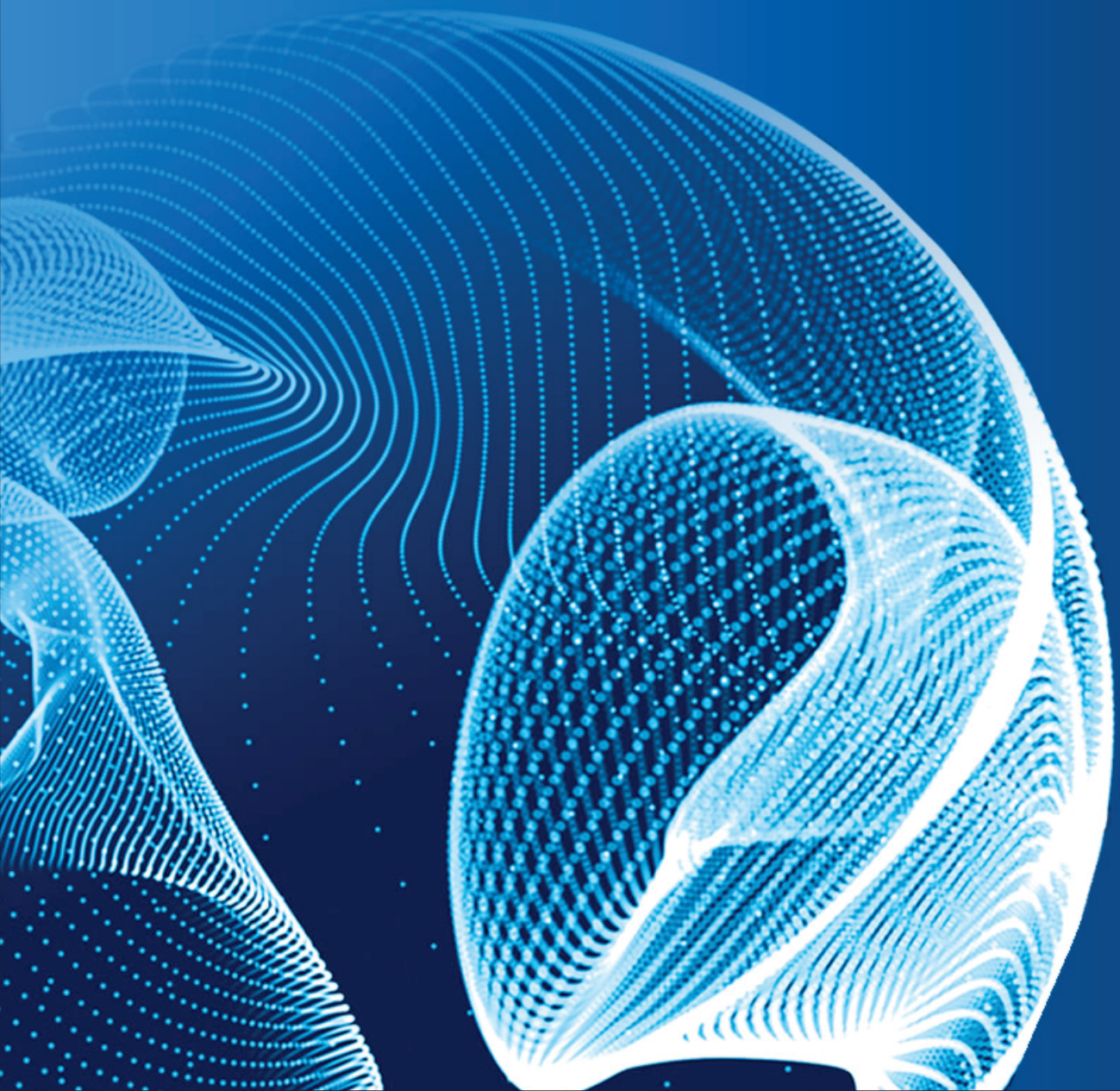
SATBAYEV UNIVERSITY

ISSN 2959-2348 (Online)

ENGINEERING JOURNAL of Satbayev University

Volume 145 (Issue 3)
June 2023



ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРЫ БІЛІМ МИНИСТРЛІГІ
МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН
MINISTRY OF SCIENCE AND HIGHER EDUCATION OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

ENGINEERING JOURNAL OF SATBAYEV UNIVERSITY

145 (3)

eISSN 2959-2348

EDITOR-IN-CHIEF

Alma Bekbotayeva, PhD, associate professor, Geology and Petroleum Engineering Institute of Satbayev University, Kazakhstan

DEPUTY EDITOR-IN-CHIEF

Kanai Rysbekov, candidate of technical sciences, associate professor, Mining and Metallurgical Institute of Satbayev University, Kazakhstan

Vasyl Lozinskyi, PhD, associate professor, National TU Dnipro Polytechnic, Ukraine

MANAGING EDITOR

Gulziya Burshukova, PhD, associate professor, Satbayev University, Kazakhstan

MEMBERS OF THE EDITORIAL BOARD

Ata Akçil, PhD, professor, Suleyman Demirel University, Turkey

Adilkhan Baibatsha, doctor of geological and mineralogical sciences, professor, Geology and Petroleum Engineering Institute of Satbayev University, Kazakhstan

Atac Bascetin, PhD, professor, Istanbul Technical University, Turkey

Madina Barmenshinova, candidate of technical sciences, associate professor, Mining and Metallurgical Institute of Satbayev University, Kazakhstan

Omirserik Baigenzhanov, PhD, associate professor, Mining and Metallurgical Institute of Satbayev University, Kazakhstan

Tatiana Chepushtanova, PhD, associate professor, Mining and Metallurgical Institute of Satbayev University, Kazakhstan

Agata Duczmal-Czernikiewicz, PhD, habilit.doctor, professor, Adam Mickiewicz University, Poland

Serik Moldabaev, doctor of technical sciences, professor, Mining and Metallurgical Institute of Satbayev University, Kazakhstan

Brajendra Mishra, PhD, professor, Worcester Polytechnic Institute, USA

Suping Peng, professor, academician, Chinese Mining University, China

Reimar Seltmann, PhD, professor, The Earth Sciences Department, Center for Russian and Central Asian Mineral Research (CERCAMS), Great Britain

Atsushi Shibayama, PhD, professor, Akita University, Japan

Olena Sdvyzhkova, doctor of technical sciences, professor, National TU Dnipro Polytechnic, Ukraine

Khalidilla Yusupov, doctor of technical sciences, professor, Mining and Metallurgical Institute of Satbayev University, Kazakhstan

eISSN 2959-2348

БАС ҒЫЛЫМИ РЕДАКТОР

Алма Бекботаева, PhD, қауымдастырылған профессор, Satbayev University Геология және мұнай-газ ісі институты, Қазақстан

БАС ҒЫЛЫМИ РЕДАКТОРДЫҢ ОРЫНБАСАРЛАРЫ

Қанай Рысбеков, т.ғ.к., қауымдастырылған профессор, Satbayev University Тау-кен-металлургия институты, Қазақстан

Василий Лозинский, PhD, қауымдастырылған профессор, «Днепр политехникасы» Ұлттық техникалық университеті, Украина

ЖАУАПТЫ ХАТШЫ

Гулзия Буршукова, PhD, қауымдастырылған профессор, Satbayev University, Қазақстан

РЕДАКЦИЯЛЫҚ АЛҚА МҮШЕЛЕРІ

Ata Akçil, PhD, профессор, Сүлейман Демирел Университеті, Түркия

Әділхан Байбатша, г-м.ғ.д., профессор, Satbayev University Геология және мұнай-газ ісі институты, Қазақстан

Atac Bascetin, PhD, профессор, Ыстамбұл техникалық университеті, Түркия

Мадина Барменшинова, т.ғ.к., қауымдастырылған профессор, Satbayev University Тау-кен-металлургия институты, Қазақстан

Өмірсерік Байгенженов, PhD, қауымдастырылған профессор, Satbayev University Тау-кен-металлургия институты, Қазақстан

Татьяна Чепуштанова, PhD, қауымдастырылған профессор, Satbayev University Тау-кен-металлургия институты, Қазақстан

Agata Duczmal-Czernikiewicz, PhD, хабилит.доктор, профессор, Адам Мицкевич Университеті, Польша

Серік Молдабаев, т.ғ.д., профессор, Satbayev University Тау-кен-металлургия институты, Қазақстан

Brajendra Mishra, PhD, профессор, Вустер политехникалық институты, АҚШ

Suping Peng, профессор, академик, Қытай тау-кен университеті, ҚХР

Reimar Seltmann, PhD, профессор, Жер туралы ғылымдар бөлімі, Ресей және Орта Азия минералды зерттеулер орталығы (CERCAMS), Ұлыбритания

Atsushi Shibayama, PhD, профессор, Akita University, Жапония

Олена Сдвижкова, т.ғ.д., профессор, «Днепр политехникасы» Ұлттық техникалық университеті, Украина

Халидилла Юсупов, т.ғ.д., профессор, Satbayev University Тау-кен-металлургия институты, Қазақстан

eISSN 2959-2348

ГЛАВНЫЙ НАУЧНЫЙ РЕДАКТОР

Алма Бекботаева, PhD, ассоц.профессор, Институт геологии и нефтегазового дела Satbayev University, Казахстан

ЗАМЕСТИТЕЛИ ГЛАВНОГО НАУЧНОГО РЕДАКТОРА

Канай Рысбеков, к.т.н., ассоц.профессор, Горно-металлургический институт Satbayev University, Казахстан

Василий Лозинский, PhD, ассоц.профессор, Национальный технический университет «Днепровская политехника», Украина

ОТВЕТСТВЕННЫЙ СЕКРЕТАРЬ

Гулзия Буршукова, PhD, ассоц.профессор, Satbayev University, Казахстан

ЧЛЕНЫ РЕДАКЦИОННОЙ КОЛЛЕГИИ

Ata Akçil, PhD, профессор, Университет Сулеймана Демиреля, Турция

Адильхан Байбатша, д.г-м.н., профессор, Институт геологии и нефтегазового дела Satbayev University, Казахстан

Atac Bascetin, PhD, профессор, Стамбульский технический университет, Турция

Мадина Барменшинова, к.т.н., Горно-металлургический институт Satbayev University, Казахстан

Омирсерик Байгенженов, PhD, ассоц.профессор, Горно-металлургический институт Satbayev University, Казахстан

Татьяна Чепуштанова, PhD, ассоц.профессор, Горно-металлургический институт Satbayev University, Казахстан

Agata Duczmal-Czernikiewicz, PhD, хабилит.доктор, профессор, Университет Адама Мицкевича, Польша

Серик Молдабаев, д.т.н., профессор, Горно-металлургический институт Satbayev University, Казахстан

Brajendra Mishra, PhD, профессор, Вустерский политехнический институт, США

Suping Peng, профессор, академик, Китайский горнопромышленный университет, КНР

Reimar Seltmann, PhD, профессор, Отдел Наук о Земле, Центр Российских и Среднеазиатских Минеральных Исследований (CERCAMS), Великобритания

Atsushi Shibayama, PhD, профессор, Akita University, Япония

Олена Сдвижкова, д.т.н., профессор, Национальный технический университет «Днепровская политехника», Украина

Халидилла Юсупов, д.т.н., профессор, Горно-металлургический институт Satbayev University, Казахстан

SATBAYEV UNIVERSITY

Engineering Journal of Satbayev University

Volume 145 (2023), Issue 3, 5-11

https://doi.org/10.51301/ejsu.2023.i3.01

Physico-chemical studies of technogenic gold-containing wastes of the Aksu deposit

N.K. Kazieva[1], N.V. Seraya[1], S.B. Yulussov[2], A.T. Khabiyev[2], Y.S. Merkibayev[2*]

[1]*D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University, Ust'-Kamenogorsk, Kazakhstan*
[2]*Satbayev University, Almaty, Kazakhstan*

**Corresponding author: y.merkibayev@satbayev.university*

Abstract. To develop a comprehensive technology for processing technogenic gold-containing waste, a representative sample of technogenic mineral formations of the Aksu deposits was selected. The average representative sample was studied using chemical, X-ray phase, mineralogical, X-ray spectral and electron microscopic analysis methods. The article presents physico-chemical studies of gold-bearing technogenic mineral formations of the Aksu deposit. According to the results of X-ray phase analysis, it was found that the main phase components are the following minerals: α-quartz - 63.2%, barite - 26.8%, muscovite - 6.3% and gypsum - 3.8%. Electron probe scanning revealed the presence of gold in the form of thin inclusions in rock-forming minerals. With the help of rational analysis, it was found that the proportion of free gold in the form of accretions with ore components in them is 7.18%. It was found that the main part of gold - 64.7% - is in the sulfide sample in the form of films coated with quartz, iron hydroxides, carbonates, chlorites and other minerals. According to the results of assay and atomic adsorption, gold in technogenic mineral formations varies from 1.11 to 1.28 g/t. The sieve analysis of technogenic mineral formations of the Aksu deposit showed that the initial sample is mainly represented by a class of -0.25+0.074 mm.

Based on the data of analytical studies, it can be seen that the studied samples of stale tails of TMOS are a rather complex object for extracting gold, which is associated with the above-described features of the material composition. As well as the thin inclusiveness of gold in sulfides determine the persistent nature of the raw material under study.

The results obtained in the physico-chemical study of technogenic mineral formations of the Aksu deposit will become the basis for choosing the technology for processing this raw material.

Keywords: *technogenic waste, gold, material composition, tailings, tailings of enrichment.*

1. Введение

Техногенные золотосодержащие отходы - это отходы, образующиеся в результате промышленных или технологических процессов, связанных с добычей, переработкой, использованием или утилизацией золота или золотосодержащих материалов. Они могут включать в себя различные типы отходов и материалов, содержащих золото. Некоторые примеры техногенных золотосодержащих отходов включают: шламы и отходы гидрометаллургических процессов, отходы от обработки электроники, отработанные катализаторы, шлаки и отходы плавки, отходы от ювелирной промышленности. Шламы и отходы гидрометаллургических процессов получаются в результате обработки золотосодержащей руды с использованием растворов или химических реагентов. Это могут быть шламы от цианидации, флотации или других процессов обработки. Отходы от обработки электроники производятся при разборке или утилизации отработанной электроники, такой как компьютеры, мобильные телефоны и платы, образуются отходы, содержащие золото. Это могут быть контакты, покрытия и другие компоненты с нанесенным золотом. Отработанные катализаторы появляются в некоторых процессах производства, таких как химическая промышленность или нефтепереработка, используются катализаторы, содержащие золото. После их использования они могут стать техногенными золотосодержащими отходами. Шлаки и отходы плавки являются побочными продуктами при плавке золотосодержащих материалов, таких как концентраты руды или отработанные ювелирные изделия, образуются шлаки и плавы, содержащие золото в остаточной форме. Отходы от ювелирной промышленности представляют собой продукты, образованные в процессе обработки золота в ювелирной промышленности образуются отходы, такие как обрезки, пыль или остатки от обработки ювелирных изделий.

Исследования техногенных золотосодержащих отходов направлены на исследование и оптимизацию методов извлечения и переработки золота из этих отходов, а также на оценку их потенциала для утилизации.

Физико-химические исследования техногенных золотосодержащих отходов включают изучение их химического состава, физических свойств, минералогического состава и возможностей извлечения золота из этих отходов. Для проведения химического анализа используются различные методы химического анализа, такие как волчаночный анализ, рентгеноструктурный анализ и спектральный анализ, можно определить содержание золота и других химических элементов в отходах. Это поможет оценить их потенциал для извлечения золота и определить оптимальные методы обработки. Для изучения физических свойств проводят измерение физических свойств

© 2023. N.K. Kazieva, N.V. Seraya, S.B. Yulussov, A.T. Khabiyev, Y.S. Merkibayev
Engineering Journal of Satbayev University. eISSN 2959-2348. Published by Satbayev University
This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/), which permits unrestricted reuse, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

отходов, таких как плотность, твердость, магнитные свойства и теплопроводность, которые могут дать информацию о физической природе отходов и помочь в планировании процессов обогащения и извлечения золота. Исследование минералогического состава отходов позволяет определить присутствие минералов, содержащих золото, и их распределение. Методы, такие как оптическая микроскопия, рентгеноструктурный анализ и сканирующая электронная микроскопия, могут быть использованы для идентификации минералов и анализа их микроструктуры. Для извлечения золота из техногенных отходов определяют наиболее эффективные методы извлечения, которые включают разработку и оптимизацию различных процессов, таких как гидрометаллургические методы (цианидация, хлорирование) и пирометаллургические методы (плавление и обжиг). Физико-химические исследования также могут помочь в оценке экологической безопасности техногенных золотосодержащих отходов.

Развитие горно-металлургической промышленности повлекло за собой образование отвалов вскрышных пород, хвостов обогатительных фабрик, металлургических шлаков и других отходов производства в количествах, которые позволяют классифицировать эти новообразования как техногенные месторождения [1]. Ресурсную ценность техногенных месторождений нельзя оценивать привычными категориями содержания в них полезных компонентов, поскольку выделение ценных компонентов, как правило, затруднено и существующие технологические процессы извлечения не позволяют их перерабатывать в достаточной мере [2]. Показатели обогащения такого сырья невысокие даже при значительных затратах на технологию. Рассматривать вопрос о целесообразности переработки техногенного сырья необходимо комплексно, учитывая его экологическую опасность и выгоды от рекультивации земель, а также восстановление среды обитания человека и животного мира. Следует отметить, что для действующих горнодобывающих предприятий переработка техногенного сырья является наиболее эффективным способом укрепления минерально-сырьевой базы и повышения эффективности ее эксплуатации, при этом снижая ресурсоемкость продукции и оказывая влияние на оздоровление окружающей среды.

В настоящий момент ужесточение экологических требований, а также ухудшение минерально-сырьевой базы Казахстана определяет необходимость проведения научно-исследовательских работ в данном направлении, так как это, в свою очередь, способствует вовлечению в процесс добычи ценных металлов бедного по составу техногенного сырья и дает возможность рационально использовать минеральные ресурсы, составляющих основу сырьевой базы страны [3]. Таким образом повышение извлечения благородных металлов из упорного техногенного сырья является актуальной задачей.

2. Методы и материалы

При выполнении исследований было использовано современное исследовательское и аналитическое оборудование: атомно-эмиссионный спектрометр Optima 2000 DV, рентгеновский дифрактометр D8 ADVANCE; ИК-Фурье спектрометр ThermoNicoletAvatar 370 FTIR Spectrometer; рентгенофлуоресцентный спектрометр Venus 200 PA Nalyical B.V. Химический состав лежалых хвостов определяли масс-спектрометрическим методом на атомно-абсорбционном спектрометре AA240 «Varian» с индуктивно-связанной плазмой в соответствии с ГОСТ 27329-87. Электронную растровую микроскопию и рентгеноспектральный микроанализ осуществляли на электронном растровом микроскопе с электронно-зондовым микроанализатором JEOLJXA-8230. Минералогический анализ осуществлен на поляризационном микроскопе LEICADM 2500 P.

2.1. Экспериментальная часть

Рудоподготовка является начальным и важным этапом в технологии переработки золотосодержащего сырья и золотосодержащих техногенных отхордов. Технологическое назначение операций рудоподготовки заключается в том, чтобы раскрыть минералы при минимально возможной крупности и минимальном переизмельчении (действовать по принципу «не дробить ничего лишнего»). Рудоподготовка включает операции грохочения, дробления, измельчения и классификации. В лабораторных исследованиях к вышеперечисленным операциям добавляется операция перемешивания, необходимая для получения представительной пробы исследуемого материала, что немаловажно, так как в рудном сырье золото распределено неравномерно.

Крупность зерен, до которой нужно дробить и измельчать исходный материал, определяется размером вкрапленности и принятой технологией в целом. Чем полнее раскрываются минералы при дроблении и измельчении, тем успешнее протекают последующие операции извлечения ценных компонентов.

При проведении исследований процессы отбора, опробования, обработки и подготовки проб, а также постановка и интерпретация проведенных опытов являются одними из важных моментов, от которых зависят дальнейшие результаты исследований. Подготовка представительной пробы техногенных золотосодержащих отходов – хвостов месторождения «Аксу» проводилось методом ручного опробования, который состоит из следующих этапов: отбор пробы, усреднение ее методом «кольца и конуса», квартование [4]. После усреднения и квартования пробы были отобраны частные пробы для химического, пробирного, рентгеноспектрального и минералогического анализов.

Проведение гранулометрического анализа является важнейшим видом исследования, так как гранулометрический состав является наиболее важным из признаков, определяющих все остальные особенности: минералогический состав, физические свойства, инженерно-геологические особенности и другие признаки.

Для изучения гранулометрического состава был проведен гранулометрический анализ, который включал следующие шаги: подготовка образца, процесс просеивания, взвешивание фракций. Для подготовки образца образец материала собирали и предварительно подготавливали с помощью очистки от загрязнений и раздробления материала до достаточно мелкой формы. Для проведения просеивания образец материала просеивали через серию сит с различными размерами отверстий. Сита разместили таким образом, чтобы сита с наименьшими отверстиями были на дне, а сита с наибольшими отверстиями - сверху. Затем образец помещали на верхнее сито и процеживали путем тряски или механического воздействия. Процесс просеивания продолжали до тех пор, пока весь материал не прошел через наимельшие отверстия. Далее провели взвеши-

вание фракций, который включал сбор образцов оставшихся на каждом сите материала после просеивания и их взвешивание. Полученные данные о массе каждой фракции использовались для вычисления процентного содержания материала в каждой размерной фракции.

Изучение гранулометрического состава породы производили путем разделения слагающих ее зерен на классы крупности и установления объема каждого класса. Объем отдельных классов выражали в процентах. Образцы для изучения гранулометрического состава исследуемых проб испытывали методом мокрого ситового анализа, пробы при этом отбирали с помощью точечного способа. Исследуемая проба в данном методе была отквартована в количестве 1 кг и рассеяна по фракциям.

Для определения содержания золота в пробах использовали пробирный и атомно-адсорбционный методы анализа. Пробирный и атомно-адсорбционный методы являются двумя распространенными методами анализа золота. Оба метода были использованы для определения содержания золота в образцах материалов. Для проведения пробирного метода было проведено химическое растворение золота в реагентах и его последующее количественное определение. Данный метод включает следующие процедуры: подготовку образцов, химическое растворение, отделение золота и определение содержания золота. Для подготовки образца образец, содержащий золото, обрабатывали для получения растворимой формы, включая различные методы обработки. При проведении химического растворения обработанный образец помещали в кислотный раствор, содержащий азотную и соляную кислоты для растворения золота. После растворения золота было проведено отделение от золота от других компонентов образца.

При использовании атомно-адсорбционного метода анализа проводили подготовку образца, содержащее золото для преобразования его в растворимую форму. Далее производили измерение содержания золота и других компонентов, при котором образец вводится в атомайзер, а затем после пропускания световых волн через образец измеряется поглощение света элементами в атомном состоянии.

С помощью минералогического анализа золота был изучен минералогический состав образцов, содержащих золото. Данный анализ помог определить, какие минералы присутствуют вместе с золотом и в каких минеральных фазах оно находится. Минералогический анализ включает процедуру подготовки образца, при которой образец, содержащий золото, должен быть предварительно был подготовлен перед анализом. Далее с помощью оптического микроскопа провели визуальную оценку минералогического состава. Для определения кристаллической структуры минералов в образце использовали рентгеновскую дифрактометрию, а для определения морфологии, размера и распределения минералов, а также для выявления присутствия золота и его связей с другими минералами – методы электронной микроскопии – СЭМ и ТЭМ.

Рентгеноспектральный анализ золота позволил определить химический состав образцов и определить наличие и содержание золота. При этом было измерено характеристическое рентгеновское излучение, которое испускается золотом при облучении рентгеновскими лучами. Данный анализ включает в себя следующие процедуры: подготовка образца, облучение образца рентгеновскими лучами, регистрацию и анализ рентгеновского излучения, и интерпретацию спектра, и определение содержания золота. Для подготовки образца образец золота обрабатывали и преобразовали в форму для проведения измерения. Далее проводили облучение образца рентгеновскими лучами, при котором образец помещали в рентгеновский спектрометр, который генерирует рентгеновские лучи. Рентгеновские лучи облучают образец, и атомы золота в образце в результате взаимодействия с рентгеновским излучением испускают рентгеновское излучение. Далее проводили регистрацию и анализ рентгеновского излучения: рентгеновское излучение, испускаемое образцом, регистрировали при помощи детектора в рентгеноспектрометре. По полученным рентгеновским спектрам, содержащим характеристические пики, соответствующие энергиям испускаемого излучения различных элементов, проводили интерпретацию спектров и определяли содержания золота.

3. Результаты и обсуждение

В данном разделе представлены результаты ситового анализа проб лежалых хвостов, химический состав исходной пробы, фазовый состав, результаты рентгенограммы, рационального (фазового) анализа, микрофотография и точечный ЭДС анализ частиц исходной пробы лежалых хвостов, полученная с помощью РЭМ-РСМА, результаты волно-дисперсионного анализа, фрагментов частиц образца и результаты элементного картирования зерен частиц исходных проб лежалых хвостов техногенных минеральных образовании месторождения месторождения «Аксу», полученных с помощью ВДС.

Результаты ситового анализа проб техногенного золотосодержащего сырья – хвостов месторождения «Аксу», представлены в таблице 1.

Таблица 1. Результаты ситового анализа проб лежалых хвостов

Классы крупности, мм	Сульфидная проба лежалых хвостов. Выход, %
+0.1	0.5
-0.1+0.5	14.3
-0.5+0.25	15.4
-0.25+0.074	66
-0.074+0	3.8
Итого	100.00

Как видно из таблицы 1, в пробах выход класса в интервале -0.25+0.074 мм значительный и составляет 66%. Содержание класса -0.074 мм в пробах равна 3.8%. Наименьший выход класса +0.1 составляет 0.5%.

Результаты ситового анализа лежалых хвостов свидетельствуют о том, что исходная проба, в основном, представлена классом -0.25+0.074 мм.

