



**ВЕСТНИК РОССИЙСКОГО УНИВЕРСИТЕТА ДРУЖБЫ НАРОДОВ.
СЕРИЯ: ИНЖЕНЕРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ**

Том 19 № 4 (2018)

DOI: 10.22363/2312-8143-2018-19-4

<http://journals.rudn.ru/engineering-researches>

Научный журнал

Издается с 2000 г.

Издание зарегистрировано Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор)
Свидетельство о регистрации ПИ № ФС 77-61174 от 30.03.2015 г.
Учредитель: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Российский университет дружбы народов»

Главный редактор

Разумный Юрий Николаевич — доктор технических наук, профессор, директор Инженерной академии, Российский университет дружбы народов, директор департамента механики и мехатроники Инженерной академии, Российский университет дружбы народов

Заместитель главного редактора

Резник Сергей Васильевич — доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Ракетно-космические композитные конструкции», Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана

Ответственный секретарь

Ткаченко Ирина Михайловна — кандидат технических наук, доцент департамента механики и мехатроники Инженерной академии, Российский университет дружбы народов

Члены редакционной коллегии

Алифанов Олег Михайлович — доктор технических наук, профессор, член-корреспондент Российской академии наук, заведующий кафедрой космических систем и ракетостроения, Московский авиационный институт

Галишикова Вера Владимировна — доктор технических наук, директор департамента строительства Инженерной академии, Российский университет дружбы народов

Дивеев Асхат Ибрагимович — доктор технических наук, профессор, заведующий сектором проблем кибернетики Федерального исследовательского центра «Информатика и управление», Российская академия наук

Захаров Валерий Николаевич — доктор технических наук, профессор, член-корреспондент Российской академии наук, директор Института проблем комплексного освоения недр, Российская академия наук

Калугин Владимир Тимофеевич — доктор технических наук, профессор, руководитель Научно-учебного комплекса специального машиностроения, Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана

Кополов Владимир Николаевич — доктор технических наук, профессор департамента машиностроения и приборостроения Инженерной академии, Российский университет дружбы народов

Корнилова Анна Владимировна — доктор технических наук, профессор департамента строительства Инженерной академии, Российский университет дружбы народов

Мальшев Вениамин Васильевич — доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой системного анализа, Московский авиационный институт

Омельченко Ирина Николаевна — доктор технических наук, доктор экономических наук, профессор, декан факультета инженерного бизнеса и менеджмента, Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана

Попов Гарри Алексеевич — доктор технических наук, профессор, академик Российской академии наук, директор Научно-исследовательского института прикладной механики и электродинамики, Московский авиационный институт

Рыльникова Марина Владимировна — доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник Института проблем комплексного освоения недр, Российская академия наук

Фомин Валерий Михайлович — доктор технических наук, профессор кафедры автомобильных и тракторных двигателей, Московский государственный машиностроительный университет

Агравал Бридж — профессор Навал Постградуейт Скул, Монтерей, США

Варатараджу Ренугант — профессор Университета Путра Малайзия, Малайзия

Герман Анна — профессор Университета Бейра Интериор, Португалия

Грациани Филиппо — профессор Римского университета «Ла Сапиенца», Италия

Мисра Арун — профессор Университета МакГилл, Канада

Мортари Даниэль — профессор Техасского университета A&M, США

Спенсер Дэвид — профессор Университета Пенн Стейт, США

Фурфаро Роберто — профессор Университета Аризоны, США

Хоуэлл Кэтлин — профессор, Университет Пердью, Уэст-Лафайетт, США

Ясика Тетсуо — профессор эмерит, Университет Кюсю, Япония

ВЕСТНИК РОССИЙСКОГО УНИВЕРСИТЕТА ДРУЖБЫ НАРОДОВ. СЕРИЯ: ИНЖЕНЕРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

ISSN 2312-8151 (online); ISSN 2312-8143 (print)

Периодичность 4 выпуска в год.

Сайт журнала: <http://journals.rudn.ru/engineering-researches> (открытый доступ)

Языки: русский, английский.

Журнал индексируют: РИНЦ, Google Scholar, Ulrich's Periodicals Directory, WorldCat, East View, Cyberleninka.

Включен в Перечень ведущих научных журналов и изданий ВАК при Минобрнауки России по группе научных специальностей: 05.02.00 — Машиностроение и машиноведение; 05.23.00 — Строительство и архитектура; 25.00.00 — Науки о Земле (по состоянию на 29.01.2018).

Подписной индекс по каталогу агентства «Роспечать» — 18230.

Цель и тематика

В журнале публикуются результаты фундаментальных и прикладных научных исследований российских и зарубежных ученых по направлениям «Информатика», «Вычислительная техника», «Архитектура и строительные науки», «Машиностроение и материаловедение», «Геология, горное и нефтегазовое дело», «Науки о Земле».

Научный журнал «Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Инженерные исследования» адресован научным работникам, инженерам, аспирантам, студентам старших курсов технических вузов.

Выпуски журнала в полнотекстовом виде доступны в базе данных Российского индекса научного цитирования (РИНЦ) на платформе Научной электронной библиотеки (НЭБ) elibrary.ru, а также на сайте журнала <http://journals.rudn.ru/engineering-researches>

Редактор *Ю.А. Заикина*
Компьютерная верстка: *О.Г. Горюнова*

Адрес редакции:

Российская Федерация, 115419, Москва, ул. Орджоникидзе, д. 3
Тел.: +7 (495) 955-07-16; e-mail: publishing@rudn.ru

Адрес редакционной коллегии серии «Инженерные исследования»:
Российская Федерация, 115419, Москва, ул. Орджоникидзе, д. 3
Тел.: +7 (495) 955-07-92; e-mail: engjournalrudn@rudn.university

Подписано в печать 15.10.2018. Выход в свет 29.10.2018. Формат 70×100/16.

Бумага офсетная. Печать офсетная. Гарнитура «NewtonС».

Усл. печ. л. 12,26. Тираж 500 экз. Заказ № 1648. Цена свободная.

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«Российский университет дружбы народов» (РУДН)

Российская Федерация, 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6

Отпечатано в типографии ИПК РУДН

Российская Федерация, 115419, Москва, ул. Орджоникидзе, д. 3
Тел.: +7 (495) 952-04-41; e-mail: publishing@rudn.ru



RUDN JOURNAL OF ENGINEERING RESEARCHES

VOLUME 19 NUMBER 4 (2018)

DOI: 10.22363/2312-8143-2018-19-4

<http://journals.rudn.ru/engineering-researches>

Founded in 2000

Founder: PEOPLES' FRIENDSHIP UNIVERSITY OF RUSSIA

Editor-in-Chief

Yury N. Razumny — Professor, Director of the Academy of Engineering, Peoples' Friendship University of Russia, Director of the Department of Mechanics and Mechatronics of the Academy of Engineering, Peoples' Friendship University of Russia

Associate Editor-in-Chief

Sergey V. Reznik — Professor, Head of the Department "Rocket and Space Composite Structures", Bauman Moscow State Technical University

Assistant to the Editor-in-Chief

Irina M. Tkachenko — Associate Professor, Department of Mechanics and Mechatronics of the Academy of Engineering, Peoples' Friendship University of Russia

Editorial Board

Oleg M. Alifanov — Professor, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Head of the Department of Space Systems and Missile Design, Moscow Aviation Institute

