости держать в алфавите «мягкие» и «йотированные» пары гласных, отчего в алфавите отсутствуют буквы <ё>, <и>, <э>, <ю> и <я>, также мягкий и твёрдый знаки, а йотированные гласные записываются сочетанием буквы <j> с соответствующим гласным. Также не было букв <ф>, <х> и <ц>, т.к. в исконных словах не было этих звуков, заимствования же из русского адаптировались под коми-фонетику. Для обозначения же аффрикат использовались буква <ч> для звука /tʃ/ и видоизменённые подстрочным хвостом буквы, обозначавшие альвеолярные и палатальные фрикативы – <ж> для /dʒ/, <ʒ> (из <ʒ̥>) для /dʒ/ и... <щ> для /ʃ/. Таким образом, несмотря на привычную форму, буква <щ> в молодцовском алфавите читалась как нынешнее коми <тш> или удмуртское <ч̆>. В итоге, алфавит Молодцова представлял собой первый фонематический коми алфавит, который опирался, в первую очередь, на свою внутреннюю строгую и стройную систему. Да, формы начертания букв были довольно большим препятствием к его распространению, однако, несмотря на это, молодцовский алфавит стал первым общим и единым алфавитом для коми языка.

Латинизация, призванная «покончить с узконациональной природой и миссионерской направленностью» «дооктябрьских» алфавитов, начавшись сразу по окончании Гражданской войны, долгое время обходила коми-пермяцкий язык стороной. Во многом это обусловлено своевременным принятием молодцовского алфавита, к тому же не отягощённого «царистским» и «буржуазным» прошлым. Однако не стоит думать, что до перехода на латинскую графику в 1932-м году не было проектов перевода коми-пермяцкого языка на латинский алфавит. Так, в 1924-м году Алексей Грен предлагает единый для пермских языков алфавит на основе венгерской графики. Алфавит предполагает всего один символ с диакритикой – <ö>. В остальном же Грен обходится диграфами и триграфами, заимствуемыми, собственно, из венгерского (и немецкого) языка. Предлагается использовать <cs> для /ʃ/ и <csj> для /tʃ/; у Грена указывается, что <csj> соответствует «молодцовскому» <щ>, что, вероятно опечатка, т.к. у Молодцова буква <щ> соответствует именно «твёрдой ч», то есть /ʃ/, однако такое соответствие триграфу <csj> буквально контринтуитивно и противоречит внутренней логике алфавита Грена, где буква <j> указывает именно на палатальность согласной, то есть, её мягкое произношение), <dz> и <dzj> для /dʒ/ (примеров использования триграфа <dzj> обнаружено не было, поэтому сложно сказать, чем они функционально отличались), <zs> для /z/ и <dzs> для /dʒ/, а также <sch> для /ʃ/. Звук /i/ обозначается здесь буквой <у>. Палатальность согласного, а также йотирование гласного обозначается буквой <j>. Сам автор называет эту бифункциональность буквы <j> главным недостатком этого алфавита, который предлагается решать через постановку апострофа между согласным и <j> в случаях, когда согласный непалатальный – «mort'jas» (совр. зыр. «мортъяс» – ‘люди’) [13, 57-59].

По очевидным причинам алфавит не приняли, да и вообще не выносили на серьёзное обсуждение, и в ближайшие годы вопрос латинизации коми-пермяцкого языка не стоял сколько-нибудь остро. И только осенью 1930-го года начался активный процесс подготов-

ки к латинизации коми-зырянского и коми-пермяцкого языков. Вероятно, справедливо мнение, что основой латинского алфавита для пермских языков послужил Единый Северный Алфавит (ЕСА), разрабатывавшийся в начале 30-х годов для языков уральской, тунгусо-манчжурской, енисейской, чукотско-камчатской и эскимосско-алеутской языковых семей, принятый так же, как и латиница для коми-языка, в 1932-м году [14, 27-28]. По крайней мере, основные принципы начертания и печати букв у этих двух алфавитов совпадают, но отличаются от того же Яналифа, принятого для тюркских языков.

В конце 1930-го года комиссия по разработке нового коми алфавита представила следующий проект латинизации [15, 15–16]:

Aa	Bb	Cc	Çç	€€	Dd	Ḑḑ	Ee	Əə
а	б	ц	ч	у, ү	д, д	д, дб	е э	ө
Ff	Gg	Hh	Ii	Jj	Kk	Ll	Ḑḑ	Mm
ф	г	х	и, и	й, й	к	л	л, лб	м
Nn	Ḑḑ	Oo	Pp	Rr	Ss	Şş	Ss	Tt
н	н, нб	о	п	р	с	с, сб	ш	т
Ḑḑ	Uu	Vv	Yy	Zz	Zz	Zz	Зз	Зз
т, тб	у	в	ы	з	з, зб	ж	ж, жб	з, зб

Кроме того, той же комиссией был составлен проект на основе яфетедологического аналитического алфавита [15, 16], разработанного Николаем Марром для абхазского языка несколькими годами ранее:

Aa	Bb	Dd	Ḑḑ	Qq	Qq	Ee	Əə	Ff
а	б	д д	д, дб	ж, жб	з, зб	е, э	ө	ф
Gg	Hh	Ii	Jj	Kk	Ll	Ḑḑ	Mm	Nn
г	х	и, и	ж	к	л	л, лб	м	н
Ḑḑ	Oo	Pp	Rr	Ss	Şş	Tt	Ḑḑ	Ḑḑ
н, нб	о	п	р	с	с, сб	т	т, тб	у, ү
Ḑḑ	Ḑḑ	Uu	Vv	Yy	Zz	Zz	Шш	Ḑḑ
ч	ч	у	в	й, й	з	з, зб	ш	ы

По понятным причинам принят в итоге был первый проект с некоторыми изменениями – буква «Нн» была заменена на «Хх», а буква «Уу» на «Ьь», которая была поставлена в конец алфавита.