Для выполнения пробирных, химических, рентгенофлуоресцентных, минералогических и рентгеноспектральных анализов отобраны частные пробы крупностью -2 мм, которые были истерты до крупности 100% класса -0.074 мм. Расчетное содержание золота в пробе по данным пробирного и атомно-адсорбционного метода анализа приведены в таблице 2.

По результатам пробирного и атомно-адсорбционного анализов, представленных в таблице 2 золото в техногенных минеральных образованиях, варьируется от 1.11 до 1.28 г/т.

Таблица 2. Химический состав исходной пробы техногенных отходов

Наименование анализа	Массовая доля определяемых элементов, г/т	
	Au	Ag
Пробирный	1.11	18.02
Атомно-адсорбционный	1.28	16.15

Как известно, золото в техногенных отходах месторождения «Аксу» во многих случаях присутствует в тонкодисперсном виде, к которому принято относить зерна размером от долей микрометра до 10 мкм. В таких размерах золото может присутствовать в сульфидах, карбонатах, силикатах, оксидах и гидроксидах. В последнее время имеются научные работы [5], свидетельствующие о наличии тонкодисперсного золота в кварце, слоистых алюмосиликатах и органическом веществе, в которых оно распределено крайне неравномерно и присутствует в переменном количестве. Известно, что техногенные отходы - более сложное в технологическом отношении сырье. В связи с этим, для изучения минералогического состава были проведены рентгеноспектральные и минералогические исследования. Фазовый состав проб техногенных отходов исследуемых образцов был получен с помощью рентгенофазового анализа (таблица 3 и рисунок 1).

Таблица 3. Фазовый состав техногенных отходов месторождения «Аксу»

Наименование	Формула	S-Q, %
Quartz, syn	SiO_2	63.2
Barite	$BaSO_4$	26.8
Muscovite-2Ml	$KAl_2(Si,Al)_4O_{10}(OH)_2$	6.3
Gypsum	$Ca(SO_4)(H_2O)_2$	3.8
Итого		100.0

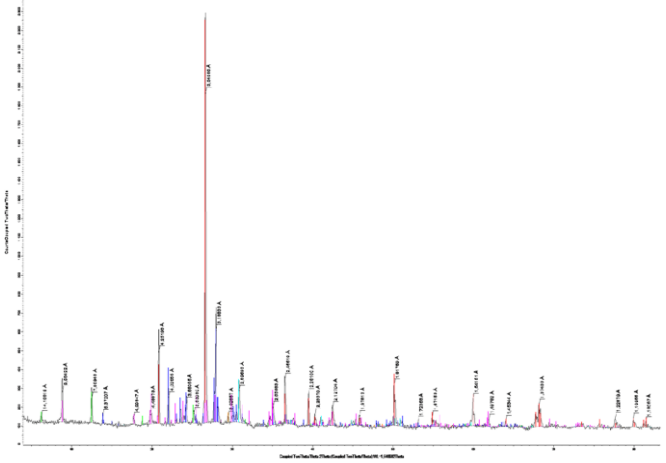


Рисунок 1. Рентгенограмма техногенных минеральных образовании месторождения месторождения «Аксу»

Результаты рентгенофлуоресцентного анализа выявили наличие в пробах следующих элементов, (%): Ba - 17.7; Si - 12.6; S - 6.4; Fe - 5.4; Al - 3.6; Na - 0.4; Mg - 0.3; Zn - 0.2; Pb - 0.1; Cu - 0.1; As - 0.01. Исследования фазового состава хвостов показали, что в пробе основным минералом является α– кварц (SiO_2) – 63%, доля барита ($BaSO_4$)– 26.8%, мусковита (KAl2(Si,Al)4O10(OH)2) – 6.3% и гипса (Ca(SO4)(H2O)2) - 3.8%. Согласно данным аналитических исследований было показано, что исследуемые образцы лежалых хвостов являются достаточно сложным объектом для извлечения золота, что связано с вышеописанными особенностями вещественного состава. При этом золото представлено в виде тонких вкраплений в сульфиды, что определяет упорный характер исследуемого сырья. Для выяснения форм нахождения золота были выполнены фазовые (рациональные) анализы усредненных проб с исходной крупностью 0.074 мм, результаты которых приведены в таблице 4.

Таблица 4. Результаты рационального (фазового) анализа золотосодержащих отходов

Формы нахождения золота и характер его связи с рудными компонентами	Распределение золота	
	г/т	%
Свободное и в виде сростков с рудными компонентами (цианируемое)	0.25	7.18
Покрытое кварцем, пленками гидроксидов железа, карбонатами, хлоритами и др.	2.25	64.7
Ассоциированное золото с сульфидами	-	-
Тонко вкрапленное в породообразующие минералы	0.68	19.5
Тонкодисперсное в породообразующие минералы	0.30	8.62
Итого в руде (по балансу)	3.48	100

Из представленных результатов рационального анализа видно, что доля свободного в виде сростков с рудными компонентами золота в них составляет 7,18 %. Установлено, что основная часть золота - 64,7 % находится в сульфидной пробе в виде пленок, покрытых кварцем, гидроксидами железа, карбонатов, хлоритов и других минералов.

Для точной диагностики и подтверждения наличия золота и других сопутствующих металлов, а также для проведения элементного картирования зерен минералов проведено электронно-зондовое сканирование при больших увеличениях на электронном растровом микроскопе.

Результаты качественного и количественного анализа в произвольно выбранном участке микроскопических размеров во взаимосвязи с топографией поверхности топографических снимков с помощью растровой электронной микроскопии с специальным электронно-зондовым микроанализатором ("микрозонд") показаны на рисунках 1-2.

На рисунке 1 представлена микрофотография и точечный ЭДС-анализ частиц исходной пробы лежалых хвостов, полученная с помощью РЭМ-РСМА.

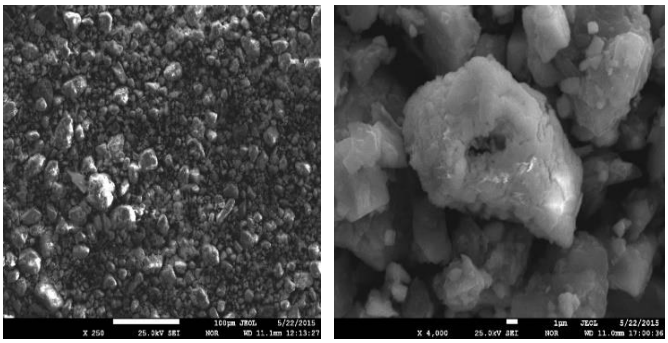


Рисунок 1. Микрофотография и точечный ЭДС анализ частиц исходной пробы лежалых хвостов, полученная с помощью РЭМ-РСМА

На рисунке 2 и таблице 5 представлен волнодисперсионный спектр фрагментов частиц образца исходной пробы лежалых хвостов и результаты элементного анализа.

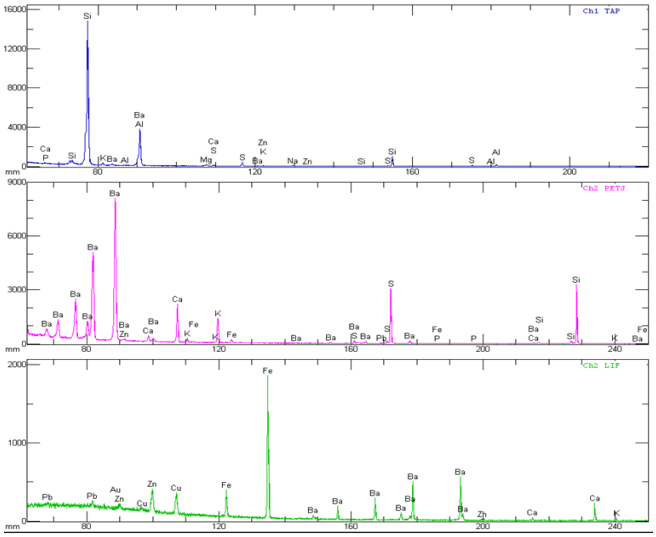


Рисунок 2. Волно-дисперсионные спектры фрагментов частиц образца

Далее представлены результаты элементного анализа, полученные с помощью волно-дисперсионный спектрометра (таблица 5).

Таблица 5. Результаты волно-дисперсионного анализа фрагментов частиц образца

Element	Mass (%)	Atom (%)	K0)
Na	0.990	1.8720	0.100
Kg	0.613	1.0978	0.096
Al	8.100	13.0610	1.594
Si	25.195	39.0231	6.019
P	0.174	0.2455	0.039
S	14.487	19.6593	4.090
K	2.813	3.1311	1.038
Ca	3.528	3.8302	1.428
Fe	7.845	6.1113	3.227
Cu	0.899	0.6151	0.384
Zn	0.986	0.6564	0.431
Ba	32.547	10.3101	12.905
Au	0.425	0.0939	0.161
Pb	1.396	0.2932	0.521
Итого	100.000	100.0000	32.034

На рисунках 1 и 2 видно, что в пробе присутствуют такие элементы как, железо, сера, золото, алюминий, кремний и барий.

Для представления сложной структуры исследуемых исходных проб лежалых хвостов было проведено элементное картирование зерен частиц (рисунок 3).

Согласно полученным данным элементного картирования зерен частиц исходных проб лежалых хвостов - проба не стойкая по структуре и при наведении электронных пучков происходит ее отслаивание. При этом можно сказать, что распределение элементов в сульфидных пробах неравномерное и в них в основном преобладают такие элементы, как Ba, S, что свидетельствует о содержании большого количества сульфидных минералов, в данном случае сульфида бария - $BaSO_4$. Также в одной из проб была обнаружена локализация сразу двух элементов – Zn и Cu, что свидетельствует о присутствии в данной пробе природной латуни. В данной пробе присутствуют такие элементы, как Al и Si, что указывает на присутствие минерала - алюмосиликата и еще раз доказывает, что в исследуемых объектах золото находится в виде мелких тонких частиц и оно присутствует в тонкодисперсном виде в комплексных ассоциациях с минералами.

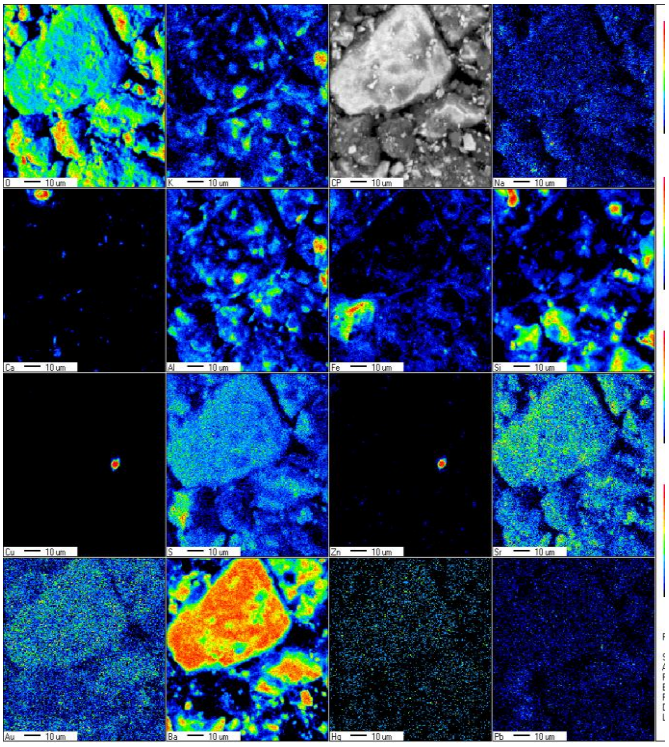


Рисунок 3. Элементное картирование зерен частиц исходных проб лежалых хвостов, полученных с помощью ВДС с увеличением x 750

Полученные результаты свидетельствуют о том, что в техногенных отходах месторождения «Аксу» в основном концентрируются самые упорные формы золота.

4. Выводы

В связи с особенностями вещественного состава и формой нахождения в нем золота золотосодержащих техногенных и вторичных отходов, важно применять для каждого типа такого сырья определенные подходы к извлечению благородных металлов. В работе проведено исследование гранулометрического состава, минералогический анализ для определения содержания золота в различных фазах и минералах техногенных золотосодержащих отходов месторождения «Аксу». При этом выявлено, что содержание золота в техногенных отходах варьируется от 1.11 до 1.28 г/т.

Согласно результатам рентгенофазового анализа техногенных минеральных образовании фазовый состав в основном является α - кварц (SiO_2) – 63%, барит ($BaSO_4$)– 26.8%, мусковит ($KAl_2(Si,Al)4O_{10}(OH)_2$) - 6.3% и гипс ($Ca(SO_4)(H_2O)_2$)- 3.8%. Рациональным анализом установлено, что в сульфидной пробе большая часть золота 64.7% находится в виде пленок, покрытых кварцем, гидроксидами железа, карбонатов, хлоритов и других минералов. Золото обнаружено в виде очень мелких зерен в сульфидах в виде пирита, а также в тонковкрапленном состоянии в силикатных минералах. Согласно данным аналитических исследований было показано, что исследуемые образцы лежалых хвостов являются достаточно сложным объектом для извлечения

золота, что связано с вышеописанными особенностями вещественного состава.

Данная статья имеет большое значение при разработке современных экономически и экологически целесообразных технологий переработки лежалых хвостов, так как повышенная активность пылеватой фракции отходов приводит к увеличению уровня экологического риска для прилегающих к хвостохранилищам территорий. Товарным продуктом, получаемым на начальной стадии переработки, может стать продуктивный золотосодержащий раствор, который можно подвергнуть осаждению с получением на выходе сплава Доре. Рассмотрение хвостохранилищ как техногенных месторождений с низким содержанием ценных компонентов приводит к необходимости разработки специфических технологий переработки, обеспечивающих не только получение ценного товарного продукта, но и снижающих ущерб окружающей среде.

Литература / References

[1] Malikova, I.N., Anoshin, G.N. & Badmaeva, Zh.O. (2011). Mobile mercury species in soils of natural and natural-technogenic landscapes. *Russian Geology and Geophysics, 52(3), 320-332.* https://doi.org/10.1016/j.rgg.2011.02.005

[2] Svetlana, Yu., Artamonova, A., Zhuravskaya, N. (2016). SR-XRFA in Biogeochemical Studies: Elemental Composition of Larch Tissues (Larixcajanderi Mayr.) of the Kuranakh Gold ore Field (Russia, Yakutia). *Physics Procedia, (84), 288-294.* https://doi.org/10.1016/j.phpro.2016.11.049

[3] Szamałek, K., Zglinicki, K., Mazurek, S., Szuflicki, M., I. de Séjournet de Rameignies, Tymiński, M. (2021). The role of mineral resources knowledge in the economic planning and development in Poland. *Resources Policy, (74), 102354.* https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2021.102354

[4] GOST 14180-80. Metody otbora i podgotovki prob dlja himicheskogo analiza i opredelenija vlagi

[5] Zhi-Gao Wang, Jin Liu, Wen-Liang Xu, Hong-Yan Quan, Xiang-Jiang Yu. (2023). Geochronology (U-Pb and Re-Os) and HOS isotopes reveal ore fluid origin and crucial role of meteoric water for Laozuoshan quartz-vein-hosted gold metallogeny in Jiamusi, NE China. *Ore Geology Reviews, (153), 105267.* https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2022.105267

Ақсу кен орнының құрамында алтыны бар техногендік қалдықтарды физика-химиялық зерттеу

Н.К. Қазиева[1], Н.В. Серая[1], С.Б. Юлусов[2], А.Т. Хабиев[2], Е.С. Меркибаев[2*]

[1]*Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті, Өскемен, Қазақстан*
[2]*Satbayev University, Алматы, Қазақстан*

**Корреспонденция үшін автор: y.merkibayev@satbayev.university*

Аңдатпа. Құрамында алтыны бар техногендік қалдықтарды өңдеудің кешенді технологиясын әзірлеу үшін «Ақсу»кен орындарының техногендік минералдық түзілімдерінің өкілдік сынамасы іріктелді.Орташа өкілдік сынама химиялық, рентгендік фазалық, минералогиялық, рентгендік спектрлік және электронды-микроскопиялық талдау әдістерін қолдану арқылы зерттелді. Мақалада «Ақсу» кен орнының құрамында алтыны бар Техногендік минералдық түзілімдердің физика-химиялық зерттеулері ұсынылған. Рентгендік фазалық талдау нәтижелері бойынша негізгі фазалық құрамдас бөліктер мынадай минералдар болып табылатыны анықталды: α-кварц-63.2%, барит – 26.8%, мусковит – 6.3% және гипс-3.8%. Электронды зондты сканерлеу тау жыныстарын құрайтын минералдарға жұқа дақтар түрінде алтынның болуын анықтады. Рационалды талдаудың көмегімен олардағы алтынның кенді компоненттері бар өсінділер түріндегі бос үлестің 7.18% құрайтыны анықталды. Алтынның негізгі бөлігі – 64.7% кварцпен, темір гидроксидтерімен, карбонаттармен, хлориттермен және басқа минералдармен қапталған пленкалар түрінде сульфидті сынамада болатындығы анықталды.Техногендік минералдық түзілімдердегі сынамалық және атомдық-адсорбциялық алтын нәтижелері бойынша 1.11-ден 1.28 г/т-ға дейін ауытқиды. «Ақсу» кен орнының техногендік минералдық түзілімдерінің елеуіш талдауы бастапқы сынаманың негізінен -0.25+0.074 мм сыныбымен ұсынылғанын көрсетті.

Аналитикалық зерттеулердің деректеріне сүйене отырып, ТМО-ның жатып қалған құйрықтарының зерттелетін үлгілері жоғарыда сипатталған заттық құрамның ерекшеліктерімен байланысты алтынды алу үшін жеткілікті күрделі объект болып табылады. Сондай-ақ алтынның сульфидтерге жұқа қосылуы зерттелетін шикізаттың табанды сипатын анықтайды.

«Ақсу» кен орнының техногендік минералдық түзілімдеріне алынған осы физика-химиялық зерттеулер осы шикізатты қайта өңдеу технологиясын таңдау үшін негіз болады.

Негізгі сөздер: *техногендік қалдықтар, алтын, заттай құрамы, қалдық қоймалары, байыту қалдықтары*.

Физико-химические исследования техногенных золотосодержащих отходов месторождения Аксу

Н.К. Казиева[1], Н.В. Серая[1], С.Б. Юлусов[2], А.Т. Хабиев[2], Е.С. Меркибаев[2*]

[1]*Восточно-Казахстанский технический университет имени Д. Серикбаева, Усть-Каменогорск, Казахстан*
[2]*Satbayev University, Алматы, Казахстан*

**Автор для корреспонденции: y.merkibayev@satbayev.university*

Аннотация. Для разработки комплексной технологии переработки техногенных золотосодержащих отходов была отобрана представительная проба техногенных минеральных образовании месторождений «Аксу». Усредненная представительная проба была изучена с использованием химического, рентгенофазового, минералогического, рентгеноспектрального и электронно-микроскопического методов анализов. В статье представлены физико-химические исследования золотосодержащих техногенных минеральных образований месторождения «Аксу». По результатам рентгенофазового анализа установлено, что основными фазовыми составляющими являются следующие минералы: α-кварц - 63.2%, барит – 26.8%, мусковит – 6.3% и гипс- 3.8%. Электронно-зондовое сканирование выявило наличие золота в виде тонких вкраплений в породообразующие минералы. С помощью рационального анализа установлено, что доля свободного в виде сростков с рудными компонентами золота в них составляет 7.18%. Установлено, что основная часть золота - 64.7% находится в сульфидной пробе в виде пленок, покрытых кварцем, гидроксидами железа, карбонатов, хлоритов и других минералов. По результатам пробирного и атомно-адсорбционного золото в техногенных минеральных образовании варьируется от 1.11 до 1.28 г/т. Ситовой анализ техногенных минеральных образовании месторождения «Аксу», показал, что исходная проба, в основном, представлена классом -0.25+0.074 мм.

Исходя из данных аналитических исследований видно, что исследуемые образцы лежалых хвостов ТМО являются достаточно сложным объектом для извлечения золота, что связано с вышеописанными особенностями вещественного состава. А также тонкая вкрапленность золота в сульфиды определяют упорный характер исследуемого сырья.

Полученные данный физико-химических исследовании техногенных минеральных образовании месторождения «Аксу» станут основой для выбора технологии переработки данного сырья.

Ключевые слова: *техногенные отходы, золото, вещественный состав, хвостохранилища, хвосты обогащения.*

Received: 05 February 2022
Accepted: 15 June 2023
Available online: 30 June 2023

SATBAYEV UNIVERSITY

Engineering Journal of Satbayev University

Volume 145 (2023), Issue 3, 12-18

https://doi.org/10.51301/ejsu.2023.i3.02

Obtaining fine-grained hard alloys homogeneous in carbide grain

A.Zh. Terlikbaeva[1*], A.M. Alimzhanova[1], R.A. Shayakhmetova[1], A.A. Mukhametzhanova[1], G.K. Maldybaev[1], B.T. Sakhova[1], A.N. Kuandykova[1], Zh.V. Eremeeva[2]

[1]*National Center for Integrated Processing of Mineral Raw Materials of the Republic of Kazakhstan, Almaty, Kazakhstan*
[2]*University of Science and Technology MISIS, Moscow, Russia*

**Corresponding author: aliyuchca@mail.ru*

Abstract. The actual task of this work is to obtain homogeneous hard alloys with fine carbide grains, combining high hardness and strength. Studies were carried out to establish the most favorable phase compositions of hard alloys and the most rational technical methodology for their production.

In this research work, a nanostructured WC-TiC-Co powder charge was obtained by mechanochemical synthesis. Nanosized WC powder and nanopowder with precipitated Co were added to the hard alloy charge by mixing in a ball planetary mill. The process of pressing the powder charge at a pressure of 100-1000 MPa, as well as the sintering process at a temperature within the range of 1450-1600°C was applied. The chemical-metallurgical method of deposition of metal layers from salt solutions was applied to obtain the WC-Co hard alloy. X-ray structural analysis and scanning electron microscopy were applied. The effect of the preparation method on the phase composition of WC-TiC-Co consolidated samples was studied. In the microstructure of these hard alloys, intercrystalline particles of (Ti,W)C are observed, and the presence of the liquid phase can lead to a rounded shape. It was found that the addition of nano-sized WC powder leads to an increase in pressed density. It was revealed that the addition of WC nanosize additives or WC nanopowder with deposited cobalt makes it possible to obtain a fine-grained structure with a grain size of not more than 4-6 microns. It was found that the addition of WC nanopowder with precipitated cobalt to the alloy has the highest Brinell hardness values; in addition, it leads to an increase in the bending strength.

Keywords: *fine-grained, sintering, hard alloys, phase, carbide, density.*

1. Введение

Твердые сплавы, благодаря уникальному сочетанию твердости, износостойкости и прочности, занимают особое в место в ряду композиционных материалов и находят широкое применение в различных отраслях промышленности. В связи с чем, проблема повышения эксплуатационных свойств достаточно широко исследуется. Отечественными и зарубежными исследователями описаны различные технологические приемы получения гомогенных твердых сплавов, в основном ведутся работы по установлению наиболее благоприятного фазового состава твердых сплавов и наиболее рациональных технологических режимов их получения [1, 2]. Многие авторы работ подчёркивают, что наиболее отрицательное влияние на структуру и свойства оказывает наличие свободного углерода и наличие хрупкой η-фазы, что приводит к заметному снижению механических и эксплуатационных свойств [3]. В последние годы растет количество работ по получению твердых сплавов с наноразмерными составляющими, также имеются исследования по получению иерархических структур в объеме твердых сплавов [4-6].

Особенно трудно реализовать наноразмерные и иерархические структуры твердых сплавов во время консолидации, это связано с быстропротекающими процессами диффузии, массопереноса, а также с процессами перекристаллизации. Например, при спекании порошков сплавов с размером зерен 200-300 нм при температуре 1400°C в течение 2 минут имеет место рост зерен до 1-1.2 мкм. Анализ литературных данных [5, 7] показывает, что оптимальный комплекс свойств твердых сплавов обеспечивается не в области «нано», а в области субмикронных размеров зерен.

Необходимо отметить, что при тщательном смешивании мелкодисперсных и ультрадисперсных порошков, диффузия вследствие малых размеров частиц и их большой удельной поверхности приводит к очень быстрой гомогенизации, скорость диффузии в твердых сплавах растет по экспоненциальному закону. Гомогенизация твердых сплавов происходит значительно быстрее, если имеет место образование жидкой фазы. Причем в работе [8, 9] предлагается представлять процессы консолидации двухкарбидных твердых сплавов следующим образом, с ростом температуры образуются пары металлов и неметаллов, которые фокусируют экзотермическую реакцию образования твердых соединений с очень высокой скоростью. Консолидация образующихся твердых соединений достигается при повышении температуры вплоть до температур плавления [10].

В твердых сплавах системы WC-TiC-Co повышенное содержание кобальта приводит к увеличению прочности при изгибе, у данных сплавов более высокая прочность наблюдается при большей мелкозернистости. Также на прочность твердых сплавов оказывает и содержание

© 2023. A.Zh. Terlikbaeva, A.M. Alimzhanova, R.A. Shayakhmetova, A.A. Mukhametzhanova, G.K. Maldybaev, B.T. Sakhova, A.N. Kuandykova, Zh.V. Eremeeva
Engineering Journal of Satbayev University. eISSN 2959-2348. Published by Satbayev University
This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/), which permits unrestricted reuse, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

посторонних примесей, и качество поучаемых порошковых смесей, наличие свободного углерода и другие факторы.

Известны случаи получения карбида вольфрама обработкой в планетарно-центробежной мельнице, при 100-часовой обработке были получены ультрадисперсные порошки карбида вольфрама с размером частиц 100 нм. Также таким методом были получены и порошковые смеси WC-TiC-Co, причем размер частиц данной смеси не превышал 40 нм, но при такой длительной обработке в планетарно-центробежной мельнице нельзя избежать сильного натира материала мелющих тел на порошок смеси, поэтому следует рекомендовать проводить размол твердосплавными мелющими телами.