Vera V. Galishnikova — Associate Professor, Director of the Department of Civil Engineering, Engineering Academy, Peoples' Friendship University of Russia

Askhat I. Diveev — Professor, Head of the Sector of Problems of Cybernetics of Federal Research Center "Informatics and Control", Russian Academy of Sciences

Valery N. Zaharov — Professor, Director of the Institute for Problems of Integrated Development of the Subsurface, Russian Academy of Sciences, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences

Vladimir T. Kalugin — Professor, Dean of the Departments of Mechanical Engineering, Bauman Moscow State Technical University

Vladimir N. Konoplev — Professor, Professor of the Department of Mechanical Engineering and Instrument Engineering, Engineering Academy, Peoples' Friendship University of Russia

Anna V. Kornilova — Associate Professor, Professor of the Department of Civil Engineering, Engineering Academy, Peoples' Friendship University of Russia

Veniamin V. Malyshev — Professor, Head of the Department of System Analysis, Moscow Aviation Institute

Irina N. Omelchenko — Professor, Dean of the Department of Engineering Business and Management, Bauman Moscow State Technical University

Harri A. Popov — Professor, Director of the Research Institute of Applied Mechanics and Electrodynamics, Moscow Aviation Institute, Member of the Russian Academy of Sciences

Marina V. Rylnikova — Professor, Chief Researcher of the Institute for Problems of Integrated Development of the Subsurface, Russian Academy of Sciences

Valeriy M. Fomin — Professor, Moscow Polytechnic University

Brij Agrawal — Professor, Naval Postgraduate School, Monterey, USA

Renuganth Varatharajoo — Professor, University Putra Malaysia, Malaysia

Anna Guerman — Professor, Universidade da Beira Interior, Portugal

Filippo Graziani — Professor, University Roma "La Sapienza", Italy

Kathleen Howell — Professor, Purdue University, USA

Arun Misra — Professor, McGill University, Canada

Daniele Mortari — Professor, Texas A&M University, USA

David Spencer — Professor, Penn State University, USA

Kathleen Howell — Professor of the Purdue University, West Lafayette, USA

Roberto Furfaro — Associate Professor, Professor, University of Arizona

Tetsuo Yasaka — Professor Emeritus, Kyushu University, Japan

RUDN JOURNAL OF ENGINEERING RESEARCHES
Published by the Peoples' Friendship University of Russia, Moscow

ISSN 2312-8151 (online); ISSN 2312-8143 (print)

Published 4 times a year.

Website: <http://journals.rudn.ru/engineering-researches> (Open Access).

Languages: Russian, English

Indexed by Ulrich's Periodicals Directory, RSCI (elibrary.ru), Cyberleninka, Google Scholar, WorldCat, East View.

Aims and Scope

The journal publishes results of fundamental and applied research of Russian and foreign scientists on specific scientific research themes. The editorial board of the journal invites the cooperation of experts working in the areas of computer science, computer engineering, architecture and construction sciences, mechanical engineering and materials science, geology, mining and petroleum engineering, earth science.

The scientific journal "RUDN Journal of Engineering Researches" is addressed to researchers, engineers, graduate students, senior students of polytechnical universities.

The journal has been included in the list of the leading review journals and editions of the Highest Certification Committee of Ministry of Education and Science of Russian Federation in which the basic results of PhD and Doctoral Theses are to be published.

The journal website operates on the Portal of RUDN University scientific journals: <http://journals.rudn.ru/engineering-researches>. The website contains full information about the journal, editorial policy and ethics, requirements for the preparation and publication of the articles, etc., as well as full-text issues of the journal since 2008 (Open Access).

Copy Editor *Iu.A. Zaikina*
Layout Designer *O.G. Gorunova*

Address of the editorial board:

3 Ordzhonikidze St., Moscow, 115419, Russian Federation
Ph.: +7 (495) 955-07-16; e-mail: publishing@rudn.ru

Address of the editorial board series "Engineering Researches":

3 Ordzhonikidze St., Moscow, 115419, Russian Federation
Ph.: +7 (495) 955-07-92; e-mail: engjournalrudn@rudn.university

Printing run 500 copies. Open price.

Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education
"Peoples' Friendship University of Russia"
6 Miklukho-Maklaya St., Moscow, 117198, Russian Federation

Printed at RUDN Publishing House:

3 Ordzhonikidze St., Moscow, 115419, Russian Federation
Ph.: +7 (495) 952-04-41; e-mail: publishing@rudn.ru

СОДЕРЖАНИЕ

МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

- Резник С.В., Чубанов Д.Е.** Моделирование динамики раскрытия крупногабаритного трансформируемого рефлектора космической антенны из композиционного материала..... 411
- Кириловский В.В.** Резервы совершенствования конструкций валов 426

АРХИТЕКТУРА И СТРОИТЕЛЬНЫЕ НАУКИ

- Гринько Е.А.** Классификация аналитических поверхностей применительно к параметрической архитектуре и машиностроению..... 438
- Кази Шибли Суман, Шувалов В.М.** Проектирование универсального аттрактивного транспортного перехода Сундарбан над Бенгальским заливом 457
- Benyoucef Y.M., Razin A.D.** Consideration of climatic conditions in the design of dwellings in the Sahara desert (Анализ климатических условий при проектировании жилой застройки в пустыне Сахара) 471

ГЕОЛОГИЯ, ГОРНОЕ И НЕФТЕГАЗОВОЕ ДЕЛО. НАУКИ О ЗЕМЛЕ

- Абрамов В.Ю., Мамаду Д., Ромеро М., Алджабасини Х.** Прогноз площадей распространения отложений газогидратов по геофизическим данным в Гвинейском заливе 482
- Ламамра А., Котельникова Е.М., Сергеев А.О.** Характеристика горных пород рудного месторождения Бухадры в Алжире 493
- Георгиевский А.Ф., Бугина В.М.** Особенности катагенетического сульфатонакопления в пермских осадочных комплексах Центральной России..... 503
- Campos Cedeno A.F., Mendoza Alava J.O., Sinichenko E.K., Gritsuk I.I.** Influence of the El Niño phenomena on the climate change of the Ecuadorian coast (Влияние явления Эль-Ниньо на изменение климата эквадорского побережья) 513
- Degbegnon L., De Souza M.C.J.** Modern topographic devices and electromagnetic waves: impact on accuracy of measurements (Влияние электромагнитных волн на точность измерений современных топографических устройств) 524
- Mahmoud A.S., Dyakonov V.V., Dawoud M.I., Kotelnikov A.E.** Mineral composition, textures and gold habit of the Hamama mineralizations (Central Eastern Desert of Egypt) (Минеральный состав, текстура и формы золотой минерализации Хамама (центральная часть Восточной пустыни Египта)) 537

CONTENTS

MECHANICAL ENGINEERING AND MATERIAL SCIENCE

- Reznik S.V., Chubanov D.E.** Large-sized transformable space antenna reflector made of composite materials dynamic modeling process 411
- Kirilovskiy V.V.** Reserves for improving the design of shafts..... 426

ARCHITECTURE AND CIVIL ENGINEERING

- Grinko E.A.** Classification of analytical surfaces as applied to parametrical architecture and machine building 438
- Qazi Shibli Suman, Shuvalov V.M.** Design of universal attractive transport passage Sundarbans over the Bay of Bengal..... 457
- Benyoucef Y.M., Razin A.D.** Consideration of climatic conditions in the design of dwellings in the Sahara desert 471