Одновременно с этим встал вопрос и об унификации алфавита для всех пермских языков [15, 15], т.к., как уже было сказано выше, набор фонем в диалектах пермяцкого, зырянского и удмуртского одинаковый. Так, в 1930-м году комиссия Всесоюзный Центральный Комитет Нового Алфавита (ВЦК НА) представила проект общей коми-удмуртской письменности [15, 18–19]:

^а Аа	^в Вв	^с Сс	^ч Чч	^{ш, щ} Єє	^{д, дь} Dd
A a	B b	C c	Ç ç	Є є	D d
^{д, дь} Dd	^{е, э} Ee	^о Əə	^ф Ff	^г Gg	^{и, у} Ii
D d	E e	Ə ə	F f	G g	I i
^{й, ю} Jj	^к Kk	^л Ll	^{л, ль} Ll	^м Mm	^н Nn
J j	K k	L l	L l	M m	N n
^{н, нь} Nn	^о Oo	^р Pp	^р Rr	^с Ss	^{с, сь} Şş
N n	O o	P p	R r	S s	Ş ş
^ш ſſ	^т Tt	^{т, ть} Tt	^у Uu	^в Vv	^ь Ьь
ſ ſ	T t	T t	U u	V v	Ь ь
^х Xx	^з Zz	^{з, зь} Zz	^ж Zz	^{ж, жь} Зз	^{й, ю} Зз
X x	Z z	Z z	Z z	З з	З з

В целом, этот алфавит мало отличается от того, что в итоге был принят для коми языков – для звука /ʃ/ вместо ⟨s⟩ используется давно известная в европейской типографии как «long s» буква ⟨ſ⟩. Таким образом, например, слово «шы» (‘звук’) предполагалось записывать как «ſь», а не как «сь». Следует отметить также, что в двух из этих алфавитов для фрикативного /dʒ/ используется буква ⟨Зз⟩ с нижней диакритикой – ⟨З̣з̣⟩ – которая указывает на палатальность и у других букв, в то время как в более поздних изданиях иногда используется другой символ (см. ниже).

Главной визуальной особенностью латинского коми-алфавита, объединяющей его с ЕСА, являются довольно необычные решения в отношении диакритики символов, ср. напр.: использование букв ⟨ç⟩ и ⟨ε⟩ для обозначения условно «ч-образных» звуков /tʃ~tɕ/, «зачёркнутые» формы букв ⟨s⟩ и ⟨z⟩ – ⟨ṣ⟩ и ⟨ẓ⟩ соответственно – для обозначения альвеолярных фрикативов /ʃ/ и /ʒ/ соответственно, использование кириллических (и в целом нестандартных для латиницы) букв вместо диакритических вариантов стандартных букв, например, буквы ⟨з̣⟩ и ⟨з̣̣⟩ для обозначения звуков /dʒ/ и /dʒ̣/ соответственно, а также вид строчной формы буквы ⟨В⟩ – ⟨в̣⟩ вместо ⟨b⟩ [15, 5–6].

<i>Единый Северный Алфавит</i>					
Aa	Bb	Cc	Єε	Dd	Зз
Зз	Ee	Əə	Ææ	Ff	Gg
Hh	Ӧӧ	Ii	Ьь	Jj	Kk
Ll	Łł	Mm	Nn	Ŋŋ	Oo
Өө	Pp	Qq	Rr	Ŕŕ	Ss
Šš	Tt	Uu	Vv	Ww	Xx
Yy	Zz	Ẓẓ			

<i>Латинский Коми-алфавит</i>					
Aa	Bb	Cc	Çç	Єε	Dd
Ḑḑ	Ee	Əə	Ff	Gg	Ii
Jj	Kk	Ll	Łł	Mm	Nn
Ŋŋ	Oo	Pp	Rr	Ss	Šš
Ŗŗ	Tt	Ṭṭ	Uu	Vv	Xx
Zz	Ẓẓ	Ẓ̣ẓ̣	Зз	З̣з̣*	Ьь

В то же время, этот латинизированный алфавит является, по сути, прямым наследником алфавита Молодцова именно в отношении принципов отображения фонетики пермских языков на письме. Латиница сохраняла строжайшую фонематичность письма, а также принцип отображения палатальных согласных через дополнительный диакритический знак нижнего регистра (однако в современном Юникоде нет возможности адекватно отобразить внешний вид этих букв, поэтому в настоящей статье используется диакритический знак «седиль» ⟨,̣⟩ кроме букв ⟨п̣⟩ и ⟨ẓ⟩, которые были добавлены в Юникод). Зачастую по такому же принципу поступали и со звонкими аффрикатами /dʒ/ и /dʒ̣/, заменяя букву ⟨з̣⟩ на букву ⟨з̣̣⟩ с нижним выносным элементом – ⟨з̣̣⟩ (именно по этой причине в вышестоящей таблице буква ⟨з̣̣⟩ помечена астериском), причём, выбор между ⟨з̣̣⟩ и ⟨з̣̣̣̣⟩ мог меняться даже в рамках одного издания. Например, в учебнике коми-пермяцкого языка для 5-х классов, изданном в 1935-м году в Кудымкаре, на одной странице есть таблица под заголовком «Кьзі аркмӧнь тыргога съез» (Кыдзи аркмӧны тыргога шыэз – ‘Как произносить гласные звуки’), а сразу же за ней следует таблица под названием «Кьзі аркмӧнь тыргортӧм съез» (Кыдзи аркмӧны тыргортӧм шыэз – ‘Как произносить согласные звуки’) [16, 5–6]. Можно предположить, что эта путаница воз-

никала по причине того, что на печатных машинках диакритика была комбинируемой, что позволяло печатать буквы, отсутствующие в стандартном алфавите, и, судя по тому, что использование «з» куда более частотно, при печати текста руководствовались, в первую очередь, принципом палатализации согласных через нижнюю диакритику по аналогии с остальными палатальными буквами.