Следует отметить, что при разном протекании процесса консолидации двухкарбидных твердых сплавов может иметь место неполная смачиваемость карбидов, а также очень малая анизотропия. В структуре данных твердых сплавов можно наблюдать сросшиеся частицы (Ti,W)C, которые из-за присутствия жидкой фазы могут приобретать округлую форму. Поэтому многие исследователи процесса консолидации системы WC-TiC-Co исследуют как тройную эвтектику W+Co+C, так и четверную эвтектику W-Co-Ti-C. Были зафиксированы карбидные фазы из α-(WC) и β-(TiC) твердых растворов, пронизывающих один другой в виде двух взаимно связанных независимых каркасов, причем β-(TiC) очень легко выявляется при травлении. Конечный состав двухкарбидных твердых сплавов зависит от исходного состояния, от размера и формы исходных частиц порошков, от качества смешивания, от условий формования и спекания [11, 12]. Одной из ключевых задач данной работы является получение однородных по карбидному зерну мелкозернистых твердых сплавов, обеспечивающих уникальное сочетание в них высокой твердости и прочности.

В последнее время встречается большое количество патентов по получению наноразмерных порошков карбидов вольфрама, титана, тантала, ниобия, молибдена. Так в патенте США [13] описана технология по получению нанопорошков вольфрама, молибдена и карбида вольфрама методом прокалки паровольфрамата аммония, паромолибдата аммония при температуре процесса 600°C в среде. Размер частиц порошка вольфрама, полученного по такой технологии, составляет 600 нм, а размер частиц порошка молибдена составляет 700 нм. Для дальнейшего получения порошка карбида вольфрама или молибдена их смешивали с сажей. Потом производили прокалку в токе H2 в течение 45 минут. Полученный порошок карбида вольфрама имел средний размер частиц 1.0 мкм, а порошок карбида молибдена имел 1.3 мкм средний размер частиц.

Используемые немецкими и австрийскими научными центрами технологии основаны на традиционных подходах «прокаливание-восстановление-карбидизация». Именно используя такую технологию в этих научных центрах получают порошки карбида вольфрама со средним размером зерен 200-400 нм. Данная технология основана на твердофазном разложении при температуре 600°C в среде водорода или азота паравольфрамата аммония, при последующей прокалке с использованием сажи при температуре 1500°C [14].

Многочисленные научные центры Китая также разрабатывают новые технологии получения ультрадисперсных порошков карбидов вольфрама, титана, тантала и ниобия. так, например, в работе [15] описана технология получения в газовой фазе системы WCl_6-CH_4-H_2 наноразмерного порошка карбида вольфрама. Данный процесс идет в горизонтальном трубчатом реакторе. Температура процесса сильно влияет на размер получаемого порошка, так, например, при температуре 400°C размер частиц составляет 40-50 нм, а при 1000°C – 80-100 нм. По такой же технологии авторами [16] был синтезирован в газовой фазе из системы WCl_6-C_2H_2-H_2 наноразмерный карбид вольфрама. Был получена смесь WC и W_2C. При использовании этой технологии сохранилась также тенденция, что с увеличением температуры синтеза идет рост размера частиц, так при температуре 800°C размер частиц составлял 100 нм, а при 1000°C частицы имели размер 1 мкм.

В работе [17] показано, что при наноструктурированном состоянии твердого сплава не наблюдается снижения твердости и трещиностойкости, хотя в теории твердых сплавов обычно твердость обратно пропорциональна их размеру зерна. Имеет место повышения вязкости разрушения твердых сплавов системы WC-TiC-Co при наноразмерном состоянии, когда размер карбидных фаз составляет несколько нанометров. Также отмечается, что границы зерен являются своеобразным препятствием при движении трещин.

В работе [18] представлены данные по различным видам формования и спекания твердых сплавов системы WC-TiC-Co, причем спекание проводили как твердофазное, так и жидкофазное, температура консолидации от 1300 до 1500°C, время спекания от 5 до 480 минут, приводятся данные о том, что при спекании наноразмерных порошков даже спекание в течение 5 минут приводит к росту зерна.

Авторы работы [19] использовали нанопорошок карбида вольфрама фирмы «Nanodyne Inc.» (США), консолидацию проводили при температуре 1400°C, отмечается, что при 30 секундной выдержки порошок с размером частиц 200 нм дошел до 2 мкм, а при консолидации при температуре 1200°C в течение 15 минут в структуре обнаруживается много крупных и выросших зерен.

Многие ученые предполагают, что для твердых сплавов с наноразмерным зерном их высокие характеристики по механическим свойствам соотносятся с минимизацией дефектов [20]. Во многих работах подчеркивается, что поры в данных сплавах также имеют наноразмеры, и поэтому если размер зерна составляет 30-50 нм, то размер пор также не превышает 5-8 нм, это обстоятельство благоприятно сказывается на вязкости разрушения и твердости.

В научной работе [21] показано, что при получении наноструктурного твердого сплава системы WC-TiC-Co значительно повышаются такие свойства вязкость разрушения KIC – 15.0 МПа/м^2, твердость HRA – 97.0.

На кафедре порошковой металлургии и функциональных покрытий НИТУ МИСиС проводятся исследования по получению нанодисперсных твердых сплавов WC-Co с использованием карбида вольфрама, полученного методом СВС. Для формования таких твердых сплавов используется метод «мокрого» формования, а спекания проводилось в высокотемпературной вакуумной печи фирмы ВАК-Это. Размер зерна полученного по данной технологии твердого сплава марки ВК6 составлял 200-400 нм, твердость 20, а предел прочности на изгиб 2150 МПа.

По вышеизложенному обзору можно сказать, что применение нанопорошков карбида вольфрама и карбида титана является перспективной тематикой для изучения титановых сплавов. К тому рекомендуется смешивать твердосплавных смесей наиболее эффективно проводит в высокоэнергетических планетарно-центробежных мельницах.

2. Методы и материалы

2.1. Экспериментальная часть

Для выполнения экспериментов были использованы порошки карбида вольфрама (ТУ 48-19-72-92), карбида титана (ТУ 1798-111-75420116-2006), а также нанодисперсный порошок карбида вольфрама компании «Yongwu».

В работе применяли порошок кобальта (чистотой 99.97 мас.%) со средним размером частиц 1.25 мкм производства компании «Nanjing Hanrui Cobalt Co, Ltd.» (Китай). Смешивание WC с Co осуществляли в шаровой вращающейся мельнице ударного действия с твердосплавной футеровкой при соотношении масс шары: материал = 2:1 в течение времени до 120 ч. В полученные смеси вводили пластификатор-раствор парафина марки П-2 (ГОСТ 23683-2021) в гексане (СТП ТУ КОМП 2-557-13). Для получения композиций WC-Co использовался также химико-металлургический метод осаждения слоев металла из растворов солей, позволяющий равномерно наносить на поверхность наночастиц WC ультратонкие слои кобальта.

Прессование проводилось на гидравлическом прессе модели TPA-80HS фирмы DORST (Германия). Высота прессовки составляла 5 мм. Для прессования двухкарбидных твердых сплавов была использована двухсторонняя схема приложения нагрузки. Давление формования составляло от 100-1000 МПа с шагом 100 МПа.

Спекание твердых сплавов системы WC-TiC-Co проводили в печах СТН 1.6 в атмосфере водорода. Температура спекания двухкарбидного твердого сплава составляла 1450-1600°C, время спекания 120 минут.

Испытания для определения предела прочности при трехточечном изгибе твердосплавных образцов проводили согласно ГОСТ 14019-80 на универсальной гидравлической установке марки LF-100KN 100 фирмы Walter + Bai AG (Швейцария) в автоматическом режиме с помощью персонального компьютера IBMPX. Скорость нагружения при проведении испытания составляла 2.5 мм/мин.

Твердость образцов определялась по методу Виккерса согласно ГОСТ 2999-75 - Метод измерения твердости по Виккерсу черных и цветных металлов и сплавов при нагрузках от 9.807 Н (1 кгс) до 980.7 Н (100 кгс).

Структура сплавов была определена с помощью микроскопа Zeiss AxioObserver 7 с программным обеспечением Thixomet (Германия).

3. Результаты и обсуждение

Формование твердосплавных смесей проводилось на гидравлических прессах при давлении прессования от 10 до 60 МПа. На рисунке 1 представлены результаты влияния давления формования и вида шихты на плотность прессовок системы WC-TiC-Co. Для исследований использовали: 1 стандартную шихту, содержащую 15% TiC, 6% кобальта в качестве связующего, 3% пластификатора, остальное WC; 2 шихту, содержащую 15% TiC, 6% кобальта, 3% пластификатора, 50% нанопорошка карбида вольфрама, остальное WC; 3 шихту, содержащую 15% TiC, 3% пластификатора, 50% нанопорошка карбида вольфрама, покрытого кобальтом в количестве 6%, остальное WC.

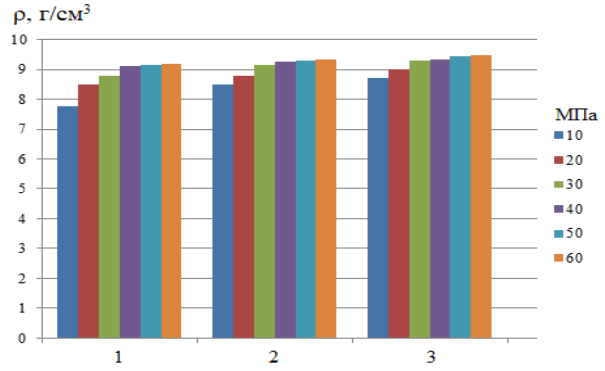


Рисунок 1. Влияние давления прессования и вида шихты для твердого сплава Т15К6 на плотность прессовок WC-TiC-Co (в пределах 10-60): шихта 1 – стандартная; 2 – с добавлением нанопорошка WC; 3 – с добавлением нанопорошка WC с осажденным кобальтом

Из представленных результатов видно, что плотность прессованных образцов твердых сплавов с нано-карбидами вольфрама находится в пределах 8.5-9.3 г/см^3, а с нано-карбидами вольфрама, покрытыми кобальтом 8.7-9.5 г/см^3. Наибольшая плотность прессовок наблюдается у образцов, содержащих нано карбиды вольфрама, покрытые кобальтом. По сравнению со стандартной шихтой она повысилась на 3.5%. В целом увеличение давления прессования в пределах 10-60 МПа незначительно сказывается на увеличении плотности прессовок твердого сплава, по сравнению со стандартными образцами из карбида вольфрама. Рекомендуемое давление прессования на гидравлическом прессе для формования твердосплавных смесей 50 МПа.

Как уже отмечалось, консолидация твердых сплавов является самой важной операцией в данной технологии. В процессе консолидации высокопористая заготовка, полученная на операции формования, превращается в практически беспористую заготовку, с остаточной пористостью 0.1-0.2%. Необходимо чтобы после проведения спекания данная заготовка отвечала всем требуемым характеристикам.

Для получения порошка с частицами размером 10-15 мкм спек измельчали в планетарно-центробежной мельнице «Активатор 4М». Результаты измельчения представлены в таблице 1.

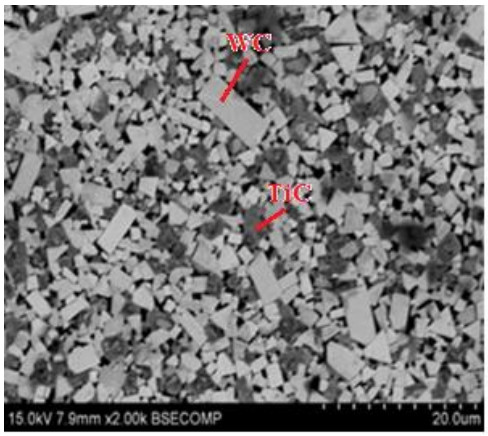
Наиболее благоприятный режим измельчения сложного титановольфрамового карбида протекает в планетарно-центробежной мельнице: скорость вращения диска – 200-300 об/мин; отношение массы шаров к массе шихте 10:1; продолжительность измельчения 15-30 мин. При этом образуется порошок сложного титановольфрамового карбида с частицами размером 8 мкм.

На рисунке 2а представлена структура сплава Т15К6 с крупным зерном после проведения спекания. Из представленной фотографии видно, что размер зерен WC составляет от 5 до 15 мкм, а размер зерен TiC от 3 до 8 мкм.

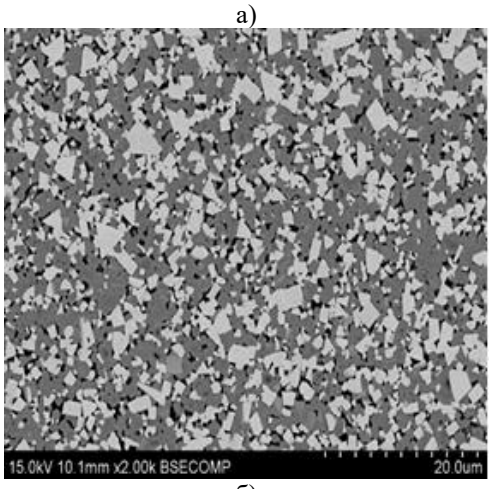
Таблица 1. Влияние режимов размола в планетарно-центробежной мельнице «Активатор 4М» на содержание железа и размер частиц титановольфрамового карбида

Скорость вращения диска, об/мин	Отношение массы шаров к массе шихты	Продолжительность размола, мин	Содержание, Fe, ч	Средний размер частиц, мкм
200	10:1	15	0.2	10
200	10:1	30	0.2	8
200	10:1	45	0.4	4
200	20:1	15	0.2	6
200	20:1	30	0.3	4
200	20:1	45	0.55	3
300	10:1	15	0.2	10
300	10:1	30	0.25	8
300	10:1	45	0.5	4
300	20:1	15	0.4	5
300	20:1	30	0.55	4
300	20:1	45	0.6	2
400	10:1	15	0.55	5
400	10:1	30	0.7	3
400	10:1	45	0.8	1,5
400	20:1	15	0.6	4
400	20:1	30	1.1	2
400	20:1	45	1.3	0.5

На рисунке 2б показана структура мелкозернистого твердого сплава Т15К6, где видно, что размер зерен WC не превышает 4 мкм, а размер зерен TiC от 1 до 3 мкм. Структура мелкозернистого твердого сплава Т15К6 равномерная.

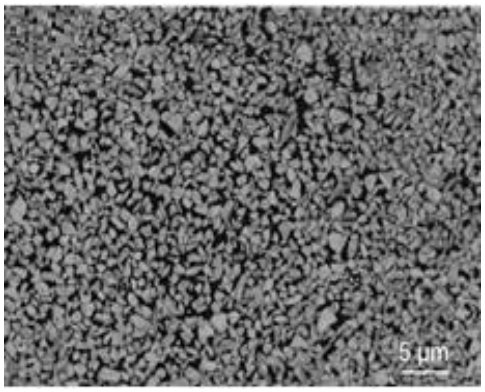


а)

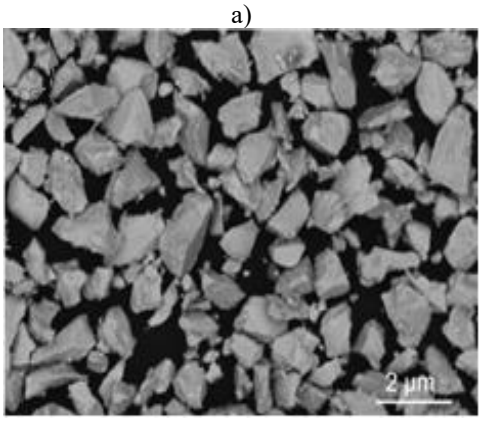


б)

Рисунок 2. Структура сплава Т15К6: а – крупнозернистый; б – мелкозернистый



а)



б)

Рисунок 3. Структура сплава Т15К6: а) с добавлением нанопорошка WC; б) с добавлением нанопорошка WC с осажденным кобальтом

Введение наноразмерных добавок WC либо нанопорошка WC с осажденным кобальтом позволяет получать мелкозернистую структуру с размером зерен не более 4-6 мкм (рисунок 3 а, б).

При спекании двухкарбидных твердых сплавов (Ti,W)C-Co наблюдаются округлые частицы. Такую округлую форму они приобретают из-за наличия жидкой фазы. Для этой системы характерна малая анизотропия и неполная смачиваемость.

При этом в процессе консолидации одновременно с перегруппировкой и изменением формы идет рост частиц карбида. Механизм роста карбида во многом зависит от степени кристаллографической анизотропии поверхностной энергии $\sigma_к$ и величины отношения $\sigma_к/\sigma_с$, определяющейся смачиваемостью данного твердого сплава.

При данной жидкофазной консолидации имеют место быть два механизма роста частиц карбида. Первый механизм - перекристаллизация через жидкую фазу, второй - коалесценция.

Коалесценция представляет собой срастание группы частиц карбида путем исчезновения внутренних границ между ними. Этот механизм не требует переноса вещества через жидкую фазу и осуществляется за счет диффузии твердых частиц принципиально так же, как и при твердофазном спекании.

Основной движущей силой жидкофазной консолидации будет минимизация поверхностной энергии, причем структура, полученная в результате консолидации, будет обусловлена анизотропией энергии межфазных границ системы. Также в результате кристаллографической анизотропии границ WC-TiC-Co имеет место преобладание

роста частиц твердой фазы и их скругление, если же имеет место высокой анизотропии, то эффективным способом минимизации поверхностной энергии системы является формирование их габитусной огранки, а это сказывается на изменении скорости роста частиц твердой фазы, заполнения пор и перераспределения связки.

Были исследованы такие свойства различных твердых сплавов системы WC-TiC-Co на основе Т15К6, как твердость по Бринелю шкала А, предел прочности при изгибе. Результаты испытаний по механическим свойствам твердых сплавов Т15К6: крупнозернистого, мелкозернистого, с введением в исходную шихту нанопорошка WC, а также при введении в исходную шихту нанопорошковой смеси WC-Co приведены на рисунках 4, 5.

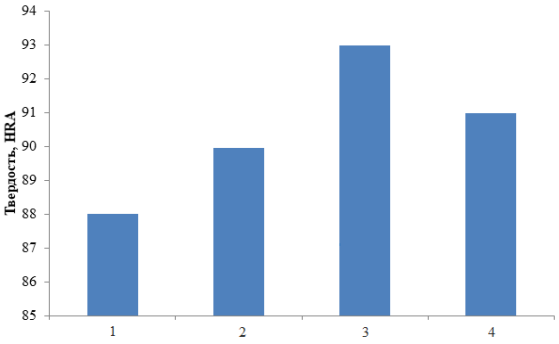


Рисунок 4. Твердость твердых сплавов системы WC-TiC-Co: 1 – крупнозернистый сплав Т15К6; 2 – мелкозернистый сплав Т15К6; 3 – сплав с добавлением нанопорошка WC; 4 – сплав с добавлением нанопорошка WC с осажденным кобальтом

Из приведенных на рисунке 4 данных видно, что мелкозернистый сплав Т15К6 и твердые сплавы с нанодобавками имеют более высокие показания твердости по HRA, чем стандартный крупнозернистый твёрдый сплав Т15К6. Сплав с добавлением нанопорошка WC с осажденным кобальтом имеет наиболее высокие показатели твердости по HRA.

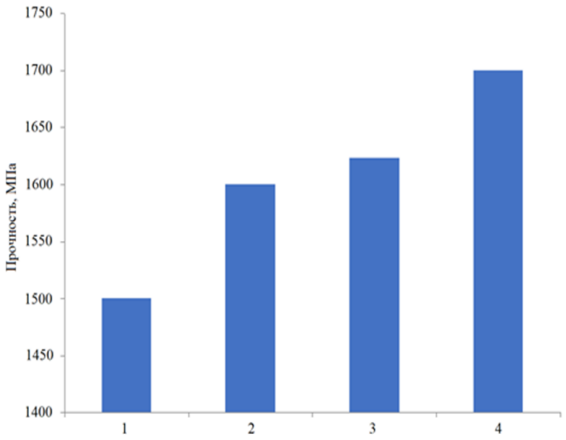


Рисунок 5. Предел прочности на изгиб твердых сплавов системы WC-TiC-Co: 1 – крупнозернистый сплав Т15К6; 2 – мелкозернистый сплав Т15К6; 3 – сплав с добавлением нанопорошка WC; 4 – сплав с добавлением нанопорошка WC с осажденным кобальтом

Как видно из результатов исследований по определению предела прочности на изгиб, максимальная прочность наблюдается у мелкозернистых твердых сплавов и соответствует 1600-1700 МПа. Введение наноразмерных добавок WC либо нанопорошка WC с осажденным кобальтом ведет к увеличению предела прочности на изгиб на 8-14%.

4. Заключение

В данной работе методом механохимического синтеза получена наноструктурная порошковая шихта WC-TiC-Co. Изучено влияние метода получения на фазовый состав консолидированных образцов WC-TiC-Co. Для увеличения прочностных свойств твердых сплавов системы WC-TiC-Co рекомендуется введение наноразмерных добавок WC либо нанопорошка WC с осажденным кобальтом, что ведет к увеличению предела прочности на изгиб на 8-14%. Введение наноразмерных добавок WC либо нанопорошка WC с осажденным кобальтом позволяет получать мелкозернистую структуру с размером зерен не более 4-6 мкм.

Литература / References

[1] Fal'kovskii, V.A, Kliachko, L.I. (2005). Hard alloys. *Ruda i metally, Moscow*

[2] Andrievskii, R.A, Ragulia, A.V. (2005). Nanostructured materials. *Akademiia, Moscow*

[3] Luo, R., Chen, N., Xiong, H. & Li, Z. (2020). Microhomogeneous WC-TiC-Co composite powders with enhanced sinterability via a two-step carburization method. *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials, (95), 105413.* https://doi.org/10.1016/j.ijrmhm.2020.105413

[4] Fang, Z., Maheshwari, P., Wang, X, Sohn, H., Griffo, A. & Riley, R. (2005). An experimental study of the sintering of nanocrystalline WC–Co powders. International Journal of Refractory Metals and Hard Materials, 23(4-6), 249-257. https://doi.org/10.1016/j.ijrmhm.2005.04.014

[5] Panov, V.S. (2015). Nanostructured sintered WC–Co hard metals (Review). *Powder Metallurgy and Metal Ceramics, (53), 643-654*

[6] Dong, B-X., Qiu, F., Li, Q., Shu, S-L., Yang, H-Y. & Jiang, Q-C. (2019). The Synthesis, Structure, Morphology Characterizations and Evolution Mechanisms of Nanosized Titanium Carbides and Their Further Applications. *Nanomaterials, 9(8), 1152.* https://doi.org/10.3390/nano9081152

[7] Krakhmalev, P.V., Sukumaran, J. & Gaard, A. (2007). How hardmetals react to wear: Nano is not always the best. *Metal Powder Report, 62(2), 30-35*

[8] Fal'kovskii, V.S. (2008). Innovations in hard alloy technology: nano- and ultrafine structures. *MITKhT im Lomonosova, Moscow*

[9] Terlikbaeva, A.Zh., Alimzhanova, A.M., Eremeeva, Zh.V., Mukhametzhanova, A., Maldybaev, G.K., Shayahmetova, R.A., Abedi, M. & Moskovskikh, D. (2022). Synthesis and Sintering of Tungsten and Titanium Carbide: A Parametric Study. *Metals, (12), 2144.* https://doi.org/10.3390/met12122144

[10] Borovskii, G.V., Blagoveshchenskii, Iu.V., Abramov, A.V. (2009). Nanostructured WC–Co hard alloys produced from plasma chemical powders. *17th International Seminar on Powder Metallurgy Materials, Reutte, Austria*

[11] Zaitsev, A.A., Vershinnikov, V.I., Panov, V.S. (2013). News of universities. *Powder Metallurgy and Functional Coatings, (3), 21-27*

[12] Buravlev, I.Yu., Shichalin, O.O., Papynov, E.K., Golub, A.V., Gridasova, E.A., Buravleva, A.A., Yagofarov, V.Yu., Dvornik, M.I., Fedorets, A.N., Reva, V.P., Yudakov, A.A. & Sergienko, V.I. (2021). WC-5TiC-10Co hard metal alloy fabrication via mechanochemical and SPS techniques. *International Journal of*

Refractory Metals and Hard Materials, (94), 105385. https://doi.org/10.1016/j.ijrmhm.2020.105385
[13] Mccandlish, L.E., Kear, B.H. & Bhatia S.J. (1994). Mixing tungsten and cobalt compounds, drying to form homogeneous precursor powder, thermochemically converting in carburizing gas. *Patent § 5352269 A (US)*
[14] Conner, C.L. (1997). Proceedings of 14th International Plansee Seminar, Austria. *RWF Werbegesellschaft*
[15] Hojo, J., Oku, T. & Kato, A.J. (1978). Less-Common Metall. 59(1), 85
[16] Wan, C-W., Chen, B-S. & Sohn, H.Y. (1993). Preparation of ultrafine tungsten carbide powder by CVD method from WCl6–C2H2–H2 mixtures. *Journal of Materials Research, (8), 2702-2708.* https://doi.org/10.1557/JMR.1993.2702
[17] Panov, V.S., Chuvilin, A.M. & Fal`kovskij, V.A. (2004). Texnologiya i svojstva spechenny`x tverdy`x splavov. *M.: MISiS*
[18] Fang, Z.Z., Eason, J.W. (1995). Study of nanostructured WC-Co composites. *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials, 13(5), 297-303.* https://doi.org/10.1016/0263-4368(95)92675-A
[19] McCandlish, L.E., Kear, B.H. & Kim, B.K. (1992). Processing and properties of nanostructured WC-Co. *Nanostructured Materials, 1(2), 119-124.* https://doi.org/10.1016/0965-9773(92)90063-4
[20] Gille, G., Szesny, B., Dreyer, K., van den Berg, H., Schmidt, J., Gestrich, T. & Leitner, G. (2002). Submicron and ultrafine grained hardmetals for microdrills and metal cutting inserts. *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials, 20(1), 3-22.* https://doi.org/10.1016/S0263-4368(01)00066-X
[21] Bartha, L., Atato, P. & Toth, A.L. (2000). Investigation of HIP-Sintering of Nanocrystalline WC/Co Powder. *Journal of Advanced Materials, 32(3), 23-26*

Карбид дәні бойынша біртекті ұсақ түйіршікті қатты қорытпаларды алу

А.Ж. Терликбаева[1*], А.М. Алимжанова[1], Р.А. Шаяхметова[1], А.А. Мухаметжанова[1], Г.К. Малдыбаев[1], Б.Т. Сахова[1], А.Н. Куандыкова[1], Ж.В. Еремеева[2]

[1]*Қазақстан Республикасының минералды шикізатты қайта өңдеу жөніндегі ұлттық орталығы, Алматы, Қазақстан*
[2]*МИСИС ғылым және технологиялар университеті, Мәскеу, Ресей*

**Корреспонденция үшін автор: aliyuchca@mail.ru*

Аңдатпа. Жұмыстың өзекті мәселесі - қаттылығы мен беріктіктілігі жоғары ұсақ карбидті дәндері бар біртекті қатты қорытпаларды алу. Зерттеулер қатты қорытпалардың ең қолайлы фазалық құрамдарын және оларды өндірудің ең ұтымды техникалық әдістерін анықтау үшін жүргізілді.