GEOLOGY, MINING AND OIL & GAS ENGINEERING. EARTH SCIENCE

- Abramov V.Yu., Mamadou D., Romero M., Aljabasini H.** Forecast of areas of distribution of gas hydrogat deposits on geophysical data in the Gulf of Guinea 482
- Lamamra A., Kotelnikova E.M., Sergeev A.O.** Characterization of the rock mass of the Boukhadra mine (Algeria) 493
- Georgievskiy A.F., Bugina V.M.** Special aspects of catagenetic sulfate accumulation in Permian sedimentary sequences of Central Russia..... 503
- Campos Cedeno A.F., Mendoza Alava J.O., Sinichenko E.K., Gritsuk I.I.** Influence of the El Niño phenomena on the climate change of the Ecuadorian coast 513
- Degbegnon L., De Souza M.C.J.** Modern topographic devices and electromagnetic waves: impact on accuracy of measurements 524
- Mahmoud A.S., Dyakonov V.V., Dawoud M.I., Kotelnikov A.E.** Mineral composition, textures and gold habit of the Hamama mineralizations (Central Eastern Desert of Egypt) 537



Научная статья

DOI 10.22363/2312-8143-2018-19-4-411-425
УДК 629.78:514.85

Моделирование динамики раскрытия крупногабаритного трансформируемого рефлектора космической антенны из композиционного материала

С.В. Резник, Д.Е. Чубанов

Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана
(национальный исследовательский университет)
Российская Федерация, 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1

Крупногабаритные космические конструкции (ККК) занимают особое место среди других объектов космической техники. Из-за больших размеров они компактно укладываются под обтекатели ракет-носителей или в грузовые отсеки космических аппаратов (КА) по типу Space Shuttle. После вывода на рабочую орбиту ККК автоматически разворачиваются и принимают заданную конфигурацию с использованием трансформируемых элементов, одновременно выполняющих функции силового каркаса и приводов. Операцию разворачивания следует проводить в заданные сроки, и она не должна приводить к снижению прочности, нарушению формы и потере пространственной ориентации конструкции. Для выполнения этих требований необходимо теоретически исследовать динамику разворачивания проектируемой ККК. Настоящая работа нацелена на поиск оптимальных конструкторско-технологических решений сверхлегкого трансформируемого рефлектора зеркальной космической антенны из металлического сетеполотна с силовыми элементами в виде телескопических полых стержней из углепластика. Проведено численное моделирование динамики раскрытия силовых элементов антенного рефлектора с учетом присоединенного к ним сетеполотна с помощью отечественного программного комплекса EULER 10.25. В результате моделирования определено влияние натяжения сетеполотна на процесс раскрытия конструкции рефлектора. Учет упругой нагрузки от сетеполотна на силовые элементы позволит обеспечить их стабильность и жесткость и увеличить точность натяжения сетеполотна.

Ключевые слова: зеркальная космическая антенна, рефлектор, динамика раскрытия, численное моделирование, конструктивно-компоновочная схема, композиционный материал

Введение

В настоящее время крупногабаритные космические антенны оснащаются трансформируемыми рефлекторами. Поверхность этих рефлекторов, отражающая радиоволны, изготавливается из металлического сетеполотна на основе вольфрамовой, молибденовой проволоки, покрытой золотом, или стальной проволоки с покрытием из никеля. Сетчатые рефлекторы наиболее часто используют в диапазоне радиоволн менее 30 ГГц, обычно в диапазоне L. Металлическое сетеполотно

лотно имеет малую плотность, легко складывается и хорошо отражает радиоволны на указанных частотах.

Трансформируемые сетчатые рефлекторы имеют малую погонную плотность (массу на единицу площади поверхности), не превышающую $0,5 \text{ кг/м}^2$. Их масса колеблется от 50 до 100 кг при диаметре 12 м [1. С. 6—9].

Силовые схемы трансформируемых рефлекторов принято делить на вантово-ободные, зонтичные и ферменные.

Вантово-ободная схема рефлекторов наиболее тщательно разработана фирмой Astro Aerospace. Стержневые элементы несущей конструкции рефлектора AstroMesh этой фирмы (рис. 1) изготовлены из термостабильного углепластика, что делает ее достаточно прочной и легкой (масса рефлектора — 78 кг) [3].



Рис. 1. Рефлектор космической антенны вантово-ободной схемы фирмы Astro Aerospace
[Figure 1. Cable-rim scheme space antenna reflector of the Astro Aerospace Company]

Недостатком такого типа рефлекторов является необходимость чрезвычайно сложной и тонкой настройки тросов, отвечающих за формирование профиля отражающей поверхности. Кроме того, на точность поверхности оказывает влияние жесткость обода — кольцевого пантографа, выполненного из полых стержней. С увеличением диаметра обода количество стержневых элементов и их масса растут быстрее, что ведет к увеличению погонной плотности рефлектора. Также в [4; 5] отмечалась вероятность снижения точности профиля отражающей поверхности с приближением к периферии рефлектора. Указанный недостаток становится еще более критичным по мере возрастания габаритов рефлекторов в развернутом состоянии.

Другая распространенная схема конструкции рефлекторов именуется зонтичной (рис. 2). В этой схеме форма отражающей поверхности тоже регулируется тросами, но они закреплены на радиальных силовых элементах в виде полых стержней, идущих от центра. Достоинством этой схемы является меньшее количество силовых элементов и, соответственно, меньшая погонная плотность рефлектора.



Рис. 2. Рефлектор космической антенны зонтичной схемы фирмы Harris
[**Figure 2.** Umbrella type reflector of the space antenna, Harris Company]

Зонтичная схема позволяет реализовать эффективное регулирование формы отражающей поверхности через управление силовыми элементами. Ее основным недостатком являются высокие требования к надежности приводных элементов, которые обеспечивают раскрытие рефлектора и отвечают за регулировку формы отражающей поверхности.

Особое место среди крупногабаритных трансформируемых космических систем занимают ферменные конструкции (рис. 3). Они представляют собой пространственный складной каркас, состоящий из шарнирно соединенных стержней.

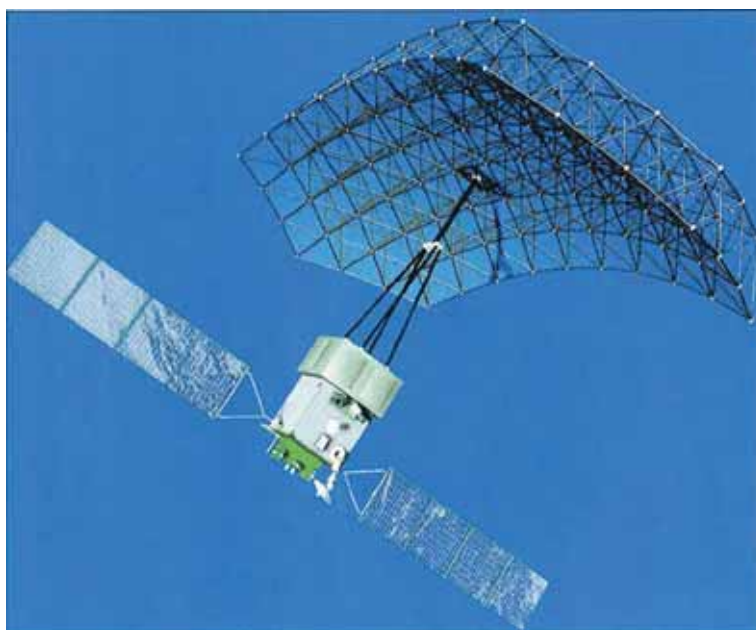


Рис. 3. Рефлектор космической антенны ферменной схемы АО «ОКБ МЭИ»
для малого космического аппарата «Север»

[**Figure 3.** Truss type reflector of the space antenna designed for small spacecraft “North”, JSC “OKB MEI”]

Особенность этих конструкций заключается в компактности при транспортировке, большом отношении объемов в раскрытом и сложенном состояниях, быстрой раскрываемости, малой массе при значительных размерах и в то же время большой площади рабочей поверхности в раскрытом состоянии.