Однако во второй половине 30-х годов языковая и алфавитная политика в СССР сменилась на диаметрально противоположную, и начался курс на перевод алфавитов языков СССР с латинской на кириллическую графику. В 1937-м году начинается работа специальной комиссии, целью которой была разработка нового кириллического алфавита для коми-пермяцкого языка [17, 7]. Первоначальный проект этой комиссии представлял собой русский алфавит с добавлением букв «ж» для /dʒ/, «з» для /dʒ/, «i» для /i/ после непалатальных согласных, «ö» для /z/ и «ё» для йотированного или палатализирующего предыдущий согласный /i/. Позже проект был переделан – буква «ё» исчезла, была добавлена «ч» для /tʃ/, а «ö» была заменена на «э» [17, 12]. Ещё позже буквы «ж», «з» и «ч» были убраны из алфавита и заменены на диграфы «дж», «дз» и «тш» соответственно, а буква «ö» снова вернулась в алфавит вместо «э», после чего коми-пермяцкий алфавит принимает современный вид [17, 16].

Далее приведём таблицы с двумя вариантами алфавитов этой комиссии:

<i>Алфавит 1937-го года, I редакция</i>					
Аа	Бб	Вв	Гг	Дд	Ее
Ёё	Жж	Жж	Зз	Зз	Ии
Йй	Ии	Кк	Лл	Мм	Нн
Оо	Öö	Пп	Рр	Сс	Тт
Уу	(Фф)	(Хх)	(Цц)	Чч	Шш
Щщ	Ъъ	Ыы	Ёё	Ьь	Ээ
Юю	Яя				

<i>Алфавит 1937-го года, II редакция</i>					
Аа	Бб	Вв	Гг	Дд	Ее
Ёё	Жж	Жж	Зз	Зз	Ии
Йй	Ии	Кк	Лл	Мм	Нн
Оо	Пп	Рр	Сс	Тт	Уу
(Фф)	(Хх)	(Цц)	Чч	Чч	Шш
Щщ	Ъъ	Ыы	Ьь	Ээ	Ээ
Юю	Яя				

Также были и другие проекты. Так, в 56-м выпуске газеты «Ленин туй вылёт» («По Ленинскому пути») от 15-го мая 1937-го года приводится проект кириллического алфавита для коми-пермяцкого языка А. Н. Зубова [18, 3]. Проект не отличается какой-либо изысканностью и лингвистической вдумчивостью. Для звонких аффрикат предлагается использовать буквы «ж» и «з» с надстрочными апострофами, для аффрикаты /tʃ/ отдельной буквы не предполагается. Перед буквой «и» палатальные и непалатальные зубные согласные не различаются. Нет отдельной буквы для звука /z/, эту фонему предполагается записывать буквой «э».

Нынешний же коми-пермяцкий алфавит, как и коми-зырянский, состоит из тридцати пяти букв – тридцать три буквы взяты из русского алфавита, а также присутствует две дополнительные – «i» и «ö». Кроме того, буквы «ф», «х», «ц» и «ш» используются только в заимствованиях из русского языка, т.к. звуков, которые обозначают эти буквы,

в пермяцком языке нет. Для обозначения отсутствующих в русском языке аффрикат употребляется три диграфа – <дж> для согласного /dʒ/, <дз> для звука /dʒ/ и <тш> для /ʃ/. Буква <ö> традиционно обозначает неогублённый гласный среднего ряда среднего подъёма, причём в позициях после звука /j/ и палатальных согласных отображается последовательно, не смешиваясь с гласным /e/, что иногда встречалось в более старых орфографиях. Через букву же <i> в современной орфографии реализуется дифференциация палатальных и непалатальных согласных конкретно в паре с гласным /i/ – буква <i> возникает только после непалатальных зубных согласных, то есть только после фонем /t/, /d/, /s/, /z/, /n/ и /l~l̥/, в остальных же случаях пишется <и>, в том числе после согласных, которые в целом не подвергаются фонематической палатализации. Кроме этого, буква <i> не употребляется после букв <ж> и <ш>, а также после диграфов <дж> и <тш>. В целом, в современной орфографии палатальность зубных согласных маркируется впереди стоящей буквой – если согласный палатальный, то после него стоит палатализирующая гласная буква: <я>, <е>, <и>, <ё> или <ю> для звуков /a/, /e/, /i/, /o/ или /u/ соответственно, если же согласный непалатальный, за ним обнаруживается одна из следующих гласных букв: <а>, <э>, <ö>, <i>, <ы>, <о> или <у> для звуков /a/, /e/, /z/, /i/, /i̥/, /o/ или /u/ соответственно, за исключением диграфов <дж> и <тш>, после которых не пишется букв <э> и <i>. На конце слова, перед непалатальными согласными, а также перед буквами <и>, <ö> и <ы>, не имеющими парной буквы, которая указывала бы на палатальность предыдущего согласного, на палатальность согласного указывает мягкий знак – «сюзь», «босьтны», «льём» и «сьывны» соответственно.