Бұл ғылыми жұмыста механика – химиялық синтез әдісімен WC-TiC-Co нанокұрылымдық ұнтақ шихтасы алынды. Наноөлшемді WC ұнтағы мен тұндырылған Co наноұнтағы шар тәрізді планетарлық диірменде араластыру арқылы қатты қорытпа шихтасына қосылды. Ұнтақты шихтаны 100-1000 МПа қысыммен престеу процесі, сондай-ақ 1450-1600°С температурада біріктіру процесі жүргізілді. WC-Co қатты қорытпасын алу үшін тұз ерітінділерінен металл қабаттарын тұндырудың химия-металлургиялық әдісі қолданылды. Рентгендік құрылымдық талдау және сканерлеуші электронды микроскопия әдістерімен зерттелді. WC-TiC-Co үлгілерінің тұрақты фазалық құрамын алу әдісінің әсері қарастырылды. Бұл қатты қорытпалардың микроқұрылымында (Ti,W)C кристалларалық бөлшектер байқалады және сұйық фазаның болуы дөңгелек пішінге әкелуі мүмкін. Наноөлшемді WC ұнтағын қосу престеу тығыздығының жоғарылауына әкелетіндігі анықталды. Тұндырылған Co бар наноөлшемді WC қоспаларын немесе WC наноұнтағын қосқанда дән мөлшері 4-6 мкм аспайтын ұсақ түйіршікті құрылымды алуға мүмкіндік беретіндігі анықталды. Тұндырылған Co бар WC наноұнтағын қорытпаға қосу Бринель қаттылығы бойынша ең жоғары көрсеткіштерге ие екендігі анықталды, сонымен қатар бұл иілу беріктігінің жоғарылауына әкеледі.

Негізгі сөздер: *ұсақ түйіршікті, біріктіру, қатты қорытпалар, фаза, карбид, тығыздық.*

Получение однородных по карбидному зерну мелкозернистых твердых сплавов

А.Ж. Терликбаева[1*], А.М. Алимжанова[1], Р.А. Шаяхметова[1], А.А. Мухаметжанова[1], Г.К. Малдыбаев[1], Б.Т. Сахова[1], А.Н. Куандыкова[1], Ж.В. Еремеева[2]

[1]*Национальный центр по комплексной переработке минерального сырья Республики Казахстан, Алматы, Казахстан*
[2]*Университет науки и технологий МИСИС, Москва, Россия*

**Автор для корреспонденции: aliyuchca@mail.ru*

Аннотация. Актуальной задачей данной работы является получение однородных твердых сплавов с мелкими карбидными зернами, сочетающих высокую твердость и прочность. Исследования осуществлялись для установления наиболее благоприятных фазовых составов твердых сплавов и наиболее рациональной технической методики их производства.

В данной научной работе была получена наноструктурная порошковая шихта WC-TiC-Co методом механохимического синтеза. Наноразмерный порошок WC и нанопорошок с осажденным Co добавляли в шихту твердого сплава путем смешивания в шаровой планетарной мельнице. Был применен процесс прессования порошковой шихты при давлении 100-1000 МПа, а также – процесс спекания при температуре в пределах 1450-1600°C. Для получения твердого сплава WC-Co был применен химико-металлургический метод осаждения слоев металла из растворов солей. Были применены рентгеноструктурный анализ, и сканирующая электронная микроскопия. Изучено влияние метода получения на фазовый состав консолидированных образцов WC-TiC-Co. В микроструктуре этих твердых сплавов наблюдаются межкристаллические частицы (Ti,W)C, а присутствие жидкой фазы может привести к округлой форме. Установлено, что добавление наноразмерного порошка WC приводит к увеличению плотности прессовок. Выявлено что, при добавлении наноразмерных добавок WC либо нанопорошка WC с осажденным кобальтом дает возможность получить мелкозернистую структуру с размером зерен не более 4-6 мкм. Было установлено, что добавление в сплав нанопорошка WC с осажденным кобальтом имеет наиболее высокие показатели твердости по Бринелю, к тому же это приводит к увеличению предела прочности на изгиб.

Ключевые слова: *мелкозернистость, спекание, твердые сплавы, фаза, карбид, плотность*.

Received: 19 January 2022
Accepted: 15 June 2023
Available online: 30 June 2023

SATBAYEV UNIVERSITY

Engineering Journal of Satbayev University

Volume 145 (2023), Issue 3, 19-24

https://doi.org/10.51301/ejsu.2023.i3.03

The main characteristics of the development of ores of the gold-bearing Vasilkovskoye deposit

G.E. Askarova[1*], A.B. Begalinov[1], M.R. Shautenov[1], K. Amantaiuly[2]

[1]*Satbayev University, Almaty, Kazakhstan*

[2]*Al-Farabi Kazakh national university, Almaty, Kazakhstan*

**Corresponding author: askarova_guljan@mail.ru*

Abstract. In the article, the continuous growth in the development of the gold mining industry in our country, the growth in the consumption of metals and other minerals justify the search for and development of new minerals, the development of new efficient technological schemes for mining. processing of minerals, development of new types of raw materials from difficult-to-enrich ores. Research is aimed not only at the preparation and development of new deposits, the determination of the enrichment of gold-bearing ores, but also at the theoretical development of methods for separating the components of mineral raw materials.

There are more than 2.000 gold deposits in the Republic of Kazakhstan. Over the past two decades, studies of the structure of gold-bearing raw materials show an increasing trend in the extraction of ores.

The continuous growth in the rate of development of the gold mining industry, the increase in the consumption of metals and other minerals justify the search for and development of new minerals, the development of new efficient technological schemes for the processing of minerals, the development of new types of raw materials from hard-to-enrich ores. Research is aimed not only at the preparation and development of new deposits, the determination of the enrichment of gold-bearing ores, but also at the theoretical development of methods for separating the components of mineral raw materials. In the last two or three decades, the proportion of gold obtained from technologically simple gold ores has been steadily declining. In nature, gold occurs mainly in the form of a native metal, intermetallic compounds and minerals containing gold, silver, copper, iron, mercury, bismuth, platinum, palladium, iridium, rhodium and gold gelluride minerals. In addition, gold occurs in the form of compounds with organic acids.

Keywords: *raw materials, gold, deposit, enrichment, minerals, technological schemes, mineral, size class.*

1. Кіріспе

Қазақстан Республикасы аумағында құрамында алтыны бар кен орындар жеткілікті. Алтын бастапқы құрамында болатын алтын кен орындарында да, сонымен қатар түсті металдар өндірісінде де шикізат құрамдас бөлігі ретінде өндіріледі. Дүниежүзілік алтын кеңесінің мәліметтері бойынша, Қазақстанның 2019 жылғы маусымдағы қорының көлемі 375.34 тоннаны құрайды (әлемде 15-ші орын).

Қазіргі уақытта Қазақстанда 100-ге жуық әртүрлі компанияның алтын кен орындарын өндіру және игеру құқығы бар, олардың 35-ке жуығы ірі көлемде алтын өндірумен айналысады. Солардың бірі: «Алтыналмас» ААҚ, «Майкайналтын» ААҚ, «Бақыршық ЖДП» ЖШС, «Шаралтын» ЖШС, «ГРК АБС Балхаш», «ГМП Пустынное» ЖАҚ, «ГРК Алтын төбе» ЖАҚ, «Кен» компаниясы, «ФИК Алел» ААҚ, «ГРК Андас Алтын» ЖШС, «Қазақалтын» ММК «Алтын» ЖАҚ, Аймақ [1,2].

Соңғы екі онжылдықта құрамында алтыны бар шикізаттың құрылымын зерттеу, қиын өңделетін кендерді өндірудің ұлғаю тенденциясы бар екенін көрсетеді.

Алтын өндіру өнеркәсібінің даму қарқынының үздіксіз артуы, металдар мен басқа да пайдалы қазбаларды тұтынудың өсуі жаңа минералдық ресурстарды іздестіруді және игеруді, пайдалы қазбаларды өңдеудің жаңа тиімді технологиялық сұлбаларын әзірлеуді, байытылуы қиын кендердегі шикізаттың жаңа түрлерін игеруді негіздейді. Зерттеулер жаңа кен орындарын дайындауға және игеруге, құрамында алтыны бар кендердің байытылуын анықтауға ғана емес, сонымен қатар минералды шикізат компоненттерін заманауи әдістермен бөліп алудың теориялық негізін әзірлеуге де бағытталған. Соңғы екі-үш онжылдықта технологиялық тұрғыдан қарапайым алтын кендерінен алынған алтынның үлесі тұрақты түрде азайып келеді. Табиғатта алтын көбінесе табиғи металл, металл аралық қосылыстар және құрамында алтын, күміс, мыс, темір, сынап, висмут, платина, палладий, иридий, родий және алтын геллурид бар минералдар түрінде кездеседі. Сонымен қатар, алтын органикалық қышқылдары бар қосылыстар түрінде де кездеседі.

Табиғи алтын ешқашан химиялық таза емес және құрамында 50% қоспалар болады. Алтындағы бөгде қоспалардың болуы оның сапасы мен қасиеттеріне күрт әсер етеді. Мысалы, мышьяк, қорғасын, платина, кадмий, висмут, теллур алтынға сынғыштық береді, бұл кен дайындау үрдісінде алтынның асыра ұнтақталуына және

© 2023. G.E. Askarova, A.B. Begalinov, M.R. Shautenov, K. Amantaiuly
Engineering Journal of Satbayev University. eISSN 2959-2348. Published by Satbayev University
This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/), which permits unrestricted reuse, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

бөлуге бірқатар әсер етеді. Сонымен қатар, табиғи алтын түйіршіктері темір оксидтері мен тау жыныстары минералдарының қабыршықтарымен («кабаттармен») жабылуы мүмкін, бұл шаймалау мен цианидтау кезінде алтынды бөліп алуды қиындатады. Табиғи алтынның тығыздығы жоғары – 15.5-тен 19.7 т/м^3 дейін.

Сонғы кездері дүние жүзінде құрамында мышьяк бар алтын кендерінің кең таралған кен орындары – мышьяк-мыс, мышьяк-алтын, мышьяк-полиметалл, мышьяк-қалайы, мышьяк-кобальт және мышьякты (арсенопирит және реалгар-аурипигмент) кен орындары игерілуде. Мұндай сипаттағы кенорындар негізінен Оралда, Қиыр Шығыста, Кавказда, Забайкальеде, Орта Азияда және Қазақстанда кездеседі. Қазіргі таңда Қазақстанда мұндай кенорынның 30-ға жуығы ашылды, олардың көпшілігі құрамында алтыны бар шикізатқа жатады.

Қазақстандағы ірі алтын кен орны – Васильков кен орны. Алтынның қоры шамамен 370 тонна, кендегі металл мөлшері 2.8 г/т. Көкшетау қаласынан солтүстік-батысқа қарай 17 км жерде орналасқан. Бүгінде ол «Алтынтау» компаниялар тобының активтерінің құрамына кіреді. Кенорыннның құрылысын Қазақстан үкіметі мен голландиялық Fooldgate Holding компаниясы құрған «Васильков алтын» ААҚ бірлескен кәсіпорны жүргізіп жатыр. Кен орнының геологиясы және кенорынкендерінің жарамдылық сапасы жақсы зерттелген. Кен орнының геологиясы бойынша жалпы, Васильков алтын кенінің ауданы Солтүстік Қазақстанда Көкшетау орта массивінің аумағында орналасқан. Ол солтүстік-батыс, солтүстік-шығыс және ендік бағыттардың өңірлік ақауларының қиылысу торабымен және екінші ретті күмбездермен күрделенген өлшемі 55х30 км солтүстік Көкшетау эллипсоидты күмбезді-сақиналы құрылымымен болып келеді. Кен орнын суландыруға интрузивті жыныстар - гранодиориттер, диориттер, габбро-диориттер және т.б. сулы кешен қатысады. Васильков кен орнының ерекшелігі - ондағы жыныстардың күрт біркелкі жарықшақтылығы бар және тиісінше, жерасты суларының сүзгіш қасиеттерінің жоғары өзгергіштігі бар бұзылулар жүйесі өте күрделі тектоникалық блоктарға ұштасуы болып табылады. Барлау шахтасындағы ең жоғары су деңгейі 66.4 л/с жетті. Кенорында дренаждық сулардың минералдануы 0.9-ден 2.0 г/дм^3-ге дейін өзгереді, химиялық құрамы бойынша гидрокарбонатты-хлоридті кальцийлі-магний-натрийлі басым. Кен орнын өңдеу соңында минералдандыру 3 г/дм^3 дейін артады, су хлоридті-натрийлі болып келген. Васильков кенорынның кен қоры бойынша карьеріндегі С1 қор санатының қорлары кен және алтын бойынша карьердегі жалпы көлемінің 83-84% құрайды. Карьердегі жіктеу бойынша (С1+С2) қорлары орта шамамен 70% құрайды, қалған бөлігі болжамды санатқа жатады. Кен орнындағы қорларды есептеу арнайы Micromine (ММ) бағдарламасының көмегімен геостатистиканы қолдану арқылы блокты модельдеу әдісімен жүргізілген. Кенорынның 01.01.2013 жыл бойынша баланстық қорлары 1-кестеде келтірілген [1,2].

Баланстан тыс кендердің есептелген қорларын назарға алу қажет. Ашық әдіспен өндіру үшін С1+С2 санаттары: кен 38 296.3 мың тонна, алтын 24 505.2 кг, 0.64 г/т құрайды. Жерасты әдіспен өндіру үшін С1+С2 санаттары: кен 30 092.9 мың тонна, алтын 49 952.3 кг, 1.66 г/т тең.

Кесте 1. 01.01.2013 жыл бойынша баланстық қорлар

Көрсеткіш	Санат	Баланстық кендер		
		Кен, т	Au, г/т	Au, кг
карьер тереңдігі 450 м дейін	C_1	73 955.2	2.58	190 650.2
карьер тереңдігі 450 м дейін	C_2	18 251.4	2.34	42 644.6
Барлығы, карьер C_1+C_2		92 206.5	2.53	233 294.8
жерасты (-425) м горизонтына дейін өңдеу	C_1	369.6	3.29	1 216.3
жерасты (-425) м горизонтына дейін өңдеу	C_2	19 204.0	3.90	74 958.9
жерасты (-425) м горизонтан төмен өңдеу	C_2	885.8	3.06	2 707.0
жер асты қазу жиыны C_1+C_2		20 459.4	3.86	78 882.2
Барлығы C_1+C_2		112666.0	2.77	312 177.0

Игерілетін кен орнындағы қосымша әр түрлі геологиялық барлаудың мақсаты кенорынды кеңейту, кенорынның мерзімін ұзарту, минералдық-шикізаттық базасы болып табылады, сонымен қатар кенорындарда әртүрлі қосымша барлаулар жүргізіледі, мысалы кеннің түрін және объектілерін зерттеу, кен орнының нашар зерттелген учаскелері бағалау, сондай-ақ іргелес келешегі бар аймақтар кендегі бағалы заттың пайыздық үлесі үнемі тексеру.

Кенді өндіру жағдайлары мен кен денелерінің жатқан тереңдігі 450 м құрайтын тереңдікте ашық әдіспен өндіріледі. Карьердің негізгі параметрлеріне мыналар жатады: жер беті бойынша карьердің ұзындығы және ені, карьердің табанының ұзындығы мен ені, карьер тереңдігі, карьердің соңғы контурларындағы тау-кен массасының және аршыма жыныстарының көлемі, карьерде жұмыс жасалынатын және жасалынбайтын ернеуінің беткей бұрышы.

Карьерді қазу кезінде игеру жүйесінің келесі параметрлері қабылданды:

- кемер биіктігі – 15 м, соңғы контурды өтеу кезінде 30 м қосарланған, кен аймағында өңдеу жұмыстарын жүргізу үшін 7.5 м бойынша жүргізіледі;
- жұмыс жасалатын кемерлерінің бұрыштары 65÷70°;
- соңғы контурдағы кемерлер еңістерінің бұрыштары бетінен 220 м белг.дейін - 40°; 220 м белг. 205м дейін - 50°; 205 м белг. 175 м дейін -55°; 175 м белг. 115 м дейін -60°; 115 м белг. -5 м дейін -65°; -5 м белг. -215 м дейін - 70°;
- сақтандыру бермасының ені - 10 м;
- көліктік бермасының ені - 25 м.
- конвейерлік берманың ені - 25 м;
- автокөлік бермасың бойлық еңістігі - 10%;
- конвейерлік берманың бойлық еңістігі - 13.2%;

Соңғы контурдағы кемерлерді өтеу 30 м құрайды, бірақ уақытша кемерлер биіктігінің әрбір 15 м сайын горизонттарды өңдеу кезінде 10 м уақытша сақтандырғыш бермалар қалдырылады (төменде сұлбада көрсетілген) [3,4].

Жұмыс деңгейжиектерін ашу арнайы қазбалармен арқылы жүргізіледі. Тау-кен пайдалы қазбаларды тасымалдау үшін әрбір деңгейжиек көлбеу күрделі оржолмен ашылуы керек, ол ашылатын деңгейжиектің биіктік белгісін жұмыс жүргізіліп жатқан деңгейжиек пен жер бетінің биіктік белгілерімен қосылған. Оржол жер бетінен қазылған ор тәрізді қазба оның түбі топырақ қабатымен бүйірлері көлбеу жазықтықтарымен ені

бойынша – оның бүйірімен шектелген. Оржол жағдауының жазықтыққа көлбеу бұрышы оржол жағдауының қиябет бұрышы деп аталады. Ол бұрыштың мәні кемердің қиябет бұрышы сияқты оржол жүргізілетін жыныстардың не пайдалы қазбаларының беріктігіне байланысты болады. Оржолдар көлбеу және жазық оржолдар болып бөлінеді. Қазіргі уақытта Васильков кенорны көлбеу оржолдармен ашылған. Ашудың осы тәсілі кезінде, жоғарыда жатқан горизонттан, төменгі жатқан кемер белгісіне дейін тілме оржолы жүргізіліп, деңгейжиекті тазалап қазып алуға байланысты дайындайтын горизонтальды тілме оржолы жүргізіледі. Тау-кен жұмыстарының дамуына қарай, жоғарыда жатқан горизонттардан төменгі горизонттарға тілме оржолы жүргізіледі, бұл ретте өтетін ор көлденең алаңның оржол бөліктерінің арасында болған кезде, жатқан ордың жоғары жалғасуы болып табылады [5,6].

2. Негізгі бөлім

2.1. Жұмыстың өзектілігі

Жер қойнауындағы дүниежүзілік алтын қорының үлесі 40%-дан астамды құрайды, сарапшылардың пікірінше, осы салада қиын байытылатын алтыны бар шикізатты өңдеу жақын болашақтың өзекті міндеті болмақ. Васильковск кенорнының алтын құрамды кендерде мышьяк мөлшерінің артуы олардан алтынды байыту және құрамындағы пайдалы компоненттерді бөліп алу кезінде жаңа мәселе тудырады. Асыл металдарға деген сұраныстың артуына байланысты қазіргі таңда қиын байытылатын алтын құрамды кендерді байыту өнеркәсіптік пайдалануға сұраныстың артуына байланысты олардың валюталық өсуі сапасыз және қиын байытылатын алтын шикізатты өңдеуге де әкеп соғады, сонымен қатар қоршаған ортаны қорғау талаптарын күшейту қажет болады. Сондықтан жаңа технологиялық сұлбаларды, заманауи өндірістік байыту әдістерін құру мәселесі ең өзекті болып табылады.

2.2. Жұмыстың мақсаты

Васильковск кен орнының қиын байытылатын алтынқұрамды кенінің физика-химиялық қасиеттерін анықтау және заманауи байыту әдістерін пайдалана отырып, өндіру технологиясын жасақтау, сондай-ақ өңдеу үрдістерінің оңтайлы режимдерін анықтау процесті оңтайландыру бағдарламасы бар математикалық моделін құру болып табылады. Сонымен қатар, осындай кендерден алынған алтынның үлесі артады, оларды тиімді өңдеу гравитациялық, флотациялық байыту, күйдіру, балқыту, шаймалау және т.б. операцияларды қамтитын едәуір күрделі және дамыған сұлбаларды қолдануды қажет етеді. Құрамында алтыны бар кендерді технологиялық зерттеу, негізінен, кендердің нақты құрамын және олардан асыл металдар мен басқа да құнды компоненттерді алу технологиясын анықтау үшін қажетті талдаулар мен эксперименттер жүргізуден тұрады.

Зерттеудің түпкі мақсаты қауіпсіздік талаптарын сақтай отырып, экономикалық жағынан тиімділігі жоғары барлық өнеркәсіптік құнды компоненттерді алтын құрамды кендерден максималды түрде бөліп алу технологиясын жасау. Құрамында алтыны бар кендерді технологиялық зерттеу, негізінен, кендердің нақты құрамын және олардан асыл металдар мен басқа да құнды компоненттерді алу технологиясын анықтау үшін қажетті талдаулар мен эксперименттер жүргізуден тұрады. Васильков кенорнын зерттеудің түпкі мақсаты-қауіпсіздік техникасы мен зерттеу объектілері туралы талаптарды сақтай отырып, экономикалық тиімділігі жоғары барлық өнеркәсіптік құнды компоненттерді кендерден максималды бөліп алу технологиясын әзірлеу болып табылады.

Байыту үдерісі - бұл жеке элементтер өзара байланысты болатын біртұтас жүйе. Жүйе элементтерінің өзара әрекеттесуі ескерілетін жүйелік тәсілді ескере отырып, жоғары нәтижелерге қол жеткізуге болады, яғни бұл жағдайда бірнеше үдерістердің толық жиынтығы алтын құрамды кендердің байыту сұлбалары мен режимдері олардың минералдық құрамына, тағы басқа қасиеттеріне байланысты.

2.3. Зерттеу нысаны

Зерттеу нысаны ретінде байытылуы қиын алтын құрамды Васильков кенорны болып табылады. Бұл кен орнындағы бос алтын бөлшектерінің негізгі бөлігі 20 мкм-ден аз. Кен орнының осы түрінің байытылуы қиын алтын құрамды кендер қатарына жатқызамыз [1-2]. Бұл кеннің ерекшеліктері, әдетте, пирит, арсенопиритке немесе басқа сульфидтерге қиылысатын және сульфидтердің минералды бөлшектерінің ішінде ашылмайтын жұқа дисперсті алтынның түйіршігінің болуы. Бұл кен орнының технологиялық сынамалары әртүрлі дәрежеде механикалық ұсату және ұнтақтау кезінде алтын құрамды минералдардың және сондай -ақ тау жыныстарын құрайтын минералдар кварц, плагиоклаз, калий дала шпаты, биотит, серицит, хлорит, флюорит; магнетит, ильменит минералдарынан алтынды олардан бөліп алуды қиындататын қоспалардың болуына немесе олардың болмауы, сондай-ақ алтын бөлшектерінің сеппелігіне байланысты. Бұл аталған кенорында алтыннан басқа негізгі пайдалы компонент, кен минералдарының ішінде арсенопирит пен пирит едәуір мөлшерде байқалады, ал пирротин, висмутин, халькопирит, марказит, кенде табиғи висмутта кездеседі. Табиғи сап алтынның жалпы қоспалары - күміс, темір және мыс т.б. жатады [3,4].

Алтын түсі әртүрлі ақтан, ашық сарыдан қызғылт сарыға өзгереді. Алтын түстердің мөлшері микрометрдің үлесінен 60 микрометрге дейін өзгереді; олардың кендегі негізгі массасы (шамамен 60%) 3-12 микрометрді құрайды. Әр түрлі ірілік кластарда алтындардың мөлшері әр түрлі. Кварцта олар микрометрдің бөліктерінен 10-12 микрометрге дейін өте жұқа қосылыстар түзеді, кейде 30-ға жетеді. Тұрақты кендерден алтын алу технологиясын әзірлеу бойынша әртүрлі зерттеулер Васильков кенорнында жүргізілді. Кендерде, сондай-ақ, мышьяктың болуы және жұқа дисперсті алтын түйіршіктерінің болуы алтынды бөліп алу үдерісін қиындатады. Зерттеудің негізгі маңызы, қиын байытылатын алтын кендерін байыту туралы жаңа білім алу қажеттілігімен, ресурстық базасын дамыту қажеттілігімен, атап айтқанда жер қойнауы объектілерін экономикалық тұрғыдан тиімді технологиясын құрумен байланысты [5,6].