Определение динамических характеристик упругих крупногабаритных трансформируемых космических конструкций относится к числу наиболее важных и трудных проблем динамики, что обусловлено сложностью конструкций, а также жесткими требованиями к точности их ориентации и стабилизации [6]. Задачи динамики крупногабаритных космических конструкций рассмотрены в ряде публикаций [7–12].

В [13] представлена структурная схема метода решения основных задач проектирования раскрывающихся конструкций космического аппарата (КА) с описанием управляемых переменных, видов нагрузки на раскрывающиеся конструкции, технических требований к конструкции. Моделирование раскрытия трансформируемой фермы проведено в программе «Зенит-95». Созданная универсальная модель позволяет определять кинематические, динамические и прочностные характеристики в процессе одного расчета.

Для моделирования раскрытия многозвенных космических конструкций разработаны программные комплексы EULER и Adams. С их помощью можно определить зависимости углов раскрытия звеньев конструкций от времени, длительность процесса раскрытия, относительные угловые скорости звеньев, а также последовательность их фиксации.

Моделирование процессов раскрытия многоэлементных подвижных конструкций КА рассмотрено в [14], где уделяется большое внимание кинематическим параметрам створок на момент фиксации и методам их оценки.

Вопросам развертывания антенного рефлектора в космосе с помощью штанги, имеющей в сложенном состоянии габариты, позволяющие разместить ее на КА под обтекателем, посвящена работа [15]. Штанга представляла собой стержневую конструкцию, в которой продольные стрелы каждой секции были складными.

Из проведенного анализа следует, что наименее изученным является вопрос о роли металлического сетеполотна в динамике раскрытия крупногабаритных космических конструкций. Также недостаточно изученным является вопрос нагрузки от натягивания сетеполотна на силовые элементы рефлектора. Учет этой нагрузки обеспечит повышение стабильности конструкции крупногабаритного трансформируемого антенного рефлектора и позволит увеличить точность отражающей поверхности.

Цель работы: определение влияния упругих нагрузок, возникающих при натягивании сетеполотна, на силовые элементы конструкции, а также роли критической нагрузки от сетеполотна на процесс раскрытия антенного рефлектора.

Постановка задачи и подходы к ее решению

Объектом исследований настоящей работы являлся трансформируемый сетчатый рефлектор космической антенны зонтичной схемы [16].

Геометрическая модель. Рефлектор представлял собой систему силовых элементов — телескопических штанг, к которым крепилось сетеполотно (рис. 4). Предполагалось, что каждая телескопическая штанга состоит из 4 полых трубчатых элементов (рис. 5).

Физические допущения. При моделировании динамики рефлектора была выделена секция, состоящая из двух идентичных штанг, выходящих из центрального узла крепления (рис. 6).

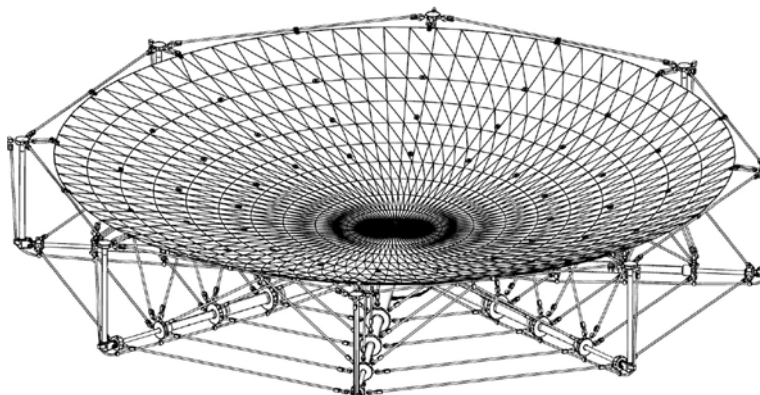


Рис. 4. Геометрическая модель трансформируемого рефлектора
[Figure 4. Geometric model of transformable reflector]

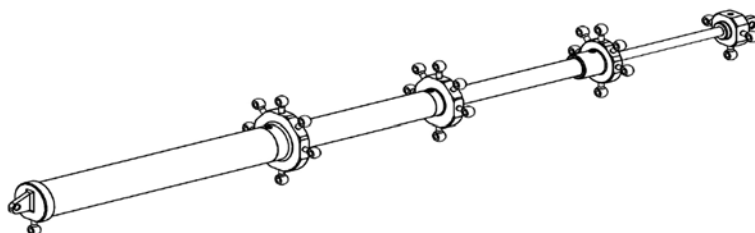


Рис. 5. Телескопическая штанга
[Figure 5. Telescopic bar]

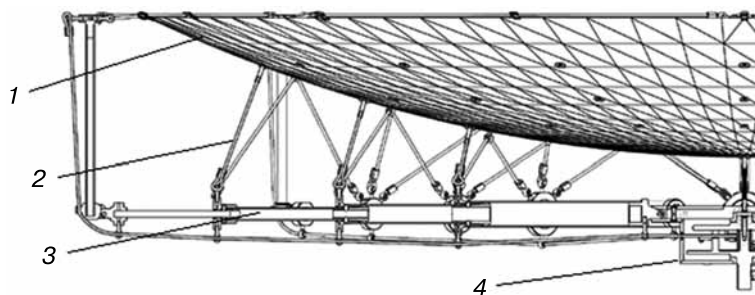


Рис. 6. Схема секции рефлектора с элементами крепления сетеполотна и тросов:
1 — сетчатая металлическая оболочка; 2 — трос; 3 — телескопическая штанга; 4 — центральный узел крепления
[Figure 6. Schematic of the reflector section with the fixing components and cables:
1 — metal mesh shell; 2 — cable; 3 — telescopic bar; 4 — interface (the central fixation point)]

Подразумевалось, что штанги соединяются с центральным узлом крепления идеальными шарнирами. Аналогичным образом скреплены между собой трубчатые элементы каждой штанги.

Массы и моменты инерции твердых тел принимались приближенно-равными массам и моментам инерции реальных звеньев конструкции. При определенном относительном положении смежных звеньев во время раскрытия на них накладывались связи, ограничивающие их взаимное перемещение. Технически связи выполнялись в виде различного рода упоров, которые моделировались упругими и демпфирующими элементами с соответствующими характеристиками. Действие нагрузки от сетеполотна к силовым элементам конструкции учитывалось также при помощи упругодемпфирующего элемента.