Далее приведём две сводные сравнительные таблицы всех рассмотренных в данной статье алфавитов. Сначала будет приведена таблица для гласных звуков и их сочетаний с палатальными согласными. Через знак </> будут перечислены буквы для отображения звука в обычном и йотированном или палатальном варианте, но только в том случае, если для этого есть отдельная буква (в случае с /i/ сделаем исключение).

Транс.		Совр.		Исторические алфавиты в хронологическом порядке										
МФА	УФА	69	94	96	99	04	08	18	24	32	37			
Гласные в нормальных условиях														
а	а	а/я	а	а/я				а	а	а	а/я		а/я	
е	е	э/е	е	э/е	э/е			е	е	е	э/е		э/е	
з	з	ö	ö		ö	э/е	ö	ö	ö	э	ö	э		
i	i	i/и	i	ъи/и	ьи/и	ъи/и	'и/и	i	i	i	i/и		и	
о	о	о/ё	о	о/ё				о	о	о	о/ё		о	
у	у	у/ю	у	у/ю				у	у	у	у/ю		у	
i̥	i̥	ы	ы	ы				ы	у	ь	ы/ь	ы	ы	
Гласные после палатальных согласных и /j/														
а	а	я	ja	я				а	а	а	я		я	
е	е	е	je	е	е			е	е	е	е		е	
з	з	ьö/йö	jö		ьö/йö	е	ьö/йö	ö	ö	э	ьö/йö	ьэ/йэ		
i	i	и	ji	и~йи				i	i	i	и		и	
о	о	ё	jo	е~ё				о	о	о	ё		ё	
у	у	ю	ju	ю				у	у	у	ю		ю	
i̥	i̥	ьы/йы	jы	?/йы	?/йы	?/йы		ы	у	ь	ь	ьы/йы	ьы/йы	

Во второй таблице рассмотрим согласные звуки. Символом «?» будут помечены случаи, когда мы не знаем, каким образом предполагалось записывать данный звук. Символом «†» будут помечены буквы, которые невозможно адекватно отобразить в силу особенностей шрифта или Юникода. Через знак «/» будут перечислены варианты передачи палатальных звуков на конце слова или перед согласным и перед гласным, если таковые варианты имеются.

Транс.		Совр.	Исторические алфавиты в хронологическом порядке											
МФА	УФА		1869	1894	1896	1899	1904	1908	1918	1924	1932	1937		
Согласные														
p	p	п	п	п				п	p	p	п	п		
t	t	т	т	т				т	t	t	т	т		
c	č	ть/т	tj	ть/т				č	tj	č	ть/т	ть/т		
k	k	к	к	к				к	k	k	к	к		
b	b	б	б	б				б	b	в	б	б		
d	d	д	д	д				d	d	d	д	д		
ʃ	đ	дь/д	dj	дь/д				đ	dj	đ	дь/д	дь/д		
g	g	г	г	г				г	g	g	г	г		
ʧ	č	гш	†	?	ш	č	чш	č	щ	cs	e	?	č	?
č	ć	ч	чj/ч	ч				ч	csj	č	ч	ч		
dʒ	ž	дж	дж	?	ж	д̄ж	ж	ж	dzs	з	ж	ж		
dʒ	ž	дз	†	?	з	д̄з	з	з	dz	з/з̄	з	з		
v	v	в	в	в				в	v	v	в	в		
s	s	с	с	с				с	s	s	с	с		
z	z	з	з	з				з	z	z	з	з		
ʃ	š	ш	ш	ш				ш	sch	ш	ш	ш		
ʒ	ž	ж	ж	ж				ж	zs	ж	ж	ж		
ɕ	ś	сь/с	sj	сь/с				ɕ	sj	ś	сь/с	сь/с		
z	ž	зь/з	zj	зь/з				z	zj	z	зь/з	зь/з		
r	r	р	р	р				р	r	r	р	р		
m	m	м	м	м				м	m	m	м	м		
n	n	н	н	н				н	n	n	н	н		
ɲ	ń	нь/н	nj	нь/н				ɲ	nj	ɲ	нь/н	нь/н		
l	l	л	л	л				л	l	l	л	л		
ɫ	ĺ	ль/л	lj	ль/л				ɫ	lj	ɫ	ль/л	ль/л		
j	j	й	j	й				j	j	j	й	й		

На основании всего вышеозначенного можно сделать несколько выводов. Во-первых, первые проекты алфавитов для коми-пермяцкого языка опирались на русскую орфографию тех лет, во многом по причине того, что издавались в миссионерских целях. Авторы букварей не были озабочены адекватностью отображения фонетических особенностей коми-пермяцкого языка (особенно в этом отношении отличились два букваря – 1894-го и 1904-го годов), однако и среди их работ есть весьма хорошие, например, алфавит букваря 1896-го года. Особняком среди этих алфавитов стоит алфавит Савваитова-Рогова, использованный при составлении пермяцкого словаря – этот алфавит обладает довольно

строгой фонематичностью, вероятно, потому что был призван отображать, в первую очередь, звучание коми-пермяцкого языка; его можно назвать в какой-то степени системной фонетической транскрипцией коми-пермяцкого языка. Эта тенденция так или иначе была продолжена уже в первых официальных алфавитах для коми-пермяцкого языка, а именно в молодцовском и латинизированном алфавитах. Современный же алфавит представляет собой компромиссное решение между фонематичностью и приближенностью основных принципов орфографии к русской. В большинстве из алфавитов прослеживается ряд общих черт: так, например, использование диерезиса для создания новых букв алфавита можно назвать традицией, особенно характерной для алфавитов рубежа XIX-го и XX-го веков, а буква <ö> стала настоящим символом обоих языков коми.