Алтын кендерінің байытылымдылығын зерттеудің мақсаты:

1. Қиын байытылатын алтын кендерін және олардың концентраттарын өңдеудің заманауи әдістерін талдау;

2. Зерттелетін кеннің минералдық құрамының ерекшеліктерін зерттеу;

3. Байыту кезінде байытудың әр түрлі сатысында алтынның алынуын жоғарылату және жоғалтуларды азайту мақсатында болжамды модельдерді әзірлеу және процесс параметрлерін негіздеу үшін модельдеуді пайдалану.

4. Байыту кезеңіндегі технологиялық көрсеткіштер бойынша тәжірибелік түрде анықтау.

5. Байыту технологиялық параметрлерінің әсерін теориялық зерттеу (ұсақту ұнтақтау, қолданатын реагенттердің шығыны және олардың түрлері және т.б.);

6. Құрамында алтыны бар кендерді өңдеудің тиімді сұлбасын жасау және оны жүзеге асыруды экономикалық түрде бағалау болып табылады.

Құрамында алтыны бар кендердің технологиялық ерекшеліктері бөліп алу әдістерін анықтайтын көптеген талдаулардың жиынтығы бар байыту әдістерінде және оларды байыту сұлбаларында сипатталады. Технологиялық ерекшеліктердің ішіндегі ең маңыздылары:

- алтынның мөлшері, пішіні, кен түзуші минералдар, химиялық және минералогиялық құрамы, алтын және алтыннан басқа өнеркәсіптік бағалы компоненттердің болуы. Алтын құрамды кендерді бағалау және бөлу әдістерін таңдау үшін байыту өзінің сапалық сипаттамаларына ие болатын пайдалы компоненттер және сонын ішінде, ең алдымен, алтынның мөлшері оны пайдалануға мүмкіндік береді, сондай ақ өндеуді қамтамасыз ететін ең озық әдістерді пайдалану арқылы алтыннан басқа бағалы металдарды қоса байытып бөліп алу. Алтын құрамды кендерді байытылуын зерттеуде тәжірибелік не теориялық мәселелерді шешуге көптеген эксперименгтік және аналитикалық, операциялардың жиынтығы колданылады. Көпшілік жағдайда кеннің байытылуын зерттеу мына бағыттарда жүргізіледі:

1) жаңа табылған кен орнынан шығатын қазбаның байытылуын технологиясын жасау;

2) қазіргі кезде жұмыс істейтін байыту фабрикасында қолданылатын технологиясын жетілдіру;

3) жетілдірілген заманауи, не жаңадан жасалған аппараттарды сынақтан өткізу;

4) флотациялық жаңа реагенттерді синтездеу, олардың минералдар бетімен әрекет механизмдерін анықтап, тәжірибелік сынақтардан өткізу.

Бұлардың ішіндегі ең манызды роль аткаратың зерттеу жұмысына жаңадан табылған қазба байлыктың байыту технологиясын жасау жатады.

Сондыкган, бұл мақалада сай қазбаның байыту технологиясын жасауда орындалатын зерттеу кезеңдері қаралып, әр кезеңде жүргізілетін жұмыстардың мазмұндары келтіріледі. Ол кезеңдерге жататындар:

1) технологиялық сынамаларды алу тәсілдері;

2) бастапқы сынаманы өндеу тәсілдері;

3) кеннің затты-минералды құрамын зерттеу, соның нәтижесінде тиімді деп саналатын байыту әдісін және байыту схемасын таңдау;

3) байыту әдісіне және схемаға сәйкес қолданылатын операциялардың режимдерін зерттеу;

4) лабораториялық зерттеулер таңдалған технология бойынша тәжірибелерді тұйық циклде жүргізу;

5) жасалған технологияны жартылай өндірістік сынақтан өткізу. Пайдалы қазбалардың кен орындарының көпшілігінде кен біркелкі қасиетті болмайды және кеннің әртүрлі типтері бірге кездесіп отырады. Олардың әрқайсысы әртүрлі байыту әдістерін және байыту сұлбаларын қолдануды кажет етеді. Олар тек бағалы компоненттердің түрлерімен ғана емес, сонымен қатар минералогиялық құрамдарымен, сепкілдіктерімен, текстуралық ерекшеліктерімен сипатталады. Сол сияқты кен орнында қоры және қасиеттері жағынан айтарлықтай айырмашылықтары бар бірнеше кен денелері кездеседі. Олардын келешекте қалай пайдаланылатындары алдын ала жүргізілетін технологиялық карталау нәтижесінде анықталады. Соны жүргізу арқасында келешекте байыту фабрикасында кен орнының әр жерінен алынатын кен бірге қосылып байытылама, не тек жеке байыту кажеттігі сияқты мәселелер шешіледі.

Кенді байытудың мақсаты: минералды шикізатты байытудың интеграцияланған технологиясын қолдана отырып, қиын байытылатын алтын кендерін өңдеудің зерттеулерін жүргізу. Кеннің тиімді байыту әдісін таңдау оның барлық қасиеттерін жан жақты зерттеп білумен тікелей байланысты. Осы мақсатпен көптеген талдау әдістері қолданылады. Олардың ішінде кенді байыту әдісін талдауға тікелей қатысы бар талдауларға жататындар: химиялық (элементті), спектральды, минералогиялық, фазалық және аспапты талдаулар. Кеннің тиімді байыту әдісін таңдау оның барлық қасиеттерін жан жақты зерттеп білумен тікелей байланысты. Осы мақсатпен көптеген талдау әдістері қолданылады. Олардың ішінде кенді байыту әдісін талдауға тікелей қатысы бар талдауларға жататындар: химиялық (элементті), спектральды, минералогиялық талдаулар. Зерттеу әдістемесі пайдалы қазбаларды өңдеудің теориялық негіздеріне негізделді. Әр талдау әдісі қолданылғанда алға үш мақсат қойылуы қажет: талдау не үшін жүргізіледі, жүргізу методологиясы және талдау нәтижесінде алынған деректерден қорытынды шығару. Көптеген кен түрлерінде бірсыпыра бағалы компоненттер бірнеше минералдар түрінде кездеседі. Осы мақсат үшін компоненттің кенде тек жалпы пайызды үлесін білу жеткіліксіз, оның әр минералдың үлесіне тиетін мөлшерін білу керек.

Кен және байыту өнімдерінің материалдық құрамын зерттеу үшін химиялық, минералогиялық және т.б. зерттеулер жүргізілді (кестелер 2 және 3) [1,2].

Кесте 2. Зерттелетін кендегі алтынның рационалды құрамы

№	Алтынның бірлесу нысаны	Бағалы заттың үлесі, г/т	Бөліп алу дәрежесі, %
1	Сап алтын	6.6	68.75
2	Сульфидтер мен тау жыныстары бірге	2.1	21.87
3	Сульфидтермен байланысқан түрі	0.64	6.67
4	Тау жыныстарымен байланысқан түрі	0.26	2.71
	Барлығы	9.6	100

Кенді рационалды талдау нәтижесі бойынша ілеспе алтынның мөлшері: сульфидтермен 7-20%, тау жыныстарымен минералдармен 2.7-7.11%. Сап алтынның мөлшері 2.4-3.8 г/т құрайды.

Кесте 3. Зерттелетін алтын құрамды кеннің химиялық құрамы

№	Элемент, байланыс	Символы	Бағалы заттың үлесі, %
1	Кремний оксиды	SiO_2	64.62
2	Алюминий оксиды	Al_2O_3	12.99
3	Кальций оксиды	CaO	4.2
4	Магний оксиды	MgO	1.43
5	Темір жалпы	$Fe_{жал}$	4.7
6	Күкірт жалпы	$S_{жал}$	1.22
7	Сульфидті күкірт	$S_{сульфид}$	1.18
8	Титан оксиды	TiO_2	0.43
9	Мыс	Cu	0.005
10	Қорғасын	Pb	0.05
11	Мырыш	Zn	0.01
12	Мышьяк	As	2.22
13	Алтын	Au	9.6
14	Күміс	Ag	1.5

Кесте 4. Зерттелетін алтын құрамды кеннің минералогиялық құрамы

Минералы, минералдар тобы	Массалық құрамы, %
Кварц	40
Микроклин	24
Олигоклаз	20
Биотит	5.0
Хлорит, гидрослюда	5.0
Темір гидроксиды: гётит, лимонит	2.0
Темір оксиды: гематит, магнетит	2.0
Сульфидтер: арсенопирит	2.8-3.2
Пирит	бірлік мәні
Халькопирит	бірлік мәні
Акцессорлық минералдар: апатит	бірлік мәні
Циркон	бірлік мәні
Циртолит	бірлік мәні
Флюорит	бірлік мәні
Сап алтын	бірлік мәні
Барлығы :	100.0

Минерологиялық талдауға сәйкес зерттеу сульфидті минералдануы орташа гранодиориттермен ұсынылған.

Бастапқы кенде ең маңызды алтын минералдары арсенопирит және висмут минералдары жатады. Сондай-ақ алынған кен минералдарының ішінде арсенопирит басым. Кенде пирит, халькопирит, пирротит сияқты сульфидтер негізінен кенде кездеседі және олардың негізгі массалары кенге шаққанда шамалы мөлшерде кездеседі. Кенді зерттеудің технологиялық сипаттамаларына сүйене отырып, кенорындағы алтынды ірілігіне байланысты үш топқа шартты түрде бөлеміз:

- алтын мөлшері 0.07 мм-ден асатын үлкен алтын;
- бөлшектердің мөлшері 0.01-ден 0.07 мм-ге дейінгі ұсақ алтын;
- өлшемі 0.01 мм-ден аз жұқа дисперсті [5,6].

3. Қорытынды

Алынған нәтижелерге сәйкес келесі қорытындылар жасалды:

1. Алтын туралы жалпы мәліметтер, табиғатта алтынның болу формалары, әдістері келтірілген. Васильков кенорнының 01.01.2013 жыл бойынша баланстық қорлар есептелді.

2. Құрамында алтын бар кендерді өңдеу бойынша бастапқы шикізат туралы мәліметтер, негізгі компоненттер бойынша «Васильков» кен орнының кендерінің химиялық, минералогиялық және басқа талдаулар арқылы кеннің құрамы қаралды. Кеннің минералдық құрамын рентгендік құрылымдық және микроскопиялық талдаулармен анықталады. Васильков кенорнының кенқұрамы 95% тау жыныстарын құрайтын минералдардан тұрады, олардың негізгілері микроклин, олигоклаз, биотит, кварц, гидрослюда, хлорит. Кен минералдары негізінен арсенопиритпен (2.8-3.2%) ұсынылған. Жұқа сирек дақтар түріндегі жалғыз дәндерде пирит, халькопирит, темір гидроксидтері кездеседі. Темір минералдарының жалпы үлесі кеннің жалпы массасының 4% құрайды [7,8].

Әдебиеттер / References

[1] LLP «Kazahstan Mineral Kompani». (2009). Otchet «Pod-schet zapasov rudy i zolota mestorozhdenija Vasil'kovskoe po sos-tojaniju na 01.01.2008g.»

[2] Rakyshev, B. (2013). Kar'er alaңdaryң ashu zhәne ashyқ igeru zhүjeleri. *Almaty*

[3] Bitimbaev, M., Kabetenov, T. (2011). Osnovy gornogo dela. *Almaty*

[4] Begalinov, A. (2016). Tau ken isinin negizderi. *Almaty*

[5] Begalinov, A., Zhajsaңbaev, N., Zulқarnaev, E., Қalybekov, T., Sandibekov, M. (2012). Ashyқ tau-ken zhүmystarynyң tehnologijasy. *Almaty*

[6] Mitrofanov, S.I. (1962). Issledovanie poleznyh iskopaemyh na obogatimost'. *M.: Gosgortehizdat*

[7] Spravochnik po proektirovaniju rudnyh obogatitel'nyh fabrik. Kniga 1. (1988). *M.:Metallurgia*

[8] Spravochnik po proektirovaniju rudnyh obogatitel'nyh fabrik. Kniga 2. (1988). *M.:Metallurgia*

Алтынқұрамды Васильков кенорынның кендерін игерудің негізгі сипаттамалары

Г.Е. Аскарова[1*], А.Б. Бегалинов[1], М.Р. Шаутенов[1], Қ. Амантайұлы[2]

[1]*Satbayev University, Алматы, Қазақстан*

[2]*әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан*

**Корреспонденция үшін автор: askarova_guljan@mail.ru*

Аңдатпа. Мақалада елімізде алтын өндіру өнеркәсібінің даму қарқынының үздіксіз артуы металдар мен басқа да пайдалы қазбаларды тұтынудың өсуі жаңа минералдық ресурстарды іздестіруді және игеруді, пайдалы қазбаларды өңдеудің жаңа тиімді технологиясын сұлбаларды әзірлеуді, байытылуы қиын кендердегі шикізаттың жаңа түрлерін игеруді негіздейді. Зерттеулер жаңа кен орындарын дайындауға және игеруге, құрамында алтын бар кендердің

байытылуын анықтауға ғана емес, сонымен қатар минералды шикізат компоненттерін бөлу әдістерін теориялық әзірлеуге де бағытталған. Қазақстан Республикасының құрамында алтыны бар кендердің қорында 2 мыңнан астам кен орындары бар. Соңғы екі онжылдықта құрамында алтыны бар шикізаттың құрылымын зерттеу қиын өңделетін кендерді өндірудің ұлғаю тенденциясы бар екенін көрсетеді.

Алтын өндіру өнеркәсібінің даму қарқынының үздіксіз артуы металдар мен басқа да пайдалы қазбаларды тұтынудың өсуі жаңа минералдық ресурстарды іздестіруді және игеруді, пайдалы қазбаларды өңдеудің жаңа тиімді технологиясын сұлбаларды әзірлеуді, байытылуы қиын кендердегі шикізаттың жаңа түрлерін игеруді негіздейді. Зерттеулер жаңа кен орындарын дайындауға және игеруге, құрамында алтыны бар кендердің байытылуын анықтауға ғана емес, сонымен қатар минералды шикізат компоненттерін бөлу әдістерін теориялық әзірлеуге де бағытталған. Соңғы екі-үш онжылдықта технологиялық тұрғыдан қарапайым алтын кендерінен алынған алтынның үлесі тұрақты түрде азайып келеді. Табиғатта алтын көбінесе табиғи металл, металл аралық қосылыстар және құрамында алтын, күміс, мыс, темір, сынап, висмут, платина, палладий, иридий, родий және алтын геллурид минералдары бар минералдар түрінде кездеседі. Сонымен қатар, алтын органикалық қышқылдары бар қосылыстар түрінде кездеседі.

Негізгі сөздер: *шикізат, алтын, кенорны, пайдалы қазбалар, байыту, технологиялық сұлба, минерал , ірілік класс*.

Основные характеристики разработки руд золотосодержащего Васильковского месторождения

Г.Е. Аскарова[1*], А.Б. Бегалинов[1], М.Р. Шаутенов[1], Қ. Амантайұлы[2]

[1]*Satbayev University, Алматы, Казахстан*

[2]*Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан*

**Автор для корреспонденции: askarova_guljan@mail.ru*

Аннотация. В статье непрерывный рост темпов развития золотодобывающей промышленности в нашей стране, рост потребления металлов и других полезных ископаемых обосновывают поиск и разработку новых полезных ископаемых, разработку новых эффективных технологических схем добычи. переработка полезных ископаемых, разработка новых видов сырья из труднообогащаемых руд. Исследования направлены не только на подготовку и разработку новых месторождений, определение обогащения золотосодержащих руд, но и на теоретическую разработку методов разделения компонентов минерального сырья. В Республике Казахстан насчитывается более 2000 месторождений золота. За последние два десятилетия исследования структуры золотосодержащего сырья показывают нарастающую тенденцию добычи руд.

Непрерывный рост темпов развития золотодобывающей промышленности, увеличение потребления металлов и других полезных ископаемых обосновывают поиск и разработку новых полезных ископаемых, разработку новых эффективных технологических схем переработки полезных ископаемых, разработку новых видов сырья из труднообогащаемых руд. Исследования направлены не только на подготовку и разработку новых месторождений, определение обогащения золотосодержащих руд, но и на теоретическую разработку методов разделения компонентов минерального сырья. В последние два-три десятилетия доля золота, полученного из технологически простых золоторудных руд, неуклонно снижается. В природе золото встречается в основном в виде самородного металла, интерметаллических соединений и минералов, содержащих золото, серебро, медь, железо, ртуть, висмут, платину, палладий, иридий, родий и геллуридные минералы золота. Кроме того, золото встречается в виде соединений с органическими кислотами.

Ключевые слова: *сырье, золото, месторождение, обогащение, полезных ископаемых, технологические схемы, минерал , класс крупности*.

Received: 20 March 2023
Accepted: 15 June 2023
Available online: 30 June 2023

SATBAYEV UNIVERSITY

Engineering Journal of Satbayev University

Volume 145 (2023), Issue 3, 25-30

https://doi.org/10.51301/ejsu.2023.i3.04

River runoff resources of the Shu-Talas water management basin in the context of climate change

A.U. Safina*

Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

**Corresponding author: aminatsafina8@gmail.com*

Abstract. This article analyzes the change in the flow of the rivers of the Shu-Talas water management basin, considering climate change. During the study, linear trends in river flow were compiled, as well as meteorological parameters such as annual precipitation and average temperature in the basin region. The data were obtained from the annual collections of RSE «Kazhydromet» with further statistical processing. Data from 9 gauging stations of the considered basin and 9 meteorological stations closest to the basin were subjected to analysis. The materials obtained can be practically significant for long-term planning and development of large-scale measures for the integrated use, protection of water resources and solving complex problems of water supply in the Republic of Kazakhstan.

Keywords: *Shu-Talas water management basin, climate change, river runoff, transboundary basin, annual precipitation*.

1. Введение

Роль воды в развитии человеческого общества исключительно высока. К началу XXI века одной из самых важных проблем мирового масштаба становится проблема водных ресурсов. Интенсивный рост антропогенной нагрузки и тенденции в изменении климата еще более усложняют решение «водной» проблемы.

Немаловажным фактором, напрямую влияющим на качество воды, является объем речного стока. Маловодье приводит к увеличению концентрации загрязняющих веществ по всему течению рек водохозяйственного бассейна, что может негативно отразиться на состоянии природных экосистем, а также на здоровье населения. Наоборот, в многоводные годы увеличивается способность рек к самоочищению.

Речной сток и осадки довольно тесно зависят от высоты местности, доступности местности и ориентации хребтов по отношению к влагонесущим массам воздуха, и особенностей синоптических процессов. Практически при относительной однородности этих условий можно предположить, что между осадками и стоком рек существует вполне тесная связь. При этом определяющим фактором водоносности рек являются осадки, аккумулированные за холодный период года, и осадки весеннего периода. Под аккумулированной влагой не стоит понимать лишь твердые осадки. Осеннее увлажнение или состояние увлажнения почвы перед установлением снежного покрова также можно отнести к аккумулированной, только уже не в поверхности, а в слое почвы влаге. Нередко водность лет различна при одном и том же запасе твердых осадков, но при различном увлажнении почвы в предзимний период. Также нельзя исключить жидкие осадки периода снеготаяния или весеннего периода, коэффициент стока которых очень высок.

1.1. Район исследования

Регион рассматриваемого Шу-Таласского водохозяйственного бассейна в гидроклиматическом отношении является одним из наиболее благоприятных в РК. Простирающиеся почти в широтном направлении высокогорные системы Таниртау и Жетису Алатау предопределяют процессы трансформации атмосферной влаги, поступающей в поверхностный сток. Климатические особенности подвергаются мощному воздействию орографического строения местности, что, прежде всего, сказывается на увеличении атмосферных осадков и снижении температуры воздуха. Закономерное, соответственно географической зональности, уменьшение осадков и влажности воздуха с севера на юг, а также с запада на восток в связи с удаленностью от очагов влажных воздушных масс определенно нарушается орографией исследуемого региона. Иными словами, в рассматриваемом регионе преобладают закономерности высотной поясности природно-климатических условий, в том числе и поверхностного стока. Региональные кривые зависимостей стока от средней взвешенной высоты водосборов, четко характеризуют особенности пространственного распределения речного стока. Таким образом, горы выступают как важный гидроклиматический фактор или как конденсаторы влаги [1].

Однако «водный» вопрос здесь несколько осложнен определенными факторами. Эти факторы касаются проблем как естественного, так и антропогенного характера. В силу расположенности в системе глобального водообмена увлажненность региона очень сильно зависит от степени ее поступления извне. Основная масса осадков в регион, как известно, поступает с юга, юго-запада, запада и с северо-запада (циклоны с юга Каспийского моря, из долин Теджен и Мургаб и полярные воздушные массы). При прохождении через регион южных циклонов в горных районах зимой выпадает до 400-450 мм осадков (70-80% годовой суммы) [2].

© 2023. A.U. Safina
Engineering Journal of Satbayev University. eISSN 2959-2348. Published by Satbayev University
This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/), which permits unrestricted reuse, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Реки Шу и Талас, имеющие смежные бассейны, протекают по территории Северной Кыргызии и Южного Казахстана. Зарождаясь в горах Тянь-Шаня, они текут преимущественно в северо-западном направлении и теряются в Туранской низменности. Река Шу оканчивается в разливах внутриконтинентальной дельты, а река Талас, являвшаяся левобережным притоком реки Шу, в настоящее время не достигает главной реки, так как разбирается на орошение [1].

Строение поверхности водосборов рек Шу и Талас сложно и разнообразно: юго-восточная часть - горные хребты и межгорные впадины Северного Тянь-Шаня, а северо-западная - равнинные и низменные пространства с песками Мойынкум и пустыней Бетпакдала [1,2].

Изменения в строении поверхности водосборов рек Шу и Талас сказываются на формировании стока. Так, горная территория является зоной формирования речного стока, тогда как на равнинных участках происходят трансформация и перераспределение стока между различными его звеньями, потери на испарение и орошение [2].

Климат рассматриваемой территории, особенно равнинной ее части, является сухим и характеризуется резкой континентальностью. Преобладающая ясная и сухая погода в зимний период обусловлена влиянием областей высокого давления, а в летний - поступающим с юга тропическим воздухом. Выходы циклонов с запада и северо-запада вызывают резкое потепление и осадки зимой, а летом - осадки обложного и ливневого характера. В низкогорных районах (до 1000-1500 м над уровнем моря), где циклоническая деятельность развита более сильно, континентальность и сухость климата по сравнению с равнинной местностью значительно ослаблена. Выше 1500 м над уровнем моря континентальность климата вновь усиливается [1].

Возобновляемые водные ресурсы Шу-Таласского ВХБ состоят из суммарного стока бассейнов рек Шу, Талас и Ассы, часть водосборов которых (верховья) расположена в соседнем государстве - Кыргызской Республике.

В многолетнем ходе колебания стока рек рассматриваемого бассейна характерны следующие особенности. За многолетний период, охваченный инструментальными наблюдениями, резко выделяются два различных цикла водности, первый с 1930 по 1972-1973 гг. и второй с 1972-1973 по настоящее время [3].

В силу расположенности в системе глобального водообмена увлажненность региона очень сильно зависит от степени ее поступления извне. Основная масса осадков в регион, как известно, поступает с юга, юго-запада, запада и с северо-запада (циклоны с юга Каспийского моря, из долин Теджен и Мургаб и полярные воздушные массы). При прохождении через регион южных циклонов согласно в горных районах зимой выпадает до 400–450 мм осадков (70-80% годовой суммы) [3].

Распределение атмосферных осадков на исследуемой территории характеризуется крайней неравномерностью и зависит в основном от высоты местности и ориентации хребтов по отношению к влагонесущим воздушным массам. Наибольшие годовые суммы осадков (около 1000 мм) наблюдаются в высокогорных районах хребтов Кыргызского и Таласского Алатау, наименьшие - в низовьях рек Шу и Талас, то есть в пустынях Бетпакдала и Мойынкум, где они составляют от 170 до 200 мм [3,4].

В Таласской долине, закрытой с севера и юго-запада хребтами, до высоты 3000 м над уровнем моря за год выпадает осадков в среднем на 20-30% меньше, чем на соответствующих высотах в Шуйской долине. На более высоких уровнях различия в увлажнении сглаживаются [2].

2. Методы и материалы

Для написания данной статьи использовались данные с 9 гидропостов и 9 метеостаций. Период наблюдений начинается с 1933…1936 годов по 2020 год. Данные подверглись статистическому анализу.

В работе для определения закономерности изменения процесса стока во времени был использован метод линейного тренда, широко применяемая в гидрометеорологии, который записывается в виде уравнения линейной регрессии

$$y(t)=a_0+a_1 \quad (1)$$

где y(t) – значения годового стока; t – порядковый номер наблюденной величины; a_0 и a_1 – регрессионные коэффициенты.

Значимость линейного тренда является основой принятия (отклонения) гипотезы. Простейший прием решения этой задачи сводится к оценке коэффициента корреляции зависимости осредненных значений стока от времени, по отношению к среднеквадратической ошибке коэффициента регрессии или по отношению к удвоенной или утроенной средней квадратической ошибке. Если значение коэффициента корреляции окажется больше удвоенного или утроенного значения средней квадратической погрешности коэффициента корреляции, то соответственно на 5% или 1% уровне признается альтернативная гипотеза о нестационарности гидрометеорологического ряда, то есть наличие линейного тренда.

Здесь, необходимо отметить главный недостаток метода, заключающийся в недоучете условий формирования речных вод. Предположения о сохранении общей тенденции изменения водных ресурсов на долгие сроки (до 2020–2050 гг.) вряд ли окажутся правомерными. Поэтому здесь нельзя обойтись без факторного анализа многолетних колебаний речного стока, а именно, изменения климатических условий. Известно, что в глобальном, так и в региональном масштабе, с конца 80-х годов XX-века наблюдается резкий направленный рост приземной температуры воздуха. При относительно слабых тенденциях изменений атмосферных осадков, речной сток в регионе имеет явную тенденцию к увеличению, в котором сыграла свою роль деградация ледников. В ходе многолетней изменчивости баланса массы наиболее изученного ледника Туйыксу исследователи выделяют три периода. С 1879 по 1914 г. – период с положительным балансом, с 1915 по 1972 г. – период со слабой тенденцией изменения баланса в отрицательную сторону, и с 1973 г. по настоящее время – период наиболее прогрессивной деградации ледника [2].