Математическая модель. Пружины, расположенные в шарнирах, моделировались упругими и демпфирующими элементами. Силовая характеристика каждого упругодемпфирующего элемента определялась следующим соотношением:

$$M_i(\varphi_i, \omega_i) = c_i(\varphi_{r,i} - \varphi_i) - \mu_i\omega_i,$$

где M_i — момент, возникающий в каждом пружинном элементе; c_i — коэффициент жесткости i -го упругого элемента; φ_i — текущий угол развертывания; $\varphi_{r,i}$ — предварительный угол закрутки i -го упругого элемента; μ_i — коэффициент вязкого трения i -го демпфирующего элемента; ω_i — относительная угловая скорость смежных звеньев.

Когда угол раскрытия смежных звеньев достигает определенного значения $\varphi_{fix,i}$ соответствующего их рабочему положению, происходит постановка звеньев на упоры. Постановка на упор моделировалась одним упругим и одним демпфирующим элементами с нелинейной зависимостью момента от угла развертывания:

$$M_{fix,i}(\varphi_i, \omega_i) = \begin{cases} 0, & \text{если } \varphi_i < \varphi_{fix,i}; \\ -c_{fix,i}(\varphi_i - \varphi_{fix,i}) - \mu_i\omega_i, & \text{если } \varphi_i \geq \varphi_{fix,i}, \end{cases}$$

где $c_{fix,i}$ — коэффициент жесткости i -го упругого элемента; $\varphi_{fix,i}$ — значение угла развертывания, при котором происходит постановка на упор [17].

Моделирование динамики раскрытия сегмента рефлектора. Для исследования динамической модели и визуализация процесса раскрытия сегмента телескопической конструкции как элемента многокомпонентной механической системы был использован отечественный программный комплекс EULER 10.25.

При моделировании заданы следующие геометрические параметры:

- длина каждого стержня — 1500 мм;
- наружные диаметры: 72, 62, 52, 42, 32 мм соответственно для 1–5 (откидного) стержня;
- толщина стенки стержня — 6 мм;
- плотность материала — 1600 кг/м³.

Параметры функций упора приведены в таблице.

Коэффициент жесткости в пружинных элементах, обеспечивающих раскрытие конструкции, принимался равным 1 Н/м.

Численные значения функций упора
[The numerical values of the functions of the end stop]

Тип элемента/тип связи [Element type/link type]	Коэффициент жесткости упругого элемента [Stiffness coefficient of elastic element]	Коэффициент вязкого трения демпфирующего элемента [Coefficient of viscous friction of the damping element]
Упор 1/вращательная [The end stop 1/rotational]	10 (Н·м)/рад [10 (N·m)/rad]	500(Н·м·с)/рад [500 (N·m·s)/rad]
Упор 2/поступательная [The end stop 2/translational]	1 Н/м [1 N/m]	200(Н·с)/м [200 (N·s)/m]
Упор 3/поступательная [The end stop 3/translational]	1 Н/м [1 N/m]	200(Н·с)/м [200 (N·s)/m]
Упор 4/поступательная [The end stop 4/translational]	1 Н/м [1 N/m]	200(Н·с)/м [200 (N·s)/m]
Упор 5/вращательная [The end stop 5/rotational]	10 (Н·м)/рад [10 (N·m)/ rad]	30(Н·м·с)/рад [30 (N·m·s)/rad]

На рис. 7 демонстрируется сегмент в начальном положении, пружинные механизмы каждого из шарниров находятся в сжатом состоянии, удерживая конструкцию в собранном виде.

Предполагалось, что раскрытие стержневых элементов и постановка их на упоры с последующим натяжением сетеполотна происходили одновременно. Раскрытие всех звеньев конструкции в один этап должно способствовать сокращению времени раскрытия всего рефлектора. В реализованной модели сетеполотно крепилось к основанию каждого элемента, тем самым имея четыре точки приложения (рис. 8).

На рис. 9 представлено конечное положение составляющих элементов при переводе конструкции в конечное (раскрытое) рабочее положение. Конструкция раскрывается при срабатывании механизма расчехловки за счет первоначально накопленной упругой энергии деформации пружин, расположенных в шарнирных соединениях. Раскрытие происходит относительно некоторой точки (оси) пространства, выбор которой определяется конкретным креплением конструкции к космическому аппарату.

На рис. 10 представлена нагрузка по координатным осям, действующая во вращательном элементе 1 в начальный момент натяжения сетеполотна.

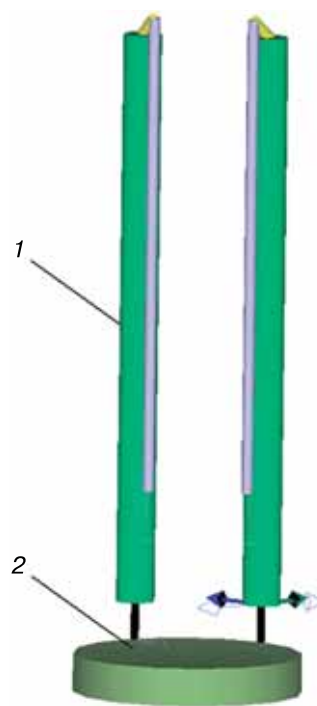


Рис. 7. Модель сегмента телескопической конструкции в собранном виде:
1 — телескопическая штанга; 2 — центральный узел крепления
[Figure 7. Model of a telescopic structure segment assembly:
1 — telescopic bar; 2 — central fixture]