Библиографический список:

1. *Белых С. К.* Проблема распада прапермской этноязыковой общности. – Ижевск, 2009. – 150 с.
2. The Oxford Guide to the Uralic Languages edited by Marianne Bakró-Nagy, Johanna Laakso, & Elena Skribnik.–Oxford:OxfordUniversityPress,2022.–1184p.DOI:10.1093/oso/9780198767664.001.0001
3. *Рогов Н. А.* Пермьско-русский и русско-пермьский словарь, составленный Николаем Роговым. – СПб., 1869. – 415 с.
4. *Поповъ Е.* Выддемъ пермякъ-понда гижись ученьшикъ Е. Поповъ. – Пермь: типографія Наслѣдниковъ П. Ф. Каменскаго, 1894. – 15 с.
5. Первоначальный учебникъ русскаго языка для (сѣверо-восточныхъ, иньвенскихъ) пермяковъ – Казань: Типо-литографія Императорскаго Университета, 1896. – 78 с.
6. Букварь для (сѣверо-восточныхъ, иньвенскихъ) пермяковъ – Казань: Типо-литографія Императорскаго Университета, 1897. – 13 с.
7. Букварь для (сѣверо-восточныхъ, иньвенскихъ) пермяковъ (2-е издание) – Казань: Типо-литографія Императорскаго Университета, 1900. – 14 с.
8. *Кельмаков В. К.* Из истории буквенной фиксации аффрикат в удмуртской и коми-пермяцкой письменности // Пермистика 16. Диалекты и история пермских языков во взаимодействии с другими языками – Сыктывкар, 2017. с. 95–107.
9. Букварь для пермяковъ иньвенскаго края – Казань: Типо-литографія Императорскаго Университета, 1899. – 14 с.
10. Выддемъ коми отиръ челядь понда – Казань: Типо-литографія Императорскаго Университета, 1904. – 169 с.
11. Букварь для пермяцкихъ дѣтей (на чердынскомъ нарѣчїи) – Казань: Центральная типографія, 1908. – 42 с.
12. *Тараканов И. В.* Удмуртский язык: Становление и развитие: Сборник статей. – Ижевск: Удмуртия, 2007. – 288 с.
13. Коми язык. Энциклопедия / Отв. Ред. Г. В. Федюнева. – М.: ДиК, 1998. – 608 с.
14. *Грен А.* О едином алфавите для пермских языков // Жизнь национальностей. – 1924. №5. – с. 50–59.
15. *Нечаев Г.* Унификация коми и удмуртского алфавитов // Культура и письменность Востока. – 1931. №IX. – с. 11–21.
16. *Алькор (Кошкин) Я. П.* Письменность народов Севера // Культура и письменность востока. – М.: ВЦК НА, 1931. №X. – с. 12–31.
17. *Њеѡажев G.* Gramatika medozza tor morfologia sərət skola ponda 5-ət klaslə veləçan knıga – Кудьмкар: Okrizdat, 1935.
18. КПОГА – Ф.27 Оп.1 Д.38: «О современном коми-пермяцком алфавите».
19. *Зубов А. Н.* Русский алфавит – в основу коми алфавита // Ыеңин туй вьлэт. 1937. 15 мая. №56 (1505). – с. 3.

Благодарности:

Исследование выполнено за счёт гранта Российского научного фонда (проект РНФ №25-18-00467 «Этничность и стратегии этнических сообществ в национальной политике Урала в XX–XXI вв.»).

Для цитирования:

Черных И.А. История коми-пермяцкой письменности: сравнительный обзор алфавитов конца XIX – первой половины XX века // Вестник Пермского федерального исследовательского центра. – 2026. – № 1. – С. 89-105. <https://doi.org/10.7242/2658-705X/2026.1.7>

Сведения об авторе:

Черных Иван Александрович, стажер-исследователь, Институт гуманитарных исследований УрО РАН – филиал Пермского федерального исследовательского центра УрО РАН («ИГИ УрО РАН»), 614013, Пермский край, г. Пермь, ул. Генкеля, д. 4; e-mail: cher-ivan-cher@yandex.ru, ORCID: 0000-0003-4109-5512

**HISTORY OF THE KOMI-PERMYAK WRITING SYSTEM:
A COMPARATIVE OVERVIEW OF ALPHABETS
FROM THE LATE 19th TO THE MID-20th CENTURY**

Chernykh I.A.

Institute of Humanitarian Studies UB RAS, Perm

This article presents a comparative historical analysis of alphabets developed for the Komi-Permyak language from the 19th century until the adoption of the modern Cyrillic standard in 1938. The relevance of the study stems from the lack of comprehensive works that systematize the numerous and often uncommon variants of its writing system in the scholarly literature. The aim of the work is to conduct a comparative analysis of these systems based on the criteria of adequacy in representing Komi-Permyak sounds, as well as the practicality and consistency of graphic solutions. The research material comprises alphabets from key monuments of Komi-Permyak writing: N. Rogov's dictionary (1869), a series of primers (1894–1908), V. Molodtsov's original Cyrillic alphabet (1918), Latin-based projects (1924, 1932), and projects for a Cyrillic alphabet from 1937. To ensure an objective comparison, the article first provides a detailed overview of the phonetic system of the Permic languages, including consonantism, vocalism, and main dialectal differences. The study identifies the main trends in the evolution of Komi-Permyak writing: from early projects that were guided by the rules of Russian orthography and often ignoring the language's specificity, through strictly phonemic systems (the Savvaitov-Rogov, Molodtsov, and Latinized alphabets), to the modern alphabet, which represents a compromise between the phonemic principle and an orientation towards the Russian graphic base. The article contributes to the systematization of knowledge on the history of Komi-Permyak writing and assesses the effectiveness of the considered alphabetic systems from linguistic and practical points of view.