Таким образом, учитывая многолетние изменения, как климата, так и одного из основных факторов стокоформирования горных районов - степени оледенения, представляемого на основе динамики баланса ледника Туйыксу, можно предположить, что для прогноза стока рек региона на долгосрочную перспективу необходимо за основу принять тенденцию за многолетний период, а тенденцию современного периода рассматривать в каче-

ство основы на ближайшие годы (до 5-6 лет). При этом оценку необходимо принять как среднюю величину за будущий прогнозируемый период, а не привязывать к конкретному году. Используемый линейный тренд, как известно, является скользящей (осредненный) средней линией хода многолетнего колебания стока.

3. Результаты и обсуждение

Возобновляемые водные ресурсы Шу-Таласского водохозяйственного бассейна состоят из суммарного стока бассейнов рек Шу, Талас и Ассы, часть водосборов которых (верховья) расположена в соседнем государстве - Кыргызской Республике.

В многолетнем ходе колебания стока рек Шу-Таласского водохозяйственного бассейна характерны следующие особенности. За многолетний период, охваченный инструментальными наблюдениями, резко выделяются два различных цикла водности, первый – с 1930 по 1972-1973 гг. и второй – с 1972-1973 по настоящее время (рисунок 1).

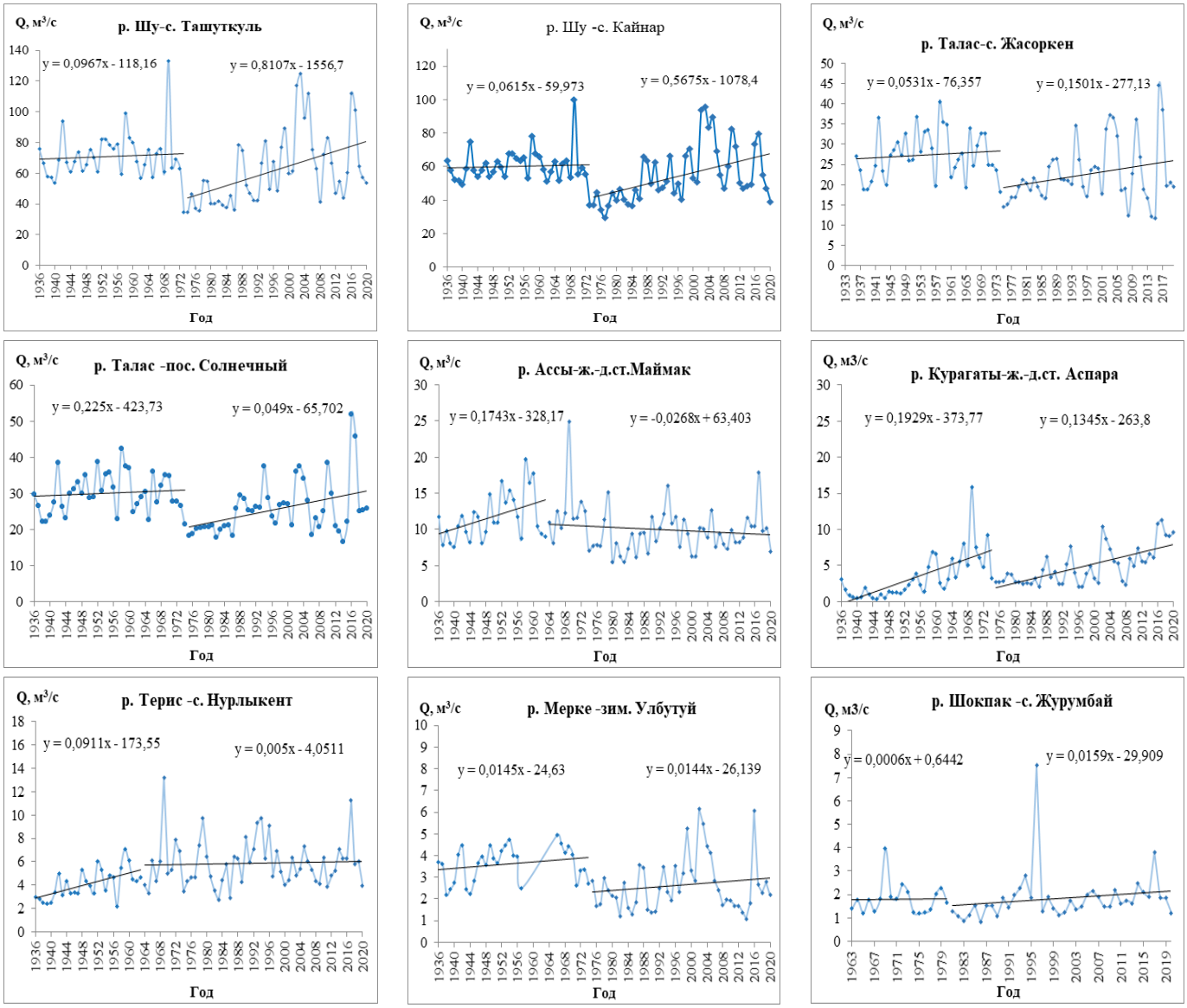


Рисунок 1. Линейные тренды изменения речного стока на некоторых гидропостах Шу-Таласского водохозяйственного бассейна

В многолетнем колебании стока, формирующегося на территории Кыргызстана, за первый период имеет место слабая отрицательная тенденция, которая особо не повлияла на общее направление изменения стока за многолетний период. А во всех остальных случаях сток имеет тенденцию к увеличению. Однако увеличение стока наиболее заметно лишь для бассейна р. Шу с относительно большим водосбором, следовательно, имеющим наибольшие запасы влаги, аккумулированной за многолетний период.

Вероятно, повышение температуры воздуха в целом отрицательно сказывается на ежегодной составляющей речного стока. Согласно исследованию, количество осадков на территории рассматриваемого бассейна практически не изменилось (рисунок 2). Между тем необходимо отметить, что сток рек имеет некоторую более или менее статистически выраженную тенденцию к увеличению, предположительно из-за «сработки» многолетних запасов снегово-ледниковых ресурсов. Например, местный (казахстанский) сток бассейна реки Талас имеет

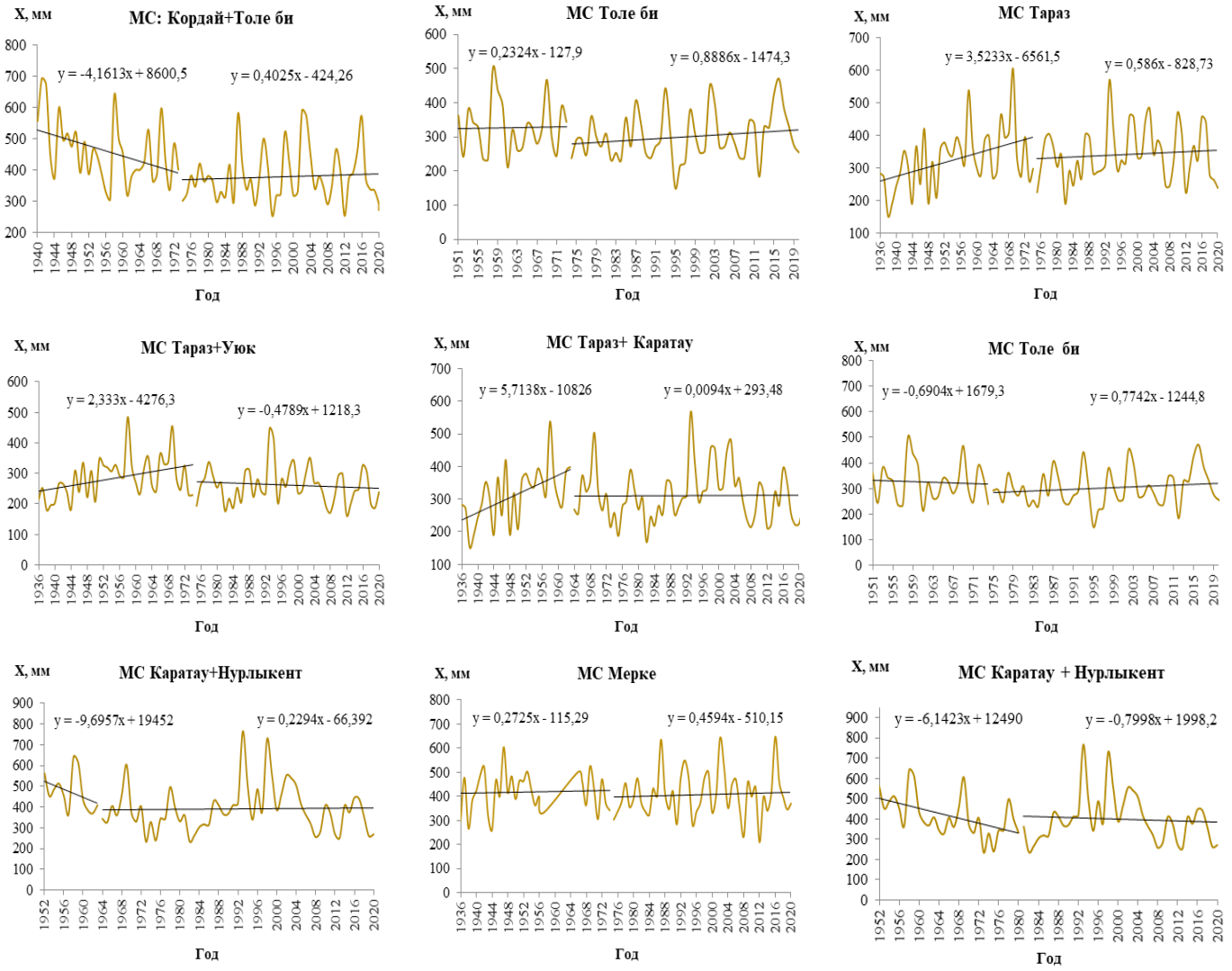


Рисунок 2. Линейные тренды изменения количества осадков в районе Шу-Таласского водохозяйственного бассейна

отрицательную тенденцию, в то же время сток на территории Кыргызской Республики – положительную. Так вот объем ледников Кыргызского хребта, на северных склонах которого главным образом формируется местный сток, почти три раза меньше объема ледников в Таласском Алатау.

Выявленные в ходе исследований линейные тренды изменения речного стока (рисунок 1) очень слабые, нередко статистически незначимы. В целом, распределение речного стока соответствует распределению годовых сумм осадков.

Явные, статистически значимые тенденции хода стока имеют место для современного периода и их значимость растет прямо пропорционально степени оледенения. При дальнейшем увеличении приземной температуры, следовательно, деградации многолетних запасов влаги в бассейне, вряд ли эта тенденция сохранится.

По результатам исследований прошлых лет по региону, за современный период ресурсы речных вод несколько увеличились. За период с 80-х годов прошлого века по настоящее время роль срабатываемых многолетних влагозапасов водосборов была велика. К настоящему времени эти запасы, главным образом, снегово-ледниковыена порядок сократились.

В большинстве случаев на местный сток Шу-Талаского ВХБ атмосферные осадки влияют положительно (теснота связей R =0.45-0.70), температура воздуха – отрицательно (R = 0.45-0.50). Это хорошо прослеживается по графикам зависимостей (рисунки 3, 4) [2].

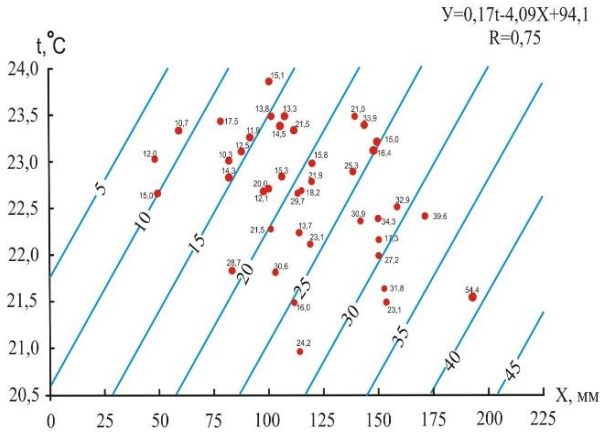


Рисунок 3. Зависимость местного стока ($м^3/с$) бассейна Шу от суммы атмосферных осадков за зимне-весенний и температуры воздуха за весенне-летний периоды [2]

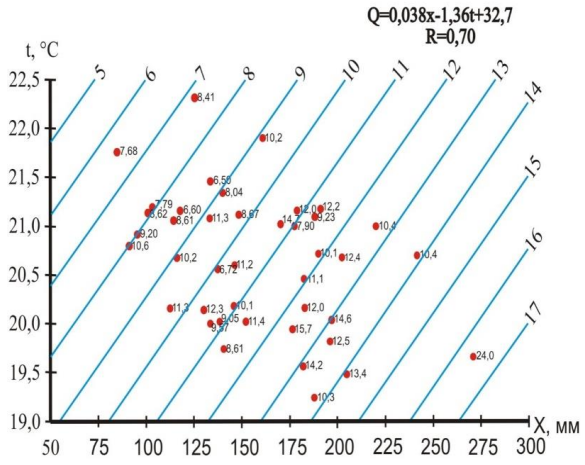


Рисунок 4. Зависимость местного стока (м³/с) бассейна Талас от суммы атмосферных осадков за зимне-весенний и температуры воздуха за весенне-летний периоды [2]

Наоборот, повышение температуры воздуха влияет на сток рек, поступающих с высокогорных областей Внутреннего Таниртау (басс. рек Шу, Талас), что, вероятнее всего, связано с относительно большими запасами многолетних ресурсов влаги их водосборов.

Согласно исследованию, наибольшие изменения (уменьшения) стока рек наблюдаются в казахстанской части бассейнов рек Шу и Талас, где, как указывалось отрицательное влияние температуры воздуха на сток рек значительное.

В целом по Шу-Таласскому водохозяйственному бассейну изменения несущественны, наблюдается небольшое увеличение суммарных ресурсов относительно среднего значения, характеризующего многолетний период, от 3.6-4.9% к 2020 г. до 5.0-7.4% к 2050 г.

Прогнозные оценки ресурсов речного стока с учетом климата и антропогенных нагрузок, представлены в таблице 1. При реализации возможных климатических, антропогенных и трансграничных гидрологических угроз, прогнозируется сокращение ресурсов речного стока: суммарного стока по Казахстану к 2030 г. от 90.1 до 87.1 км^3 в год (таблица 1) [1].

Таблица 1. Прогнозные значения фактических ресурсов речного стока Шу-Таласского водохозяйственного бассейна с учетом климата и антропогенных нагрузок до 2030 [4]

Водохозяйственный бассейн	Местные ресурсы	
	Всего	В т.ч. отток за пределы РК (возвратный)
Шу-Таласский	1.01	
	Приток	
	Всего	В том числе сформированный на территории сопредельных стран
	3.21	3.21
	Суммарный	
	Всего	Суммарный с учетом антропогенных изменений в русле основной реки
	4.22	4.22

4. Заключение

Исследования показали, что в многолетней динамике водных ресурсов Шу-Талассского водохозяйственного бассейна наблюдается (особенно в высокогорьях) некоторая тенденция к увеличению. С другой стороны, в большинстве случаев выявленные тренды в динамике речного стока региона статистически не значимы.

Полученные материалы могут быть практически значимыми для перспективного планирования и разработки крупномасштабных мероприятий по комплексному использованию, охране водных ресурсов и решению комплексных проблем водообеспечения в Республике Казахстан.

С учетом того факта, что в последние два десятилетия в Казахстане и на сопредельных территориях произошли серьёзные изменения климата и кардинальные преобразования в социально-экономической сфере, изменилась геополитическая ситуация, все оценки и анализ различных характеристик водных ресурсов региона и их использование нами рассмотрены в динамике за весь многолетний период наблюдений, и в том числе отдельно за период стационарного климата, стабильного социально-экономического развития (1900-1974) и за последние 25-30 лет в условиях интенсивного изменения климата и кардинальной перестройки социально-экономической ситуации в стране.

На основании детального анализа данных многолетних наблюдений представлена динамика водных ресурсов бассейна.

Норма речного стока и суммарных водных ресурсов бассейнов исходя из анализа многолетнего хода изменений речного стока оценена в нескольких вариантах: за многолетний период (с начала – конца 30-х годов по 2007 г.), за современный период (1974-2007 гг.), а также за предшествующий ему период, значительная часть которого характеризуется условно естественным (не существенно трансформированным) стоком рек.

Литература / References

[1] Resursy poverhnostnyh vod SSSR. Srednjaja Azija. Bassejn ozera Issyk-Kul', reki Chu, Talas. (1973). Volume 14, Issue 2

[2] Medeu, A.R., Mal'kovskij, I.M., Toleubaeva, L.S. (2012). Vodnye resursy Kazahstana: ocenka, prognoz, upravlenie. *Almaty*

[3] RGP «Kazgidromet». (2021). Annual Bulletin of monitoring the state and climate change in Kazakhstan. Retrieved from: https://www.kazhydromet.kz/ru/klimat/ezhegodnyy-byulleten-monitoringa-sostoyaniya-i-izmeneniya-klimata-kazahstana

[4] Alimkulov, S.K., Tursunova, A.A., Saparova, A.A. (). Re-sursy rechnogo stoka Kazahstana v uslovijah budushhih klimaticheskih i antropogennyh izmenenij. (2021). *Hydrometeorology and ecology, (1), 59-70*

[5] Injutin, N.Ja., Maksimov, N.V., Fateev, V.P., Cheban, V.A. (1968). Katalog lednikov SSSR. Volume 14. Srednjaja Azija. issue 2. Kirgizija. Chast' 1. Bassejny rek Assa, Talas. *Gidrometeo-rologicheskoe izdatel'stvo, Leningrad*

[6] RGP «Kazgidromet». (2020). Ezhegodnye dannye o rezhime i resursah poverhnostnyh vod sushi. Bassejny rek Shu i Talas. Retrieved from: https://www.kazhydromet.kz/en/gidrologiya/ezhegodnye-dannye-o-rezhime-i-resursah-poverhnostnyh-vod-sushi-eds

Климаттық өзгерістер жағдайындағы Шу-Талас су шаруашылығы бассейнінің өзен ағынының ресурстары

А.У. Сафина*

әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан

**Корреспонденция үшін автор: aminatsafina8@gmail.com*

Аңдатпа. Бұл мақалада климаттың өзгеруін ескере отырып, Шу-Талас су шаруашылығы бассейні өзендерінің ағынының өзгеруіне талдау жасалды. Зерттеу барысында өзен ағынының өзгеруінің сызықтық тенденциялары, сондай-ақ жауын-шашынның жылдық мөлшері және бассейн аймағындағы орташа температура сияқты метеорологиялық параметрлер жасалды. Деректер одан әрі статистикалық өңдеумен «Қазгидромет» РМК-ның жыл сайынғы жинақтарынан алынды. Қарастырылып отырған бассейннің 9 гидропостынан және бассейнге ең жақын 9 метеостанциядан алынған мәліметтер талдауға алынды. Алынған материалдар Қазақстан Республикасында Су ресурстарын кешенді пайдалану, қорғау және сумен қамтамасыз етудің кешенді проблемаларын шешу жөніндегі ауқымды іс-шараларды перспективалық жоспарлау және әзірлеу үшін іс жүзінде маңызды болуы мүмкін.

Негізгі сөздер: *Шу-Талас су шаруашылығы бассейні, климаттың өзгеруі, өзен ағыны, трансшекаралық бассейн, жылдық жауын-шашын мөлшері.*

Ресурсы речного стока Шу-Таласского водохозяйственного бассейна в условиях климатических изменений

А.У. Сафина*

Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан

**Автор для корреспонденции: aminatsafina8@gmail.com*

Аннотация. В данной статье выполнен анализ изменения стока рек Шу-Таласского водохозяйственного бассейна с учетом изменения климата. В ходе исследования были составлены линейные тренды изменения речного стока, а также таких метеорологических параметров, как годовые суммы осадков и средняя температура в регионе бассейна. Данные были получены из ежегодных сборников РГП «Казгидромет» с дальнейшей статистической обработкой. Анализу были подвергнуты данные с 9 гидропостов рассматриваемого бассейна и 9 метеостанций, наиболее приближенных к бассейну. Полученные материалы могут быть практически значимыми для перспективного планирования и разработки крупномасштабных мероприятий по комплексному использованию, охране водных ресурсов и решению комплексных проблем водообеспечения в Республике Казахстан.

Ключевые слова: *Шу-Таласский водохозяйственный бассейн, изменение климата, речной сток, трансграничный бассейн, годовые суммы осадков.*

Received: 11 February 2023
Accepted: 15 June 2023
Available online: 30 June 2023

SATBAYEV UNIVERSITY

Engineering Journal of Satbayev University

Volume 145 (2023), Issue 3, 31-39

https://doi.org/10.51301/ejsu.2023.i3.05

Earth remote sensing application for forest fire size, burn state and fire recovery

N. Shogelova[1*], S. Sartin[2]

[1]*International Educational Corporation, Almaty, Kazakhstan*
[2]*North Kazakhstan University named after M. Kozybayev, Petropavlovsk, Kazakhstan*

**Corresponding author: nazym-shogelova@mail.ru*

Abstract. Forest fires greatly affect forest ecosystems, causing the loss of their biodiversity and their resilience. In addition, they have a strong impact on the global carbon balance and, ultimately, climate change. This article analyzes studies of remote sensing techniques and data used to estimate the area of forest burnt, fire severity, fire impacts, and patterns of reforestation at the global level. The study discusses the results of an analysis based on 329 selected articles on major aspects of the field of study published in 48 journals over the past two decades (2000-2020). Article characteristics were analyzed, including journals, spatial extent, geographic distribution, types of remote sensing sensors, ecological zoning, tree species, spectral indices, and accuracy measures used in the studies. The paper also discusses the main trends, problems and the increasing value of various remote sensing methods in assessing the area of forest fires, the severity of fires and post-fire recovery. Finally, it identifies potential opportunities for future research using next-generation remote sensing systems, classification methods and cloud computing, as well as new process platforms for regional and large-scale research applications.

Keywords: *forest fires, earth remote sensing, area of forest fires, fire severity, forest restoration.*

1. Введение

Пожары в природе - это периодические нарушения, которые сильно влияют на строение и распространение глобальных лесных экосистем, изменение эрозии почвы, вызывающее утрату биоразнообразия, среды обитания, производства и продуктивности, подвергая опасности жизни людей и разрушая средства к существованию [1]. За последние два десятилетия во всем мире было сожжено более 7.20 млрд га земли лесными пожарами в среднем на 400 млн га ежегодно [2]. Согласно анализу Продовольственной и сельскохозяйственной организации, с 2001 по 2020 год площадь леса (покрытый деревьями) составляли около 29% от общей площади, выжженной лесными пожарами [3].

Кроме того, лесные пожары оказывают сильное влияние на изменение климата из-за быстрого выброса углерода, депонированного в лесной биомассе, в атмосферу [4, 5]. В последние десятилетия быстро меняющийся климат увеличил частоту и силу лесных пожаров [6, 7] и по прогнозам дальнейшего потепления, вероятно, вызовет более серьезные последствия для лесов и увеличение площади пожаров [8, 9, 10]. Растущее опасения по поводу воздействия изменения климата увеличили потребность в разработке политики устойчивого лесопользования, направленной на снижение выбросов парниковых газов и повысить эффективность управления пожарами [11, 12, 13]. Растущая озабоченность по поводу воздействия изменения климата увеличила потребность в разработке политики устойчивого лесопользования, направленной на сокращение выбросов парниковых газов и повышение эффективности борьбы с пожарами [14, 15].

За последние несколько десятилетий использование данных космических датчиков дало уникальные достижения профессиональному сообществу в обнаружении нарушений лесных экосистем, особенно для оценки пространственно-временной динамики пожаров и картирования площади возгорания [16, 17]. Методы дистанционного зондирования становятся беспрецедентной альтернативой дорогостоящим и трудоемким полевым мероприятиям при мониторинге лесных экосистем на больших и удаленных географических территориях [18, 19]. Мультиспектральные спутниковые изображения широкого пространственного разрешения широко использовались при измерении лесных площадей до и после пожаров для картографирования в региональном и глобальном масштабах [20, 21], а также для оценки интенсивности пожаров [22, 23] и восстановление растительности [25, 26].

Учитывая его важность мониторинга лесных экосистем и политики управления окружающей средой, основной целью этой работы является обзор современных методов дистанционного зондирования и данных для оценки площадей и тяжести лесных пожаров и моделей восстановления лесов на глобальном уровне, которые были применены в исследовательских статьях, опубликованных в рецензируемых научных журналах в период с 2000 по 2020 год.

В этой работе использовался систематический подход обзора литературы с 2000 по 2021 год с акцентом только на научных рецензируемых работах в области площади возгорания, дистанционного зондирования и лесных экосистем на локальном, региональном и глобальном уровнях. Данный промежуток времени выбран по двум причинам. Во-первых, исследования в области

© 2023. N. Shogelova, S. Sartin
Engineering Journal of Satbayev University. eISSN 2959-2348. Published by Satbayev University
This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/), which permits unrestricted reuse, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

приложений для дистанционного зондирования и оценки лесных экосистем и лесных пожаров заметно расширились, особенно в последние десятилетия из-за быстрого роста числа источников данных наблюдения Земли. Во-вторых, за последние два десятилетия появилось несколько всесторонних обзоров из разных уголков мира, свидетельствующих о растущем интересе к области исследования среди профессионального сообщества [27, 28].

Был определен набор ключевых слов для первичного поиска в электронных базах данных Scopus (Elsevier) и Web of Science (Clarivate Analytics): «дистанционное зондирование», «леса», «пожар», «тяжесть ожога». Дальнейший поиск проводился в тех же базах данных с изменением ключевых слов для конкретных спутников (MODIS, Landsat, Sentinel и др.). Первоначальная попытка показала, что 1140 научных публикаций были идентифицированы в соответствии с установленными критериями поиска, из которых 660 статей были идентифицированы через Web of Science, а 480 были найдены в базе данных Scopus (рисунок 1).