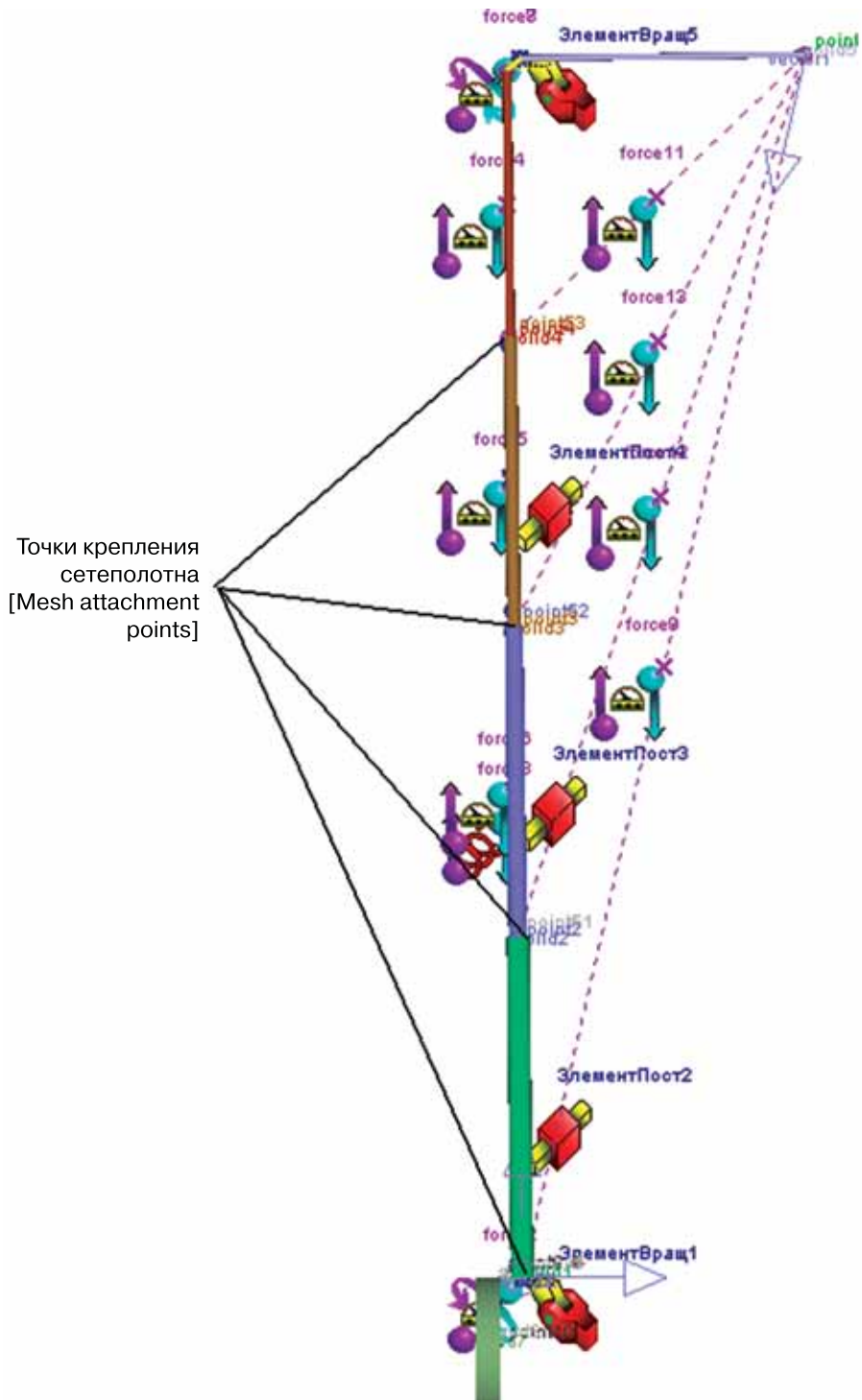


Рис. 8. Точки приложения нагрузки от натяжения сетеполотна
[Figure 8. Tensile load application point for mesh]

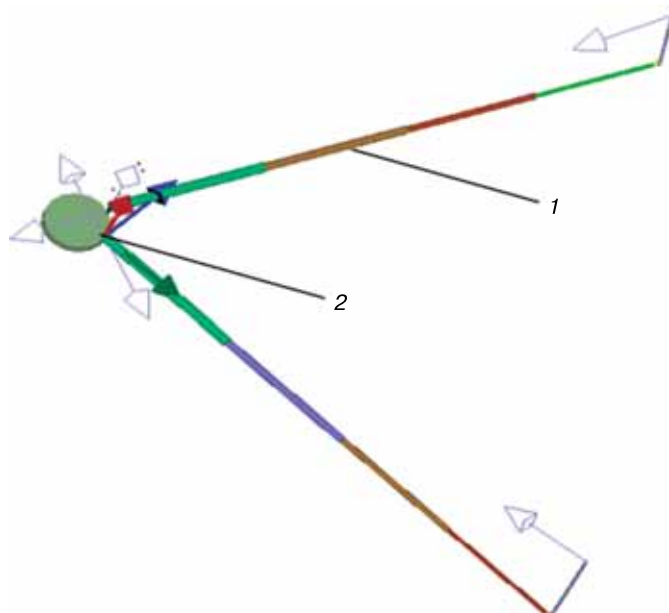


Рис. 9. Конечное положение конструкции в процессе раскрытия стержневой телескопической конструкции:
1 — телескопическая штанга; 2 — центральный узел крепления
[**Figure 9.** Terminal position of telescopic bar structure in deployment:
1 — telescopic bar; 2 — central fixture]

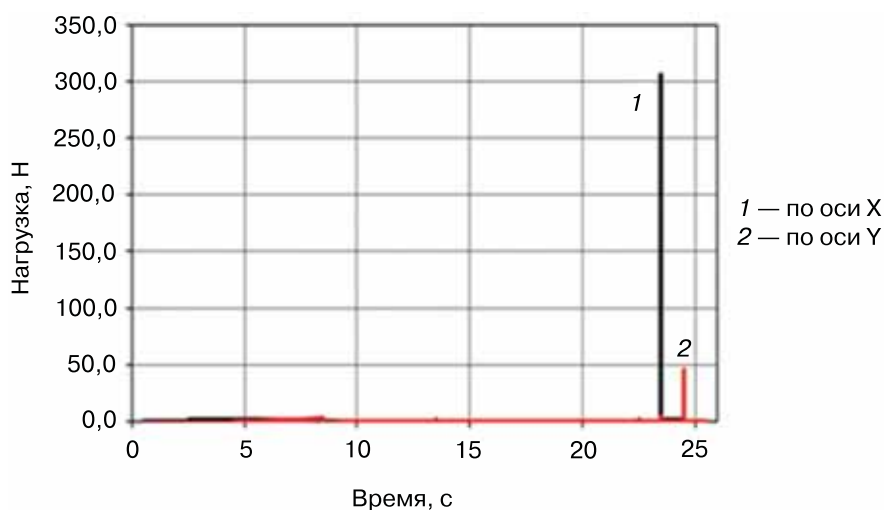


Рис. 10. Нагрузка во вращательном элементе 1
[**Figure 10.** Load on rotating element 1]

На рис. 11 демонстрируются значения нагрузки от натяжения сетеполотна на соединительные элементы конструкции в момент окончательного раскрытия. Как видно, нагрузка на элементы различна по значению и возрастает по мере удаления шарниров от точки приложения силы натяжения сетеполотна, что вполне обосновывается механикой процесса раскрытия конструкции.

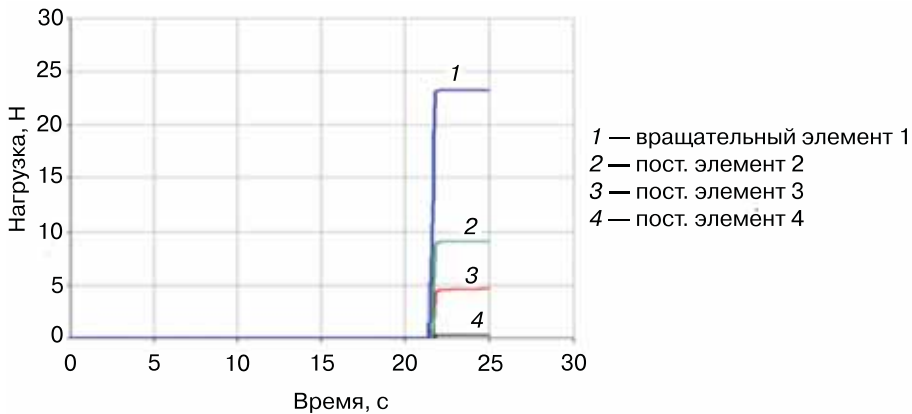


Рис. 11. Силовая нагрузка на шарнирные элементы со стороны натягивающегося сетеполотна
[Figure 11. Tensile load on hinge elements from mesh]

Если при развертывании сетеполотна нагрузку от ее натягивания увеличить в 100 раз, то модель с данными значениями жесткости пружинных механизмов элементов телескопической штанги не сможет развернуться.