Keywords: *alphabet, orthography, Komi-Permyak language, Komi-Zyrian language, phonetics, Latinization, Cyrillization, language policy*

Поступила в редакцию: 15.10.2025

Принята к публикации: 14.04.2026

ЭКСПЕДИЦИЯ ПО ВЫЯВЛЕНИЮ И ФИКСАЦИИ ОБЪЕКТОВ НЕМАТЕРИАЛЬНОГО ЭТНОКУЛЬТУРНОГО ДОСТОЯНИЯ В РЕСПУБЛИКЕ КОМИ

Дружинина И.С., Институт гуманитарных исследований УрО РАН, Пермь
Никонов В.В., Институт гуманитарных исследований УрО РАН, Пермь

В статье представлены результаты фольклорно-этнографической экспедиции, проведенной в 2025 г. в Ижемском районе Республики Коми. Целью работы стало выявление, фиксация и документирование объектов нематериального этнокультурного достояния коми-ижемцев – субэтнической группы народа коми. В статье описываются полевые материалы, собранные в населенных пунктах Ижма, Гам, Сизябск, Мохча и др. В центре внимания – ключевые объекты наследия: народный праздник «Луд», песенная традиция, включающая обрядовые причитания, и традиционный женский костюм ижемцев. В статье характеризуется современное состояние этих явлений, их бытование в деятельности фольклорных коллективов и роль в сохранении культурной идентичности.

Ключевые слова: экспедиция, нематериальное этнокультурное наследие, финно-угорские народы, коми-ижемцы, Республика Коми

В настоящее время наблюдается устойчивый рост интереса к сфере нематериального этнокультурного достояния. Данная тенденция обусловлена прежде всего формированием системной правовой базы на федеральном уровне, ключевым элементом которой стало принятие Федерального закона от 20.10.2022 № 402-ФЗ «О нематериальном достоянии Российской Федерации». Нематериальное этнокультурное достояние, согласно федеральному закону, – это «культурное наследие народов Российской Федерации как совокупность присущих этническим общностям Российской Федерации духовно-нравственных и культурных ценностей, передаваемых из поколения в поколение, формирующих у них чувство осознания идентичности и охватывающих образ жизни, традиции и формы их выражения, а также воссоздание и современные тенденции развития данного образа жизни, традиций и форм их выражения» [2].

Работа с нематериальным этнокультурным достоянием предполагает ведение каталога объектов. Его формирование – одна из важнейших задач, направленных на сохранение и документирование этнокультурного достояния. Ведение каталога предполагает наличие довольно разнообразного и качественного материала: аудио-, видеоматериалов, фотографий, также новых фольклорных и этнографических данных. Для решения данной задачи была организована серия фольклорно-этнографических экспедиций по регионам России [1, 3, 4]. Их целью стало исследование нематериального этнокультурного наследия народов страны. Экспедиции по сбору материала проводятся Министерством культуры Российской Федерации и Российским домом народного творчества им. В.Д. Поленова (г. Москва).

Одна из таких экспедиций в 2025 г. прошла в Республике Коми. Институт гуманитарных исследований УрО РАН также принял участие в полевых исследованиях в дан-

ном регионе. Участниками экспедиции от ИГИ УрО РАН стали: Добжанская О.Э. – руководитель экспедиции, Дружинина И.С., Никонов В.В., Суханова М.Е. Организатором со стороны региона стало Государственное автономное учреждение Республики Коми «Центр народного творчества и повышения квалификации», от которого в экспедиции работали ведущие методисты отдела народного творчества Шомысов Д.И. и Качер К.А.

Перед исследователями стояла задача собрать информацию об объекте, зафиксировать культурное явление, а также сделать фото-, аудио- и видеоматериалы, которые могли бы в полной мере представить объект.

Экспедиция проходила в Ижемском районе. В ходе фольклорно-этнографической экспедиции удалось зафиксировать живое бытование значимых объектов нематериального культурного наследия коми-ижемцев. В центре внимания исследователей оказались народный праздник «Луд», песенная традиция и традиционный женский костюм коми-ижемцев. Во время экспедиции удалось также посетить д. Гам, с. Сизябск, с. Мохча, д. Мошьюга.

Ижемцы – это северная группа народа коми, обладающая уникальными диалектами, особенностями хозяйства и характерными чертами материальной и духовной культуры. Формирование этой этнической группы произошло в конце XVI века. Ижемцы проживают в различных районах Республики Коми, преимущественно в бассейне средней Печоры. За пределами региона их можно встретить в Мурманской, Тюменской областях, а также в Ямало-Ненецком и Ненецком автономных округах [5].

Работа экспедиции началась в с. Ижма, исследователи посетили Ижемский центральный Дом культуры им. Валерия Осокина и Ижемский районный историко-краеведческий музей. В Доме культуры состоялась встреча с двумя участниками ижемского народного ансамбля песни и танца, которые продемонстрировали сценический вариант трудовых причитаний коми-ижемцев (*бёрддчём*, от слова *бёрдны* – плакать). Участники экспедиции получили от информантов видеозапись коми свадьбы 1991 года, на которой присутствует фрагмент исполнения свадебного причитания. Также в Доме культуры были проведены опросы местных жителей на тему традиционного быта ижемцев, много вопросов было задано про традиционный костюм.