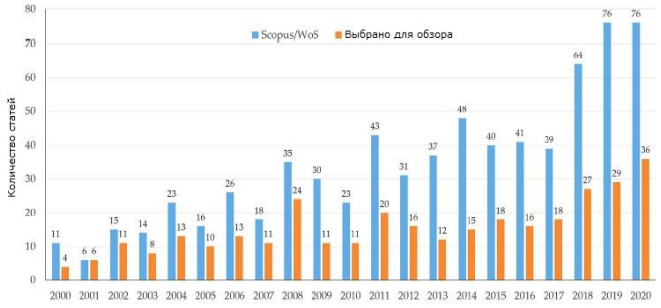


Рисунок 1. Временное распределение имеющихся и избранных публикаций с 2000 по 2020 г.

На этапе проверки поиск статей был усовершенствован путем удаления дубликатов из двух баз данных. Дальнейший отбор был сделан путем чтения аннотаций статей для выявления исследований, посвященных методам дистанционного зондирования для мониторинга и оценки лесных площадей после пожаров. Если в аннотации не было четко указано, что исследование связано с возгоранием леса, авторы продолжали просматривать полный текст, чтобы определить цель и методологию статьи. Также исключили публикации без рецензирования и статьи, в которых пожары затронули другие экосистемы (луга, кустарники, сельскохозяйственные угодья, луга и т.д.). Однако это не всегда было возможно из-за того, что в некоторых региональных и глобальных исследованиях леса классифицировались наряду со многими другими типами земного покрова. Следующий этап состоял в тщательном рассмотрении оставшихся 605 статей по следующим критериям:

- Методы дистанционного зондирования являются основными компонентами исследования;
- Исследование дает точную во времени оценку площади и тяжести возгорания леса с использованием различных наборов данных для проверки результатов картирования;
- Статья надлежащим образом описывает методы и/или результаты исследования, чтобы они могли быть интерпретированы и воспроизведены;
- Основное внимание уделялось лесным насаждениям, а не другим атрибутам экосистемы (почвы, воды, подлесок);
- В исследовании должны быть представлены подробные результаты оценки точности.

В окончательный список были включены 329 статей соотвествующие критериям поиска на платформе Mendeley для проведения дальнейшего анализа. Затем были извлечены данные из выбранного фонда публикаций и объединены в несколько различных категорий, связанных с географическим регионом территории, используемым датчиком, пространственным масштабом лесного пожара, временным масштабом исследования, типом пожара, лес (основные древесные породы), подходы к классификации и моделированию, индексы растительности, используемый метод точности, год публикации и справочные (проверочные) данные.

Количество исследований, проводимых в области дистанционного зондирования площади и тяжести возгорания леса и послепожарного восстановления, существенно увеличилось, о чем свидетельствует количество статей, опубликованных в период с 2000 по 2020 г. Это хорошо подтверждается общей тенденцией увеличения публикационной активности в области дистанционного зондирования, доступности и политики открытого доступа к данным наблюдений за Землей, а также важность предотвращения лесных пожаров для действий по устойчивому управлению лесами [1, 3]. За период 2000–2010 гг. были отобраны для дальнейшего рассмотрения 122 (38%) публикации, а за 2011–2020 гг. их число почти удвоилось и составило 204 публикации (62%).

Анализ данных показал, что выбранные статьи были опубликованы в 48 рецензируемых журналах. Основными журналами-источниками 329 статей были: Remote Sensing of Environment (74 статьи), Remote Sensing (56 статей), International Journal of Remote Sensing (39), International Journal of Wildland Fire (26), International Journal of Applied Earth Observation. и Geoinformation (15), а также Forest Ecology and Management (14) вошли в семерку лучших журналов, опубликовавших не менее 10 исследовательских статей за последние два десятилетия.

На рисунке 2 представлены 20 лучших журналов, в которых были опубликованы 285 статей или примерно 88% отобранных публикации. Остальные 28 журналов (12%), опубликовавших только две релевантные статьи, были исключены из описательной статистики на рисунке.

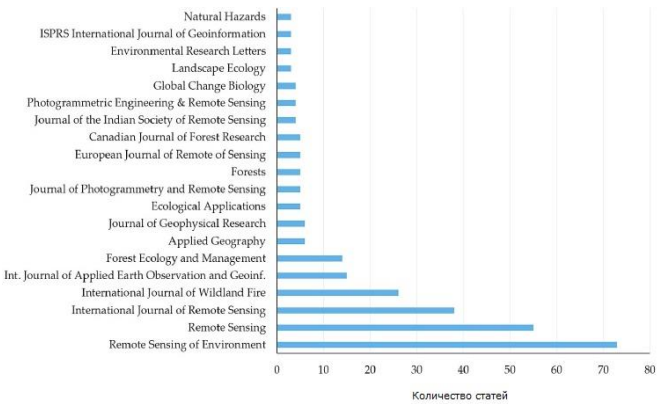


Рисунок 2. 20 лучших из 48 рецензируемых журналов, в которых были опубликованы выбранные стать

Рецензируемые статьи были разделены на пять классов пространственной протяженности: локальный, мультилокальный, региональный, национальный и глобальный масштабы. В данной работе мы определяем локальный масштаб как уровень лесной единицы (национальный парк, лесничество, заказник и т.д.). Места, распределенные по стране, разным странам или континентам без определенной пространственной протяженности, называются многолокальным уровнем. Региональный уровень включает исследования в нескольких местах в пределах или в нескольких провинциях (штатах) страны или трансграничные исследования в нескольких странах. Национальный пространственный уровень рассматривает гари в пределах государственных границ изучаемой страны. Исследования на мировом уровне были отнесены к категории глобальных. Статистический анализ показал, что большинство рецензируемых статей выполнено в локальном (48%) и региональном пространственных масштабах (28%). Выявлено 30 национальных (9%) и 28 мультилокальных (9%) исследований лесных гарей с применением дистанционного зондирования, а также 18 глобальных исследований (6%).

Исследования, рассматриваемые в этой работе, проводились во многих лесных массивах по всему миру, включая страны Америки (Северной, Центральной и Южной), Европы, Азии, Австралии и Африки. Избранные публикации с 2000 по 2020 год были посвящены лесным пожарам в 39 странах. Журналы с 10 и более публикациями из США (93), Испании (49), Канады (29), Греции (21), Бразилии (17), Российской Федерации (15), Италии (13), Португалии (12), Австралия (10) и Китайская Народная Республика (10). Всего в 269 статьях (84%) описаны различные подходы к оценке площади лесных пожаров в десяти из этих стран с использованием методов дистанционного зондирования. Тематические исследования, проведенные в США, Испании и Канаде, охватывают около 53% всех рецензируемых публикаций. Следует упомянуть и другие страны с более чем двумя публикациями, в частности Индию (7), Францию (5), Южную Африку (4%), Республику Конго (3), Индонезию (2), Южную Корею (2), Турцию. (2), Аргентина (2), Малайзия (2), Перу (2), Израиль (2), Чили (2) и Центральноафриканская Республика (2).

2. Методы и материалы

Дистанционное зондирование картографирования площадей возгорания имеет долгую историю, начиная с начала 1970-х годов, и в течение 2000–2020 годов оно попрежнему является активной темой исследований с использованием передовых методов, объединяющих геостатистику, а также объектно-ориентированные методы и методы машинного обучения [29]. За последние два десятилетия был разработан и применен широкий спектр продуктов для картирования возгорания леса в глобальном, региональном и локальном масштабах.

Уменьшение отражательной способности растительного покрова в видимом и ближнем инфракрасном диапазонах и увеличение отражательной способности поверхности в коротком и среднем инфракрасном диапазоне большинства спутниковых датчиков, происходящее после лесного пожара, может облегчить идентификацию патернов местности возгорания [30]. Среди широко используемых оптических признаков вегетационные индексы (ВИ) играют основную роль в исследованиях дистанционного зондирования лесных пожаров. В течение двух десятилетий наиболее часто используемым ВИ по сравнению с другими индексами был нормализованный разностный вегетационный индекс (NDVI) (128 исследований, 23.4%), за которым следовал дельта-нормализованный коэффициент сжигания (dNBR) (81 исследование, 14.8%), нормализованный показатель сжигания. Отношение (NBR) (77 исследований, 14.1%) и относительный разный нормализованный коэффициент сжигания (RdNBR) (32 исследования, 5.8%). В общей сложности 34 исследования (6.2%) использовали составной индекс ожогов (CBI) для сопоставления данных дистанционного зондирования с полевыми характеристиками тяжести ожогов, наблюдаемых после лесных пожаров [31].

В ряде исследований наблюдали усиленный вегетационный индекс (21 случай, 3.8%), индекс площади гари (18 случаев, 3.3%), нормированный разностный водный индекс (NDVI) (17 случаев, 3.1%), индекс выгорания в среднем инфракрасном диапазоне (MIRBI) (12 случаев, 2.2%) и индекс глобального мониторинга окружающей среды (GEMI) (12 случаев, 2.2%). Чтобы свести к минимуму отражательную способность почвы, также применялись вегетативный индекс с поправкой на почву (SAVI) (13 случаев, 2.4%), модифицированный SAVI (MSAVI) (12 случаев, 2.2%) и индекс обугленной почвы (CSI) (6 случаев, 1.1%).

В начале 2000 г. использование AVHRR, MODIS, IRS, SPOT/HRVIR и Landsat для обнаружения горячих точек на основе изображений dNDVI широко применялось для оценки БА во многих исследованиях. Подтвержденные горячие точки затем используются для получения пороговых значений различий NDVI на региональном уровне для картирования площади горения леса. В качестве альтернативы NDVI нелинейный глобальный индекс мониторинга окружающей среды (GEMI) дал лучшие результаты для выделения гарей в нескольких лесных экосистемах. GEMI был специально разработан, чтобы свести к минимуму проблемы загрязнения растительного сигнала посторонними факторами для мониторинга недавно выгоревших территорий. Другой нелинейный индекс площади пожаров (BAI), который объединяет минимальную отражательную способность выгоревшей растительности в ближнем ИК-диапазоне и максимум в красных полосах, изначально был разработан для распознания площади горения на изображениях NOAA-AVHRR. BAI был адаптирован к диапазонам MODIS NIR и SWIR (BAIM) для картирования недавно выгоревших территорий в средиземноморских экосистемах. Биспектральный индекс среднего инфракрасного диапазона (MIRBI), который применяется к длинам волн SWIR, также показал сильное спектральное разделение между выгоревшими и несгоревшими областями. Некоторые исследователи обнаружили, что MIRBI оказался надежным средством уменьшения путаницы со смешанными пикселями, обнаруженными на границах между водой и сушей и в районах, пострадавших от предыдущих лесных пожаров.

За последние десятилетия было разработано несколько глобальных продуктов для обнаружения местности горения леса на основе датчиков среднего и высокого разрешения. В частности, спутниковые данные датчика VEGETATION (VGT) на борту европейского спутника

SPOT-4 использовались для оценки глобальной БА на основе крупномасштабных особенностей растительности или сезонной горящей активности в различных экосистемах (бореальных, тропических, лесостепных, саваннах и т. д.).). Проект GLOBSCAR был инициирован в 2001 году как часть Программы пользователей данных Европейского космического агентства (ЕКА) с целью создания глобальных карт БА на основе прибора вдоль трекового сканирующего радиометра (ATSR-2) на борту ЕКА ERS - 2 спутника. Продукт Globcarbon BA (проект ЕКА), который был разработан с пространственным разрешением 1 км, 10 км, 0.250 м и 0.50 м с месячным временным разрешением для фокусировки на десяти полных годах (1998–2007 гг.), можно гибко применять для существующие архивы и легко объединяются в модели системы Земля [32].

Два продукта NASA BA, MODIS MCD45A1 и MCD64A1, которые отображают пространственную протяженность и приблизительную дату сжигания биомассы во всем мире с пространственным разрешением 500 м, были проверены с использованием Landsat в южной части Африки, западной США и Центральной Сибири. Оба продукта использовались для проведения широкого круга исследований, касающихся оценок лесных пожаров и выбросов от сжигания биомассы. Информация о пожарах для системы управления ресурсами (FIRMS) также является полезным продуктом, разработанным НАСА, который предоставляет данные MODIS об активных пожарах руководителям лесного хозяйства в более чем 90 странах.

В последние годы появились подходы к планетарному геопространственному анализу с использованием облачной платформы Google Earth Engine (GEE) с несколькими каталогами спутниковых данных с разным пространственным разрешением (MODIS, Landsat и Sentinel-2). Чтобы обеспечить более высокую точность и обнаруживать небольшие выгоревшие участки, был предложен новый метод глобального ежегодного картографирования выгоревших территорий (GABAM 2015) с пространственным разрешением 30 м, основанный на огромном каталоге изображений временных рядов Landsat, а также на высокопроизводительных вычислениях, мощность GEE [33].

Среди проанализированных публикаций значительный интерес вызывают спутниковые оценки неоднородности тяжести возгорания в пределах лесного пожара. Для целей настоящего исследования мы определили тяжесть возгорания как степень, в которой экосистема изменилась из-за как краткосрочных, так и долгосрочных последствий лесных пожаров. Относительные величины тяжести возгорания часто выражаются в терминах конкретных характеристик лесной экосистемы (растительность, подстилка и почва), которые визуально ранжируются после возникновения пожара. В контексте дистанционного зондирования тяжесть возгорания обычно относится к измерениям, сделанным непосредственно после лесного пожара, включая такие показатели, как потребление растительного покрова и гибель деревьев или потребление и обугливание органических профилей почвы.

Оценка тяжести ожогов в полевых условиях часто основывается на прямых измерениях составного ожогового индекса (CBI), который был разработан для оценки тяжести на месте путем оценки среднего состояния ожога на полевом участке. В течение последних двух десятилетий CBI часто использовался во многих исследованиях для проверки различных продуктов дистанционного зондирования и для всесторонней оценки степени тяжести возгорания в широком диапазоне различных лесных экосистем. Недостатком CBI является то, что он требует знания допожарных условий оцениваемой территории и не учитывает различия в фракционном покрытии каждого слоя экосистемы. De Santis и Chuvieco [34] предложили модифицированный геометрически структурированный композитный индекс ожогов (GeoCBI) для улучшения определения степени тяжести ожогов по данным дистанционного зондирования. Это оперативный инструмент для визуальной оценки степени ожогов от пожара на земле в пяти лесных ярусах (почвы, подлесок, средний полог, верхний ярус и доминирующие деревья). В нескольких исследованиях сообщается, что GeoCBI сильнее коррелирует со спектральной отражательной способностью растительности на выжженных территориях. В других исследованиях было высказано предположение, что площадь и тяжесть ожогов также можно количественно оценить с помощью дистанционных измерений LAI и эмпирических моделей.

В то время как NDVI все еще используется в текущих исследованиях, в течение 2005-2020 гг. появился нормализованный коэффициент горения Landsat (NBR), предназначенный для оценки тяжести возгорания лесных лесных пожаров с использованием технологии дистанционного зондирования. NBR (и разностный NBR) включает информацию о спектральных изменениях на поверхности с использованием различных откликов ближнего инфракрасного (NIR, 0.76-0.90 мм) и среднего инфракрасного (SWIR, 2.08-2.35 мм) диапазонов для создания масштабированного индекса. Подход dNBR, рассчитанный путем вычитания NBR после пожара из NBR до пожара, дает более точную оценку тяжести ожога, чем одиночный NBR, поскольку он основан на измерении изменений коэффициента отражения на пиксель, что делает общий подход более применимым в экосистемах. Очерчивание рассчитанных изображений dNBR Landsat и их пороговое значение по классам серьезности легло в основу программы мониторинга тенденций интенсивности пожаров (MTBS), в рамках которой все лесные пожары площадью более 200 га наносятся на карту на национальном уровне. И индексы dNBR, и dNDVI были точными при выявлении ожогов высокой степени тяжести в лесах северной Патагонии, но в меньшей степени при выявлении ожогов средней и легкой тяжести. Epting и другие [35] оценили 13 показателей дистанционного зондирования (отдельные полосы, отношения полос, индексы растительности, многомерные компоненты, нормализованные различия) для картирования тяжести ожогов во внутренних районах Аляски и пришли к выводу, что NBR после пожара дает наилучшие корреляции с CBI на основе поля в закрытых игольчатых листах, смешанных и широколиственных лесах, за которыми следует dNBR. Однако они предупредили, что взаимосвязь между NBR и CBI была хуже в районах с редким древесным покровом (открытые леса, кустарники, травы и пастбища).

dNBR обеспечивает меру абсолютного изменения, тогда как RdNBR был разработан как относительная мера для учета пространственных вариаций индекса площади

листьев до пожара и для улучшения оценок в районах с неоднородным и непродуктивным растительным покровом. Среди исследователей нет единого мнения относительно использования каждого индекса тяжести возгорания с точки зрения лесных экосистем, рельефа местности и расчетных масштабов. Некоторые исследования пришли к выводу, что RdNBR обеспечивает более последовательную оценку тяжести ожога с более высокой точностью классификации, чем dNBR. Другие исследователи сообщают, что взаимосвязь между NBR и его производными (dNBR и RdNBR) и тяжестью ожогов сильно различается и непостоянна в зависимости от выгоревших территорий и типов экосистем (саванны, бореальные и тропические леса). Исследование, проведенное на юго-востоке Китая, показало, что dNBR является более надежным показателем для картирования тяжести лесных пожаров, чем RdNBR, что привело к более высоким значениям R2 и меньшим значениям RMSE для лесной площади [36]. Основываясь на полевых данных о шести пожарах, исследование в национальных парках Канады показало, что dNBR имеет более высокую общую точность классификации, чем RdNBR, и что пожары с наименьшей сомкнутостью лесного полога и рейтингом неоднородности не показали улучшения с RdNBR. Результаты этого исследования показывают, что модель, полученная из RdNBR, не оценивала тяжесть ожога более точно, чем dNBR (точность классификации 65.2% против 70.2%). Кроме того, использование NBR или dNBR для оценки тяжести ожогов может быть затруднено из-за изменений топографии и угла возвышения солнца в течение вегетационного периода. Относительный коэффициент выгорания (RBR), который является альтернативой dNBR и RdNBR, был предложен в качестве метрики на основе Landsat и оценен для лесных пожаров на граничащих западных территориях США. Их результаты показывают, что RBR превзошел dNBR и RdNBR по общей точности и в соответствии с CBI, измеренным в полевых условиях. Однако также было обнаружено, что на неоднородных территориях с высоким присутствием кустарников и травы были незначительные различия между dNBR, RdNBR или RBR в оценке тяжести возгорания. Хотя все эти стандартные спектральные индексы остаются наиболее подходящими для оценки тяжести ожогов, между исследователями нет единого мнения относительно сильных и слабых сторон каждого индекса, полученного из NBR.

Количественная оценка послепожарных последствий становится все более важной для понимания того, как реагируют лесные экосистемы, включая восстановление растительности, модели сукцессии, устойчивость экосистем, воздействие на окружающую среду и планирование управления лесами. В этом отношении ДЗ признан незаменимым инструментом для мониторинга моделей лесовосстановления после лесных пожаров. Среди различных количественных методов особый интерес для исследователей представляют преобразования Tasseled Cap и Multitemporal Kauth-Thomas, поскольку они основаны на оценке спутниковых снимков трех ключевых показателей послепожарного состояния растительности — яркости, зелени и влажности. В многочисленных исследованиях использовался комплексный анализ, связанный как с преобразованиями для картирования изменений, так и с нарушениями в лесах после лесных пожаров.

Было проведено несколько исследований послепожарной динамики в экосистемах бореальных лесов с использованием оптических датчиков. Hicke и другие [37] оценили среднее послепожарное восстановление NPP для бореальных лесов Северной Америки примерно в 9 лет, используя 17-летний временной ряд наблюдений AVHRR NDVI. В другом исследовании использовались два набора данных 17-летнего временного ряда NDVI AVHRR для изучения восстановления растительности после лесных пожаров в бореальных лесах Канады [38]. Результаты показали, что скорость восстановления лесов различалась в течение трех лет с эпизодами лесных пожаров (1981, 1989 и 1995 годов) и что время восстановления до исходного уровня (5 лет и более) было короче, чем в предыдущих исследованиях. Cuevas-Gonzalez и другие [39] наблюдали пространственно-временные закономерности доли поглощенной фотосинтетически активной радиации (fAPAR) с использованием временных рядов MODIS для оценки послепожарной динамики во время и через два года после пожара в сибирских бореальных лесах. Их результаты показали, что различия в траекториях fAPAR коррелируют с типом леса, а изменения fAPAR существенно не различаются между бореальными широтными регионами. Послепожарное восстановление сибирских бореальных лесов изучалось с использованием 16-летних временных рядов NDVI и NDSWIR (нормализованный разностный коротковолновый инфракрасный индекс), полученных из MODIS [36]. Результаты показали, что для полного восстановления временных сигналов NDVI и NDSWIR после лесного пожара требуется более 13 лет. Epting и Verbyla [40] использовали изображения Landsat TM/ETM+ для оценки сукцессии лесов за 16-летний период после пожара во внутренних районах Аляски. Результаты исследования показали, что структура послепожарных бореальных лесов Аляски тесно связана как с типами допожарной растительности, так и с ДО. Через шестнадцать лет после пожара большая часть высоких участков БС с закрытыми хвойными, разомкнутыми хвойными и смешанными классами леса перешла в редколесья или кустарники. Фрейзер и другие [41] использовали три показателя спектрального восстановления, полученные из ежегодных попиксельных временных рядов NBR Landsat, для оценки циклов восстановления канадских бореальных лесов. Они обнаружили, что темпы спектрального восстановления лесов после пожаров увеличились в период с 1986 по 2011 год на 18% на востоке Таежного щита и на 9% на западе Таежного щита в Канаде.

Многие исследования послепожарной реакции растительности основаны на выделении спектральных полос и индексов растительности (в основном NDVI, dNBR и EVI) по разновременным снимкам MODIS, Landsat, SPOT и Sentinel в разных регионах и лесных экосистемах мир. Многочисленные исследования показали, что NDVI имеет более высокую корреляцию с отрастанием растительности после пожара, площадью листьев и биомассой, чем другие ВИ. Резкие изменения условий роста экосистемы, вызванные лесными пожарами, часто приводят к быстрым процессам лесовосстановления, которые можно наблюдать на региональном уровне по данным временных рядов MODIS 250 м NDVI. Ryu и

другие [42] использовали данные MODIS и Landsat TM/OLI для оценки процессов восстановления леса и физиологической активности после лесного пожара в апреле 2000 года на восточном побережье Южной Кореи. Результаты исследований показывают, что состояние экосистемы сосны (Pinus densiflora) улучшилось до исходного состояния через 8 лет после пожара, тогда как биомассе растительности потребовалось больше времени для восстановления. Meng и другие [43] также использовали изменение NDVI после тридцати пяти пожаров в смешанном хвойном лесу в горах Сьерра-Невада в Калифорнии между 1999 и 2006 гг., в то время как горелый пихтовый лес был чувствителен к послепожарной температуре. Lee и Chow [44] обнаружили, что растительность быстро восстановилась в первые три года (значительно увеличился NDVI) после лесного пожара в государственном парке Бастроп (США), но это восстановление все еще значительно отставало по сравнению с контрольным участком полевых данных.

Динамика послепожарного восстановления оценивалась в лесах средиземноморской сосны (Pinus halepensis и Pinus pinaster) (Испания) с использованием временной сегментации временных рядов Landsat (1994-2018 гг.)). Исследования показывают, что темпы восстановления сосновых лесов сильно коррелировали с послепожарным климатом в среднесрочной и долгосрочной перспективе. В нескольких исследованиях по моделированию темпов восстановления и возобновления лесов использовались другие важные факторы, такие как тип растительности, подстилающий рельеф, почвы, экспозиция склона, количество осадков и индикаторы засухи. Zhao и другие [45] оценили спектральное восстановление леса после пожара в экосистеме Большого Йеллоустона (GYE) с использованием алгоритма отслеживания изменений стека и растительности Landsat Time Series (LTSS-VCT) и изображений с высоким пространственным разрешением из Google Earth. Они обнаружили, что лесовосстановление сильно коррелирует с типом леса, высотой над уровнем моря и типом почвы GYE. Другое исследование средиземноморских лесных экосистем продемонстрировало доказательства того, что количество непрекращающихся лесных пожаров в течение короткого периода уменьшило восстановление лесов, измеряемое отрицательным значением EVI, на которое также повлияли микроклиматические эффекты (влажность почвы и окружающей среды). Такие исследования также предполагают, что результаты более значимы, когда учитываются, моделируются и сравниваются другие важные факторы с восстановлением леса на площади возгорания.

3. Результаты и обсуждение

Результаты анализа создают основу для вышеупомянутых задач для будущих исследований в области лесных пожаров, тяжести возгорания и послепожарного восстановления:

- Важно проводить больше исследований в лесных экосистемах Южной Америки, Африки и Евразии, поскольку эти регионы оказывают большое влияние на глобальный баланс углерода и изменение климата.

- Дальнейшие определенные исследования, вероятно, будут включать использование данных с более высоким разрешением, алгоритмов многокритериального анализа, эмпирических моделей и объединение данных с нескольких датчиков. Принятие этих методов и данных потенциально может устранить неправильную классификацию и высокую изменчивость в исследованиях лесных пожаров, тяжести возгорания и восстановлении после пожара.

- Нейронные сети, деревья классификации и регрессии (CART), нечеткое моделирование и OBIA также очень перспективны в будущих исследованиях с применением алгоритмов больших данных и новых платформ обработки. Использование алгоритмов машинного обучения и методов облачных вычислений (например, GEE) открывает новые возможности для области исследования.

- Обзор предполагает, что необходимо провести дополнительные исследования по поиску методов уменьшения ошибок классификации изображений РС (упущение и комиссия) и повышения глобальной и региональной точности карты возгорания леса, особенно в регионах с недостаточным объемом данных.