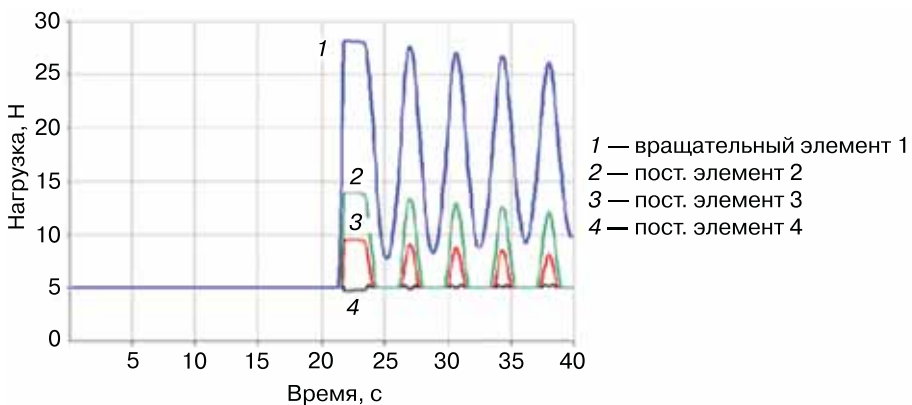


Рис. 12. Критическая силовая нагрузка на элементы со стороны натягивающегося сетеполотна
[Figure 12. Ultimate tensile load on structure elements]

Рис. 12 демонстрирует колебания нагрузки. Это означает, что пружинные механизмы конструкции не смогли преодолеть нагрузку, которая действовала на элементы телескопической штанги во время натяжения сетеполотна.

Заключение

По результатам динамического моделирования получены значения реакций опор по координатным осям во вращательном элементе 1 от натягивающегося металлического сетеполотна: $R_y = 50$ Н, $R_x = 310$ Н. При этом силовая нагрузка на каждый элемент конструкции по мере удаления от центрального узла крепления со стороны натягивающегося сетеполотна может составить: 23, 8, 5, 1 Н соответственно.

При увеличении нагрузки от натяжения сетеполотна в 100 раз раскрытие враждебного элемента 5 в конечное положение не происходит, что говорит о критическом значении нагрузки для выбранных коэффициентов жесткости. Влияние сетеполотна при раскрытии крупногабаритного трансформируемого антенного рефлектора имеет большое значение. Учет упругой нагрузки от сетеполотна на силовые элементы позволит обеспечить их стабильность и жесткость, что увеличит точность натяжения сетеполотна.

Разработанная модель может рассматриваться как базовая и использоваться для дальнейших исследований и анализа динамики раскрытия стержневых космических конструкций.

Список литературы

- [1] *Соколов А.Г., Гвамичава А.С.* Решения инженерных конструкций космических радиотелескопов. Антенны / под ред. А.А. Пистелькорса. М.: Радио и связь. 1981. Вып. 29. С. 2—10.
- [2] *Бойков В.Г.* Программный комплекс автоматизированного динамического анализа многокомпонентных механических систем EULER // САПР и графика. 2000. № 9. С. 17—20.
- [3] *Усюкин В.И., Архипов Ю.М.* Моделирование статики и динамики крупногабаритных рефлекторов космических антенн: учебное пособие. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2015. 56 с. URL: <http://ebooks.bmstu.ru/catalog/75/book973.html> (дата обращения: 11.08.2018).
- [4] *Мешковский В.Е.* Геометрическая модель раскрывающейся крупногабаритной космической конструкции ферменного типа // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Серия: Естественные науки. 2009. № 4. С. 56—71.
- [5] *Кузнецова А.О.* Исследование динамики движения раскрывающихся механических систем с упругими связями // Вестник СибГАУ им. М.Ф. Решетнева. 2005. № 3. С. 135—138.
- [6] *Зимин В.Н., Мешковский В.Е.* Динамика крупногабаритных раскрывающихся космических конструкций // Труды 2-й Международной конференции «Ракетно-космическая техника: фундаментальные и прикладные проблемы» (18—21 ноября 2003 г., Москва). М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005. Ч. II. С. 27—32.
- [7] *Smirnov A.V., Baryshev A.M., Pilipenko S.V. et al.* Space mission Millimetron for terahertz astronomy // Proceeding of SPIE (21 September 2012). Vol. 8442. 9 p. doi: 10.1117/12.927184
- [8] *Банничук Н.В., Карпов Н.И., Климов Д.И., Маркеев А.П., Соколов Б.Н., Шаранюк А.В.* Механика больших космических конструкций. М.: Факториал, 1997. 302 с.
- [9] *Зимин В.Н.* Разработка методов анализа динамики и оценки работоспособности раскрывающихся крупногабаритных космических конструкций ферменного типа: дис. ... д-ра техн. наук. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008. 309 с.
- [10] *Архипов М.Ю., Телепнев П.П.* Комплекс работ по численному моделированию динамики конструкции космического радиотелескопа проекта «Радиоастрон» // Космические исследования. 2014. Т. 52. № 5. С. 418—422.
- [11] *Голубев Е.С., Галиновский А.Л., Архипов М.Ю.* Моделирование и анализ динамических характеристик конструкции крупногабаритных теплозащитных экранов космического телескопа // Известия высших учебных заведений. Серия: Машиностроение. 2016. С. 76—84.
- [12] *Imbriale W.* Spaceborne antennas for planetary exploration. N.Y.: John Wiley and Sons, 2006. 592 p.
- [13] *Курков С.В., Гутовский И.Е.* Моделирование динамики процесса раскрытия космического аппарата методом конечных элементов // Труды XX Международной конференции «BEM & FEM». СПб., 2003. С. 41—48.

- [14] Крылов А.В., Чурилин С.А. Моделирование развертывания многозвенных замкнутых космических конструкций // *Инженерный журнал: наука и инновации.* 2012. № 8. doi: 10.18698/2308-6033-2012-8-449
- [15] Усюкин В.И. *Строительная механика конструкций космической техники.* М.: Машиностроение, 1988. 392 с.
- [16] Reznik S.V., Prosuntsov P.V., Mikhailovsky K.V., Shafikova I.R. Material science problems of building space antennas with a transformable reflector 100 m in diameter // *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering.* 2016. 153. 012001. doi:10.1088/1757-899X/153/1/012001
- [17] Юдинцев В.В. Моделирование процессов раскрытия многоэлементных конструкций космических аппаратов // *Полет.* 2012. № 5. С. 28—33.
- [18] Лянной Е.Г., Курков С.В., Готовский И.Е. Использование математических моделей для оценки и обеспечения безопасных зон раскрытия трансформируемой фермы // *Труды XXV Российской школы и XXXV Уральского семинара по проблемам науки и технологий.* М.: Межрегиональный совет по науке и технологиям, 2005. С. 78—87.
- [19] Дементьев Г.П., Захаров А.Г., Казаров Ю.К. и др. *Физико-технические основы применения и создания космических аппаратов.* М.: Машиностроение, 1987. 264 с.
- [20] Андреева Е.А., Блинов А.Ф., Гиммельман В.Г., Федоров Я.Ю., Щесняк С.С. Трансформируемая штанга крупногабаритного рефлектора // *Материалы XIX Решетневских чтений.* 2015. Т. 1. № 19. С. 65—67.
- [21] Бушуев А.Ю., Фарафонов Б.А. Математическое моделирование процесса раскрытия солнечной батареи большой площади // *Математическое моделирование и численные методы.* 2014. № 2. С. 101—114.