Работа продолжилась в с. Гам, где была проведена встреча с фольклорным коллективом «*Шёвк тугьяс*» («Шёлковые кисти»), который исполнил песенный репертуар. Кроме того, участники коллектива показали свои традиционные костюмы, была проведена фотосъёмка предметов одежды.

Работа по сбору песенного материала была проведена и в с. Сизябск. У Матильды Васильевны и Клары Петровны Артеевых взяли записи песен. Внимание экспертов привлек фрагмент свадебного причитания, который исполнила Клара Петровна по своим личным записям. В Доме культуры имени Т.С. Чупрова специалисты изучили репертуар фольклорного ансамбля «*Ыбса дзоридзьяс*» («Цветы на холме») и записали местные версии песен «Един молодец», «Сидела Катюшенька» и коми-версию «Во саду ли в огороде» – «Сад йёрын». Это свидетельствует о том, что песенная традиция продолжает жить, адаптируясь к современным условиям благодаря активной деятельности фольклорных ансамблей.



Рис. 1. Опрос в Ижемском Доме культуры им. Валерия Осокина. Фото из архива экспедиции

В структуре песенной традиции коми-ижемцев выделяется несколько жанровых групп. Среди них – обрядовые импровизации (в том числе, причитания), трудовые напевы, лирические песни, а также образцы хороводной и игровой культуры. Песенная традиция в настоящее время сохраняет свою актуальность, функционируя преимущественно в деятельности фольклорных коллективов Ижемского района, представленных в значительном количестве. Обрядовые причитания также продолжают бытовать, однако функционирование отличается меньшей степенью активности. В ходе полевой работы было зафиксировано причитание по мужу в исполнении Галины Робертовны Каневой. Данный образец демонстрирует поэтизированный образ супруга, в котором акцентируются его положительные качества.

В с. Сизябск участники экспедиции также посетили обетный крест. В день Святого Пантелеймона жители села соблюдают обряд, тайно прикрепляя вышитые крестики к обетному кресту с просьбами об исцелении для себя и близких. В ходе исследования, направленного на изучение быта и культуры, была проведена встреча с семьей потомственных оленеводов Каневых. В рамках данного мероприятия были изучены особенности традиционной кухни, в частности, такие блюда, как хайна (оленьи рёи брышки), суп из оленины и яя вый (блины, приготовленные на оленьем жире). Татьяна Анатольевна Канева представила свои авторские изделия из оленьей кожи и провела мастер-класс по их выделке.

В с. Мохча исследователям была проведена обзорная экскурсия. В Мохченском сельском Доме культуры экспедиционная группа встретилась с фольклорным коллективом «Сьёләмшёръяс», что в букв. переводе с коми языка означает «те, кто в самом сердце». Участники творческого коллектива исполнили песню «Юлонька, юлонька, улка широка / Как по этой улонька выросла трава / Росчвели цветики ала-голуба».



*Рис. 2. В.В. Никонов во время съемки фольклорного ансамбля в с. Мохча.
Фото из архива экспедиции*

Подробнее остановимся на объектах нематериальной культуры Ижемского района. Традиционный праздник коми-ижемцев «Луд» представляет собой объект нематериального этнокультурного достояния Республики Коми. Возникший еще в XVI веке, он сохранил богатый комплекс обрядов, хороводно-игровых и песенных традиций. Это основной ежегодный праздник весенне-летнего периода Ижемского района. Летние луговые праздничные мероприятия, включающие в себя игры и развлекательные программы, пользовались значительной популярностью на всей территории Республики Коми. Однако ижемские луговые праздники выделялись своим разнообразием и существенно отличались от аналогичных событий, проводимых в других районах региона.

Название праздника происходит от слова «луд» – так называют открытое, широкое пространство, где разворачиваются основные события. Само слово восходит к русскому «луг», изменившемуся под влиянием фонетики коми (-зырянского) языка. В 2005 году народный праздник «Луд» был удостоен статуса «Республиканский», он сохранил свою традиционную форму и продолжает отмечаться как значимое культурное событие. Традиционный народный праздник «Луд» был описан экспертами по народному творчеству и включен в реестр объектов нематериального культурного наследия Республики Коми. Учреждения культуры выступают организаторами этого мероприятия, а их фольклорные коллективы активно участвуют в программе. Праздник «Луд» сегодня существует как современный праздник, реконструированный на основе исторических обрядовых, песенных и игровых элементов. В нем сохранен богатый комплекс традиций.

Структура «Луда» включает состязательные игры, хождения парами, хороводы, сопровождаемые песнями. Характерным элементом являлось «хождение воротами», символизировавшее переход в новый временной цикл. Конно-спортивные состязания – важная часть праздника Луд. В Ижемском районе они проходят с 1978 года. С самого начала проведения Луда эти забеги стали неотъемлемой частью праздничной программы.



Рис. 3. Праздник «Луд», с. Ижма. Фото: Никонов В.В.

В с. Ижма состоялась встреча с местной жительницей, участницей фольклорного коллектива Каневой Валентиной Кирилловной. Она познакомила участников экспедиции с собранной ею коллекцией традиционного ижемского костюма. Валентина Кирилловна продемонстрировала сарафаны, передники и платки из старинных тканей, которые перешли к ней по наследству, она также подробно рассказала о правилах хранения одежды. Как правило, все вещи бережно хранятся в сундуке. Она подчеркнула, что для сохранности одежду необходимо периодически проветривать. Также она показала правильный способ складывания рипсовых платков.