- Комбинация изображений ДЗ от пассивных и активных датчиков может дать больше информации в области исследования, включая возможность преодоления проблем с облачным покровом в возгорании лесов.

- Ожидается увеличение интеграции LiDAR, радаров, гиперспектральных датчиков и новых технологий БПЛА в будущих исследованиях лесных пожаров. Также имеется огромный потенциал для исследования пространственно-временной закономерности послепожарного восстановления и подходов к мониторингу возгорания лесов с целью повышения устойчивости экосистем.

4. Выводы

В этой статье представлен всесторонний обзор прогресса и развития приложений на основе ДЗЗ для обнаружения и мониторинга лесных пожаров. Были рассмотрены в общей сложности 329 соответствующих статей в 48 рецензируемых журналах, касающихся всех аспектов дистанционного зондирования площади возгорания леса за последние два десятилетия. База данных, содержащая информацию об оценках лесных пожаров на основе ДЗ, была создана в качестве основы для анализа. Были проанализированы работы по направленности исследований, экологическому районированию, пространственному разрешению изображений ДЗЗ, временному охвату, породам деревьев, спектральным индексам, справочным данным, общей точности и применяемым методам классификации. Был проведен глубокий анализ для обсуждения применения систем ДЗ в исследованиях после пожаров в лесах во всем мире, что отличает наше исследование от предыдущих обзоров. Рассматриваемые темы включают оценку и картографирование площадей пожаров, оценку серьезности пожаров и мониторинг восстановления лесов после пожаров.

Данная работа показывает, что количество исследований дистанционного зондирования лесных пожаров существенно увеличилось с начала 2000-х годов и достигло пика в десятилетие 2011-2020 годов. Доминирующие исследования проводились с использованием оптических датчиков (261 случай, 80%) на базе спутников Landsat, Sentinel, Terra, Aqua, Sentinel, AVHRR и SPOT. Согласно карте Глобальной экологической зоны FAO, большинство рассмотренных исследований было проведено в субтропических сухих лесах (21.4%, 92 случая). Что касается

дискриминации древесных пород, то в исследованиях в основном описывалась сосна (37.0%). NDVI и dNBR были наиболее часто используемыми индексами VI по сравнению с другими индексами. Исследования показывают, что существуют некоторые проблемы, в основном из-за спектрального смешения и низкого качества проверочных данных, при определении площади и тяжести возгорания. Использование мультисенсорных изображений может повысить точность и уменьшить неопределенность оценок площади возгорания. Также существует потребность в глобальных и региональных продуктах с более высоким пространственным разрешением, чтобы обеспечить наиболее точную оценку BA. Использование классификаторов RF, SVM и MLH позволило выявить классы лесных БА без существенной разницы между ними. В течение 2000-2020 годов методы классификации постепенно стремились достичь более высокой общей точности, особенно при использовании наземных данных и объединении данных из разных справочных источников. Следовательно, ожидается, что дистанционное зондирование улучшит методологии обнаружения и мониторинга БА быстрым и экономически эффективным способом и, таким образом, повысит его роль в устойчивом управлении лесами.

Литература / References

[1] Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2020). The State of the World's Forests. In Forests, Biodiversity and People. *Rome, Italy*

[2] Artés, T., Oom, D., de Rigo, D., Durrant, T.H., Maianti, P., Libertà, G. & San-Miguel-Ayanz, J. (2019). A global wildfire dataset for the analysis of fire regimes and fire behaviour. *Scientific Data, (6), 296.* https://doi.org/10.1038/s41597-019-0312-2

[3] Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2020). Global Forest Resources Assessment: Main Report. *Rome, Italy*

[4] Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2014). Carbon and Other Biogeochemical Cycles. In Climate Change 2013 – The Physical Science Basis: Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (465-570). *Cambridge: Cambridge University Press.* https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.015

[5] Yue, C., Ciais, P., Cadule, P., Thonicke, K. & van Leeuwen, T.T. (2015). Modelling the role of fires in the terrestrial carbon balance by incorporating SPITFIRE into the global vegetation model ORCHIDEE—Part 2: Carbon emissions and the role of fires in the global carbon balance. *Geoscientific Model Development, (8), 1285–1297*. https://doi.org/10.5194/gmd-8-1321-2015, 2015

[6] Flannigan, M.D., Stocks, B.J. & Wotton, B.M. (2000). Climate change and forest fires. *Science of Total Environment, 262(3), 221–229*. https://doi.org/10.1016/S0048-9697(00)00524-6

[7] Stephens, S.L., Agee, J.K., Fulé, P.Z., North, M.P., Romme, W.H., Swetnam, T.W. & Turner, M.G. (2013). Managing forests and fire in changing climates. *Science 2013, 342, 41–42*

[8] Etchellsa, H., O'Donnella, A.J., McCawb, W.L. & Griersona, P.F. (2020). Fire severity impacts on tree mortality and post-fire recruitment in tall eucalypt forests of southwest Australia. *Forest Ecology and Management, 459, 117850*. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.117850

[9] Loboda, T., Krankina, O., Savin, I., Kurbanov, E. & Joanne, H. (2017). Land management and the impact of the 2010 extreme drought event on the agricultural and ecological systems of European Russia. *In Land-Cover and Land-Use Changes in Eastern Europe after the Collapse of the Soviet Union in 1991, Springer International Publishing: Cham, Switzerland*. https://doi.org/10.1007/978-3-319-42638-9_8

[10] Seidl, R., Schelhaas, M.J., Rammer, W. & Verkerk, P.J. (2014). Increasing forest disturbance in Europe and their impacts on carbon storage. *Nature Climate Change 2014, 4, 806–810*

[11] Thompson, M.P., Rodríguez y Silva, F., Calkin, D.E. & Hand, M.S. (2017). A review of challenges to determining and demonstrating efficiency of large fire management. *International Journal of Wildland Fire, 26, 562–573*. https://doi.org/10.1071/WF16137

[12] Brecka, A.F.J., Boulanger, Y., Searle, E.B., Taylor, A.R., Price, D.T., Zhu, Y., Shahia, C. & Chena, H.Y.H. (2020). Sustainability of Canada's forestry sector may be compromised by impending climate change. *Forest Ecology and Management. 2020, 474, 118352*. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118352

[13] Staal, A., van Nes, E.H., Hantson, S., Holmgren, M., Dekker, S.C., Pueyo, S., Xu, C. & Scheffer, M. (2018). Resilience of tropical tree cover: The roles of climate, fire and herbivory. *Global Change Biology, 24(11), 5096–5109*. https://doi.org/10.1111/gcb.14408

[14] Mosquera-Losada, M.R., Santiago-Freijanes, J.J., Rois-Díaz, M., Moreno, G., den Herder, M., Aldrey-Vázquez, J.A., Ferreiro-Domínguez, N., Pantera, A., Pisanelli, A. & Rigueiro-Rodríguez, A. (2018). Agroforestry in Europe: A land management policy tool to combat climate change. *Land Use Policy, 78, 603–613*. https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2018.06.052

[15] Sousa-Silva, R., Verbist, B., Lomba, Â., Valent, P., Suškevicˇs, M., Picard, O., Hoogstra-Klein, M.A., Cosofret, V.-C., Bouriaud, L., Ponette, Q., et al. (2018). Adapting forest management to climate change in Europe: Linking perceptions to adaptive responses. *Forest Policy and Economics, 90, 22–30*. https://doi.org/10.1016/j.forpol.2018.01.004

[16] Otón, G., Ramo, R., Lizundia-Loiola, J. & Chuvieco, E. (2019). Global detection of long-term (1982–2017) burned area with AVHRR-LTDR data. *Remote Sensing, 11(18), 2079*. https://doi.org/10.3390/rs11182079

[17] Talukdar, S., Singha, P., Mahato, S., Shahfahad, Pal, S., Liou, Y.-A. & Rahman, A. (2020). Land-use land-cover classification by machine learning classifiers for satellite observations—A review. *Remote Sensing, 12(7), 1135*. https://doi.org/10.3390/rs12071135

[18] Verhegghen, A., Eva, H., Ceccherini, G., Achard, F., Gond, V., Gourlet-Fleury, S. & Cerutti, P.O. (2016). The Potential of Sentinel Satellites for Burnt Area Mapping and Monitoring in the Congo Basin Forests. *Remote Sensing, 8(12), 986*. https://doi.org/10.3390/rs8120986

[19] Santana, N.C., De Carvalho Júnior, O.A., Gomes, R.A.T. & Guimarães, R.F. (2018). Burned-area detection in Amazonian environments using standardized time series per pixel in MODIS data. *Remote Sensing, 10(12), 1904*. https://doi.org/10.3390/rs10121904

[20] Gupta, S., Roy, A., Bhavsar, D., Kala, R., Singh, S. & Kumar, A.S. (2016). Forest fire burnt area assessment in the biodiversity rich regions using geospatial technology: Uttarakhand forest fire event 2016. *Journal of Indian Society of Remote Sensing, 46, 945–955*

[21] Campagnolo, M.L., Oom, D., Padilla, M. & Pereira, J.M.C. (2019). A patch-based algorithm for global and daily burned area mapping. *Remote Sensing of Environment, 232, 111288*. https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.111288

[22] Roy, D.P., Boschetti, L. & Trigg, S.N. (2006). Remote sensing of fire severity: Assessing the performance of the normalized burn ratio. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, 3(1), 112–116*. https://doi.org/10.1109/LGRS.2005.858485

[23] Kurbanov, E., Vorobyev, O., Leznin, S., Polevshikova, Y. & Demisheva, E. (2017). Assessment of burn severity in Middle Povozhje with Landsat multitemporal data. *International journal of Wildland Fire, 26(9), 772–782*. https://doi.org/10.1071/WF16141

[24] Chen, X., Vogelmann, J., Rollins, M., Ohlen, D., Key, C., Yang, Y., Huang, C. & Shi, H. (2011). Detecting post-fire burn severity and vegetation recovery using multitemporal remote sensing spectral indices and field-collected composite burn index data in

a ponderosa pine forest. *International Journal of Remote Sensing, 32(23), 7905–7927*. https://doi.org/10.1080/01431161.2010.524678
[25] Saulino, L., Rita, A., Migliozzi, A., Maffei, C., Allevato, E., Garonna, A.P. & Saracino, A. (2020). Detecting Burn Severity across Mediter- ranean Forest Types by Coupling Medium-Spatial Resolution Satellite Imagery and Field Data. *Remote Sensing, 12(4), 741*. https://doi.org/10.3390/rs12040741
[26] Cuevas-González, M., Gerard, F., Balzter, H. & Riano, D. (2009). Analysing forest recovery after wildfire disturbance in boreal Siberia using remotely sensed vegetation indices. *Global Change Biology, 15, 561–577*. https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2008.01784.x
[27] Van Leeuwen, W.J.D., Casady, G.M., Neary, D.G., Bautista, S., Alloza, J.A., Carmel, Y., Wittenberg, L., Malkinson, D. & Orr, B.J. (2010). Monitoring post-wildfire vegetation response with remotely sensed time-series data in Spain, USA, and Israel. *International journal of Wildland Fire, 19(1), 75–93*. https://doi.org/10.1071/WF08078
[28] Kibler, C.L., Parkinson, A.-M.L., Peterson, S.H., Roberts, D.A., D'Antonio, C.M., Meerdink, S.K. & Sweeney, S.H. (2019). Monitoring post-fire recovery of chaparral and conifer species using field surveys and Landsat time series. *Remote Sensing, 11(24), 2963*. https://doi.org/10.3390/rs11242963
[29] Fernández-Guisuraga, J.M., Suárez-Seoane, S. & Calvo, L. (2020). Transferability of vegetation recovery models based on remote sensing across different fire regimes. *Applied Vegetation Science, 23(3), 441–451*. https://doi.org/10.1111/avsc.12500
[30] Girardin, M.P., Ali, A.A. & Hely, C. (2010). Wildfires in boreal ecosystems: Past, present and some emerging trends. *International journal of Wildland Fire, 19, 913–926*. https://doi.org/10.1071/WFv19n8_FO
[31] Gitas, I., Mitri, G., Veraverbeke, S. & Polychronaki, A. (2012). Advances in remote sensing of post-fire vegetation recovery monitoring-A review. *Remote Sensing of Biomass - Principles and Applications, London, UK*. https://doi.org/10.5772/20571
[32] Miettinen, J., Hyer, E., Chia, A.S., Kwoh, L.K. & Liew, S.C. (2013). Detection of vegetation fires and burnt areas by remote sensing in insular Southeast Asian conditions: Current status of knowledge and future challenges. *International journal of Remote Sensing, 34, 4344–4366*. https://doi.org/10.1080/01431161.2013.777489
[33] Long, T., Zhang, Z., He, G., Jiao, W., Tang, C., Wu, B., Zhang, X., Wang, G. & Yin, R. (2019). 30 m resolution Global Annual Burned Area Mapping Based on Landsat images and Google Earth Engine. *Remote Sensing, 11(5), 489*. https://doi.org/10.3390/rs11050489
[34] De Santis, A., Chuvieco, E. (2009). GeoCBI: A modified version of the Composite Burn Index for the initial assessment of the short-term burn severity from remotely sensed data. *Remote Sensing of Environment, 113(3), 554–562*. https://doi.org/10.1016/j.rse.2008.10.011
[35] Epting, J., Verbyla, D. & Sorbel, B. (2005). Evaluation of remotely sensed indices for assessing burn severity in interior Alaska using Landsat TM and ETM+. *Remote Sensing of Environment*, 96(3-4), 328–339. https://doi.org/10.1016/j.rse.2005.03.002
[36] Cai, L., Wang, M. (2022). Is the RdNBR a better estimator of wildfire burn severity than the dNBR? A discussion and case study in southeast China. *Geocarto International, 37(2), 758–772*. https://doi.org/10.1080/10106049.2020.1737973
[37] Hicke, J.A., Asner, G.P., Kasischke, E.S., French, N.H.F., Randerson, J.T., Collatz, G.J., Stocks, B.J., Compton, J.T., Tucker, C.J., Los, S.O.; et al. (2003). Postfire response of North American boreal forest net primary productivity analyzed with satellite observations. *Global Change Biology, 9, 1145–1157*. https://doi.org/10.1046/j.1365-2486.2003.00658.x
[38] Goetz, S.J., Fiske, G.J. & Bunn, A.G. (2006). Using satellite time-series data sets to analyze fire disturbance and forest recovery across Canada. *Remote Sensing of Environment, 101, 352–365*. https://doi.org/10.1016/j.rse.2006.01.011
[39] Cuevas-Gonzalez, M., Gerard, F., Balzter, H. & Riano, D. (2008). Studying the change in fAPAR after forest fires in Siberia using MODIS. *International journal of Remote Sensing. 2008, 29(23), 6873–6892*. https://doi.org/10.1080/01431160802238427
[40] Epting, J., Verbyla, D. (2005). Landscape-level interactions of prefire vegetation, burn severity, and postfire vegetation over a 16-year period in interior Alaska. *Canadian Journal of Forest Research, 35, 1367–1377*. https://doi.org/10.1139/x05-060
[41] Frazier, R.J., Coops, N.C., Wulder, M.A., Hermosilla, T. & White, J.C. (2018). Analyzing spatial and temporal variability in short-term rates of post-fire vegetation return from Landsat time series. *Remote Sensing of Environment, 205, 32–45*. https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.11.007
[42] Ryu, J.-H., Han, K.-S., Hong, S., Park, N.-W., Lee, Y.-W. & Cho, J. (2018). Satellite-Based Evaluation of the Post-Fire Recovery Process from the Worst Forest Fire Case in South Korea. *Remote Sensing, 10(6), 918*. https://doi.org/10.3390/rs10060918
[43] Meng, R., Dennison, P.E., Huang, C., Moritz, M.A. & D'Antonio, C. (2015). Effects of fire severity and post-fire climate on short-term vegetation recovery of mixed-conifer and red fir forests in the Sierra Nevada Mountains of California. *Remote Sensing of Environment, 171, 311–325*. https://doi.org/10.1016/j.rse.2015.10.024
[44] Lee, R.J., Chow, T.E. (2015). Post-wildfire assessment of vegetation regeneration in Bastrop, Texas, using Landsat imagery. *GIScience & Remote Sensing, 52(5), 609–626*. https://doi.org/10.1080/15481603.2015.1055451
[45] Zhao, F.R., Meng, R., Huang, C., Zhao, M., Zhao, F.A., Gong, P., Yu, L. & Zhu, Z. (2016). Long-term post-disturbance forest recovery in the greater yellowstone ecosystem analyzed using Landsat time series stack. *Remote Sensing, 8(11), 898*. https://doi.org/10.3390/rs8110898

Орман өртінің мөлшері, күйікті жағдайы және өртті қайта алу үшін жерді қашықтан зондтауды қолдану

Н.Т. Шогелова[1*], С.А. Сартин[2]

[1]*Халықаралық білім беру корпорациясы, Алматы, Қазақстан*
[2]*М. Қозыбаев атындағы Солтүстік Қазақстан университеті, Петропавл, Қазақстан*

**Корреспонденция үшін автор: nazym-shogelova@mail.ru*

Аңдатпа. Орман өрттері орман экожүйелеріне қатты әсер етіп, олардың биоәртүрлілігі мен тұрақтылығын жоғалтады. Сонымен қатар, олар жаһандық көміртегі балансына және, сайып келгенде, климаттың өзгеруіне қатты әсер етеді. Бұл мақалада орман өртенген аумақты, өрттің ауырлығын, өрт әсерлерін және жаһандық деңгейде орманды

молықтыру үлгілерін бағалау үшін пайдаланылатын қашықтықтан зондтау әдістері мен деректері бойынша зерттеулер талданады. Зерттеу соңғы екі онжылдықта (2000-2020) 48 журналда жарияланған зерттеу саласының негізгі аспектілері бойынша таңдалған 329 мақалаға негізделген талдау нәтижелерін талқылайды. Журналдар, кеңістік ауқымы, географиялық таралуы, қашықтықтан зондтау сенсорларының түрлері, экологиялық аудандастыру, ағаш түрлері, спектрлік индекстер және зерттеулерде қолданылған дәлдік өлшемдерін қамтитын мақала сипаттамалары талданды. Сондай-ақ, мақалада орман өрттерінің аумағын, өрттердің ауырлығын және өрттен кейінгі қалпына келтіруді бағалаудағы негізгі тенденциялар, проблемалар және әртүрлі қашықтықтан зондтау әдістерінің құндылығының артуы талқыланады. Соңында, ол келесі буын қашықтан зондтау жүйелерін, жіктеу әдістерін және бұлтты есептеулерді, сондай-ақ аймақтық және ауқымды зерттеу қосымшалары үшін жаңа технологиялық платформаларды пайдалана отырып, болашақ зерттеулердің әлеуетті мүмкіндіктерін анықтайды.

Негізгі сөздер: *орман өрттері, жерді қашықтықтан зондтау, орман өрттерінің аймағы, өрттің ауырлығы, орманды қалпына келтіру.*

Применение дистанционного зондирования земли для определения площади лесных пожаров, степени горения и восстановление после пожара

Н.Т. Шогелова[1*], С.А. Сартин[2]

[1]*Международная образовательная корпорация, Алматы, Казахстан*
[2]*Северо-Казахстанский университет имени М. Козыбаева, Петропавловск, Казахстан*

**Автор для корреспонденции: nazym-shogelova@mail.ru*

Аннотация. Лесные пожары сильно влияют на лесные экосистемы, вызывая утрату их биоразнообразия и их устойчивость. Кроме того, они оказывают сильное влияние на глобальный углеродный баланс и, в конечном счете, на изменение климата. В этой статье проведен анализ исследований методов дистанционного зондирования и данных, используемых для оценки площади выгоревших лесов, серьезности пожаров, последствий пожаров и закономерностей восстановления лесов на глобальном уровне. В исследовании обсуждаются результаты анализа на основе 329 избранных статей по основным аспектам изучаемой области, опубликованных в 48 журналах за последние два десятилетия (2000-2020 гг.). Проведен анализ характеристик статей, включая журналы, пространственную протяженность, географическое распространение, типы датчиков дистанционного зондирования, экологическое зонирование, породы деревьев, спектральные индексы и показатели точности, используемые в исследованиях. Так же в работе обсуждены основные тенденции, проблемы и возрастающая ценность различных методов дистанционного зондирования в оценке площади лесных пожаров, тяжести пожаров и послепожарного восстановления. Наконец, в нем определены потенциальные возможности для будущих исследований с использованием систем дистанционного зондирования нового поколения, методов классификации и облачных вычислений, а также новых платформ процессов для региональных и крупномасштабных приложений в области исследований.

Ключевые слова: *лесные пожары, дистанционное зондирование земли, площадь лесных пожаров, тяжесть возгорания, восстановление леса.*

Received: 30 March 2023
Accepted: 15 June 2023
Available online: 30 June 2023

CONTENTS

Kazieva N.K., Seraya N.V., Yulussov S.B., Khabiyev A.T., Merkibayev Y.S.
PHYSICO-CHEMICAL STUDIES OF TECHNOGENIC GOLD-CONTAINING WASTES OF THE AKSU DEPOSIT..... 5
Terlikbaeva A.Zh., Alimzhanova A.M., Shayakhmetova R.A., Mukhametzhanova A.A., Maldybaev G.K., Sakhova B.T., Kuandykova A.N., Eremeeva Zh.V.
OBTAINING FINE-GRAINED HARD ALLOYS HOMOGENEOUS IN CARBIDE GRAIN….... 12
Askarova G.E., Begalinov A.B., Shautenov M.R., Amantaiuly K.
THE MAIN CHARACTERISTICS OF THE DEVELOPMENT OF ORES OF THE GOLD-BEARING VASILKOVSKOYE DEPOSIT……... 19
Safina A.U.
RIVER RUNOFF RESOURCES OF THE SHU-TALAS WATER MANAGEMENT BASIN IN THE CONTEXT OF CLIMATE CHANGE..... 25
Shogelova N., Sartin S.
EARTH REMOTE SENSING APPLICATION FOR FOREST FIRE SIZE, BURN STATE AND FIRE RECOVERY..... 31

МАЗМҰНЫ

Қазиева Н.К., Серая Н.В., Юлусов С.Б., Хабиев А.Т., Меркибаев Е.С.
АҚСУ КЕН ОРНЫНЫҢ ҚҰРАМЫНДА АЛТЫНЫ БАР ТЕХНОГЕНДІК ҚАЛДЫҚТАРДЫ ФИЗИКА-ХИМИЯЛЫҚ ЗЕРТТЕУ 5
Терликбаева А.Ж., Алимжанова А.М., Шаяхметова Р.А., Мухаметжанова А.А., Малдыбаев Г.К., Сахова Б.Т., Куандыкова А.Н., Еремеева Ж.В.
КАРБИД ДӘНІ БОЙЫНША БІРТЕКТІ ҰСАҚ ТҮЙІРШІКТІ ҚАТТЫ ҚОРЫТПАЛАРДЫ АЛУ.. 12
Аскарова Г.Е., Бегалинов А.Б., Шаутенов М.Р., Амантайұлы Қ.
АЛТЫНҚҰРАМДЫ ВАСИЛЬКОВ КЕНОРЫННЫҢ КЕНДЕРІН ИГЕРУДІҢ НЕГІЗГІ СИПАТТАМАЛАРЫ 19
Сафина А.У.
КЛИМАТТЫҚ ӨЗГЕРІСТЕР ЖАҒДАЙЫНДАҒЫ ШУ-ТАЛАС СУ ШАРУАШЫЛЫҒЫ БАССЕЙНІНІҢ ӨЗЕН АҒЫНЫНЫҢ РЕСУРСТАРЫ..... 25
Шогелова Н.Т., Сартин С.А.
ОРМАН ӨРТІНІҢ МӨЛШЕРІ, КҮЙІКТІ ЖАҒДАЙЫ ЖӘНЕ ӨРТТІ ҚАЙТА АЛУ ҮШІН ЖЕРДІ ҚАШЫҚТАН ЗОНДТАУДҚЫ ҚОЛДАНУ..... 31

СОДЕРЖАНИЕ

Казиева Н.К., Серая Н.В., Юлусов С.Б., Хабиев А.Т., Меркибаев Е.С.
ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕХНОГЕННЫХ ЗОЛОТОСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ МЕСТОРОЖДЕНИЯ АКСУ……. 5
Терликбаева А.Ж., Алимжанова А.М., Шаяхметова Р.А., Мухаметжанова А.А., Малдыбаев Г.К., Сахова Б.Т., Куандыкова А.Н., Еремеева Ж.В.
ПОЛУЧЕНИЕ ОДНОРОДНЫХ ПО КАРБИДНОМУ ЗЕРНУ МЕЛКОЗЕРНИСТЫХ ТВЕРДЫХ СПЛАВОВ…….. 12
Аскарова Г.Е., Бегалинов А.Б., Шаутенов М.Р., Амантайұлы Қ.
ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РАЗРАБОТКИ РУД ЗОЛОТОСОДЕРЖАЩЕГО ВАСИЛЬКОВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ…….. 19
Сафина А.У.
РЕСУРСЫ РЕЧНОГО СТОКА ШУ-ТАЛАССКОГО ВОДОХОЗЯЙСТВЕННОГО БАССЕЙНА В УСЛОВИЯХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ……. 25
Шогелова Н.Т., Сартин С.А.
ПРИМЕНЕНИЕ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПЛОЩАДИ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ, СТЕПЕНИ ГОРЕНИЯ И ВОССТАНОВЛЕНИЕ ПОСЛЕ ПОЖАРА..... 31

Учредитель: Satbayev University

Регистрация:
Министерство информации и общественного развития Республики Казахстан
№ KZ19VPY00056529 от 30.09.2022

Официальный сайт: https://vestnik.satbayev.university/index.php/journal/

Основан в августе 1994 г. Выходит 6 раз в год

Адрес редакции:
г. Алматы, ул. Сатпаева,
22 тел.: 292-63-46

© КазНИТУ имени К.И. Сатпаева, 2023