Работа по исследованию традиционного женского костюма была проведена и в музее с. Ижма. Сотрудница музея Филиппова Татьяна Александровна подробно рассказала о свадебном женском костюме и головных уборах. Особое место среди них занимает рипсовая шаль (*сырря чышьян*) – шелковый тканый платок со сложным жаккардовым узором, окаймленный бахромой. Шали ценились, передавались по женской линии и бережно хранились. *Сырря чышьян* сопровождал женщину на разных этапах ее жизненного пути, оставаясь неизменным элементом головных уборов. Девушки сворачивали шаль в ленту и обматывали ею голову, завязывая узел под косой. Такой способ ношения получил название *ныьюр*. Головной убор невесты (*юрной*) – очелье на твердой основе, украшенное бисером и жемчугом. После венчания волосы заплетали в две косы, надевали венец, а затем праздничный головной убор (*рѳчаюр*, или *треюк*), поверх которого снова повязывали рипсовую шаль. *Треюк* носили три дня, после чего надевали основной головной убор замужней женщины – *бабаюр*.



*Рис. 4. Канева Валентина Кирилловна
в традиционном костюме, с. Ижма.
Фото: Дружинина И.С.*

В настоящее время ижемский традиционный костюм используется не только фольклорными коллективами, но и на праздничном гулянии Луд, где можно увидеть в традиционных костюмах как старшее поколение, так и молодежь. Местные мастерицы отмечают, что традиционный женский костюм переживает второе рождение. Молодые девушки все чаще заказывают его пошив и с гордостью надевают на праздник Луд.

Проведенная экспедиция позволила собрать значительное количество аудио-, видео- и фотоматериалов, а также полевых записей. В настоящее время ведется работа по систематизации, расшифровке и научной обработке собранных данных. Этот комплексный материал ляжет в основу не только паспортов объектов нематериального этнокультурного достояния для каталога, но и станет ценным источником для будущих научных исследований в области этнографии, фольклористики, этномузыкологии.



Рис. 5. Вид на с. Сизябск. Фото из архива экспедиции

Библиографический список

1. *Вайман Д.И.* Экспедиции по выявлению и фиксации объектов нематериального этнокультурного достояния народов России в 2023 году / Д. И. Вайман, Ю. С. Чернышева // Вестник Пермского федерального исследовательского центра. – 2024. – № 4. – С. 90-100.
2. Закон 2022 – Федеральный закон от 20.10.2022 № 402-ФЗ «О нематериальном этнокультурном достоянии Российской Федерации» [Электронный ресурс]. – URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202210200005?index=1&rangeSize=1> (дата обращения: 10.02.2026).
3. *Черных А.В.* Экспедиции по выявлению и фиксации объектов нематериального этнокультурного достояния народов России в 2022 году / А. В. Черных, Ю. С. Чернышева // Вестник Пермского

- го федерального исследовательского центра. – 2023. – № 4. – С. 41-46.
4. Черных А.В. Экспедиционные исследования нематериального этнокультурного достояния коми-пермяков / А. В. Черных // Живая старина. – 2024. – № 4(124). – С. 16-17.
 5. Ижемский праздник «Луд» / Отв. за выпуск Вокуева В.Я. – Сыктывкар: ООО «Коми республиканская типография», 2019. – С.71
 6. Технология изготовления традиционного праздничного женского костюма коми-ижемцев Ижемского района Республики Коми [Электронный ресурс]. – URL: <https://cntipk.ru/tehnologiya-izgotovleniya-tradiczionnogo-prazdnichnogo-zhenskogo-kostyuma-komi-izhemczev/> (дата обращения: 10.02.2026)

Благодарности:

Исследование выполнено за счёт гранта Российского научного фонда (проект РНФ № 24-18-20015 «Коми-пермяки в языковом и этнокультурном пространстве Прикамья»).

Для цитирования:

Дружинина И.С., Никонов В.В. Экспедиция по выявлению и фиксации объектов нематериального этнокультурного достояния в Республике Коми // Вестник Пермского федерального исследовательского центра. – 2026 – № 1 – С. 106-112. <https://doi.org/10.7242/2658-705X/2026.1.8>

Сведения об авторах:

Дружинина Ирина Сергеевна, младший научный сотрудник, Институт гуманитарных исследований УрО РАН – филиал Пермского федерального исследовательского центра УрО РАН («ИГИ УрО РАН»), 614013, Пермский край, г. Пермь, ул. Генкеля, д. 4; e-mail: druzhinina.i@permisc.ru, ORCID: 0009-0006-5216-0235

Никонов Владимир Владимирович, стажер-исследователь, «ИГИ УрО РАН»; e-mail: Vova.nikonov302@mail.ru, ORCID: 0009-0007-9860-0475

AN EXPEDITION TO IDENTIFY AND FIX OBJECTS INTANGIBLE ETHNOCULTURAL HERITAGE IN THE KOMI REPUBLIC

Druzhinina I.S., Nikonov V.V.

Institute of Humanitarian Studies UB RAS, Perm

The article presents the results of a folklore and ethnographic expedition conducted in 2025 in the Izhemsky district of the Komi Republic. The purpose of the work was to identify, record and document objects of intangible ethnocultural heritage of the Komi-Izhemians, a subethnic group of the Komi people. The article describes field materials collected in the settlements of Izhma, Gam, Sizyabsk, Mokhcha, etc. The focus is on key heritage sites: the folk festival “Lud”, the song tradition, including ritual lamentations, and the traditional Izhma women’s costume. The current state of these phenomena, their manifestation in the activities of folklore groups and their role in preserving cultural identity are profiled in the article.

Keywords: *expedition, intangible ethnocultural heritage, Finno-Ugric peoples, Komi-Izhemians, Komi Republic*

Поступила в редакцию: 20.10.2025

Принята к публикации: 14.04.2026