© Резник С.В., Чубанов Д.Е., 2018



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

История статьи:

Дата поступления в редакцию: 10 сентября 2018

Дата поступления доработанного текста: 16 октября 2018

Дата принятия к печати: 12 ноября 2018

Для цитирования:

Резник С.В., Чубанов Д.Е. Моделирование динамики раскрытия крупногабаритного трансформируемого рефлектора космической антенны из композиционного материала // *Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Инженерные исследования.* 2018. Т. 19. № 4. С. 411—425. DOI 10.22363/2312-8143-2018-19-4-411-425

Сведения об авторах:

Резник Сергей Васильевич — доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой СМ-13 ракетно-космических композитных конструкций, Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет). *Область научных интересов:* проектирование, производство и испытание конструкций ракетно-космической техники из композиционных материалов. *Контактная информация:* e-mail: sreznik@bmstu.ru. e-LIBRARY SPIN-код: 1000-3828.

Чубанов Дмитрий Евгеньевич — магистр техники и технологии, выпускник кафедры СМ-13 ракетно-космических композитных конструкций, Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет). В настоящее время работает в аэрокосмической промышленности. *Область научных интересов:* проектирование космических конструкций из композиционных материалов. *Контактная информация:* e-mail: chubanoff1994@gmail.com

Large-sized transformable space antenna reflector made of composite materials dynamic modeling process

Sergey V. Reznik, Dmitriy E. Chubanov

Bauman Moscow State Technical University (National Research University)
5 2-nd Baumanskaya St., bldg. 1, Moscow, 105005, Russian Federation

Abstract. Large space structures (LSS) occupy a special place among other objects of space technology. Due to their large size, these structures are compactly stowed under the fairings of the launch vehicles or in the cargo compartments of the Space Shuttle type spacecraft. After launch into the working orbit, they are deployed automatically into the predetermined configuration with the help of transformable elements, which act both as the load-bearing frame and actuators. The deployment should be carried out within the specified time and should not negatively affect the strength, shape or spatial orientation of the structure. To meet these requirements, it is necessary to theoretically investigate the deployment dynamics of the LSS under consideration. This paper aims to find the optimal design and engineering solutions of an ultralight transformable reflector for a space antenna made of metal mesh with load-bearing elements in the form of telescopic hollow rods made from carbon fiber reinforced plastic. The deployment dynamics of the load-bearing elements with the mesh attached was modeled using the Russian-made software package EULER 10.25. The modeling allowed us to estimate the effect of the tensile load from the mesh on the deployment process. With the elastic load from mesh accounted for, the stability and rigidity of the load-bearing elements will be ensured and the accuracy of the mesh tension will be increased.

Keywords: mirror space antenna reflector, the dynamics of deployment operation, numerical modeling, design-layout scheme, composite material

References

- [1] Sokolov A.G., Gvamichava A.S. Resheniya inzhenernykh konstrukcij kosmicheskikh radioteleskopov [Solutions of the engineering constructions of space radiotelescopes]. *Antennas*. Iss. 29, 2–10. Moscow: Radio i svyaz' Publ., 1981. (In Russ.)
- [2] Bojkov V.G. Programmnyj kompleks avtomatizirovannogo dinamicheskogo analiza mnogokomponentnykh mekhanicheskikh sistem EULER [Software package for automated dynamic analysis of EULER multicomponent mechanical systems]. *SAPR i grafika [SAPR and Graphics]*, 2000, No. 9, 17–20. (In Russ.)
- [3] Usyukin V.I., Arhipov Yu.M. *Modelirovanie statiki i dinamiki krupnogabaritnykh reflektorov kosmicheskikh antenn: uchebnoe posobie [Modeling of statics and dynamics of large-sized reflectors of space antennas: a manual]*. Moscow: Bauman MSTU Publ., 2015, 56. Available from: <http://ebooks.bmstu.ru/catalog/75/book973.html> (accessed: 11.08.2018). (In Russ.)
- [4] Meshkovskij V.E. Geometricheskaya model' raskryvayushchejsya krupnogabaritnoj kosmicheskoy konstrukcii fermennogo tipa [Geometric model of a large-scale open space construction of a truss type]. *Herald of the Bauman Moscow State Technical University. Series: Natural Sciences*, 2009, No. 4, 56–71. (In Russ.)
- [5] Kuznecova A.O. Issledovanie dinamiki dvizheniya raskryvayushchihsya mekhanicheskikh sistem s uprugimi svyazyami [Investigation of the dynamics of the motion of unfolding mechanical systems with elastic bonds]. *Vestnik SibGAU [Vestnik SibSAU. Aerospace technologies and control systems]*, 2005, No. 3, 135–138. (In Russ.)

- [6] Zimin V.N., Meshkovskij V.E. Dinamika krupnogabaritnyh raskryvayushchihysya kosmicheskikh konstrukcij [Dynamics of large-sized unfolding space structures]. *Proceedings of the 2nd International Conference "Rocket and Space Technology: Fundamental and Applied Problems" (November 18—21, 2003, Moscow)*. Part II. Moscow: Bauman MSTU Publ., 2005, 27—32. (In Russ.)
- [7] Smirnov A.V., Baryshev A., Pilipenko S.V. et al. Space mission Millimetron for terahertz astronomy. *Proceedings of SPIE*, 21 September 2012, Vol. 8442, 9 p. doi: 10.1117/12.927184
- [8] Banichuk N.V., Karpov N.I., Klimov D.I., Markeev A.P., Sokolov B.N., Sharanyuk A.V. *Mekhanika bol'shikh kosmicheskikh konstrukcij*. Moscow: Factorial Publ., 1997, 302. (In Russ.)
- [9] Zimin V.N. *Razrabotka metodov analiza dinamiki i ocenki rabotosposobnosti raskryvayushchihysya krupnogabaritnyh kosmicheskikh konstrukcij fermennogo tipa [Development of methods for analyzing the dynamics and assessing the operability of large-scale open space structures of the truss type]*: Dissertation. Moscow: Bauman MSTU Publ., 2008, 309. (In Russ.)
- [10] Arhipov M.Yu., Telepnev P.P. Kompleks rabot po chislennomu modelirovaniyu dinamiki konstrukcii kosmicheskogo radioteleskopa proekta "Radioastron". *Kosmicheskie issledovaniya [Cosmic Research]*, 2014, Vol. 52, No. 5, 418—422. (In Russ.)
- [11] Golubev E.S., Galinovskij A.L., Arhipov M.Yu. Modelirovanie i analiz dinamicheskikh harakteristik konstrukcii krupnogabaritnyh teplozashchitnyh ehkranov kosmicheskogo teleskopa [Modeling and analysis of the dynamic design characteristics of the large-size heat shields of the space telescope]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenij. Seriya: Mashinostroenie [Proceedings of Higher Educational Institutions. Machine Building]*, 2016, No. 2, 76—84. doi: 10.18698/0536-1044-2016-2-76-84 (In Russ.)
- [12] Imbriale W. *Spaceborne antennas for planetary exploration*. N.Y.: John Wiley and Sons, 2006, 592.
- [13] Kurkov C.B., Gutovskij I.E. Modelirovanie dinamiki processa raskrytiya kosmicheskogo apparata metodom konechnykh ehlementov XX Mezhdunarodnaya konferentsiya "BEM & FEM". [Conference proceedings]. Saint Petersburg, 2003, 41—48. (In Russ.)
- [14] Krylov A.V., Churilin S.A. Modelirovanie razvertyvaniya mnogozvennykh zamknutykh kosmicheskikh konstrukcij [Modeling the deployment of multi-tier closed space structures]. *Inzhenernyj zhurnal: nauka i innovacii [Engineering Journal: Science and Innovation]*, 2012, No. 8(8). doi: 10.18698/2308-6033-2012-8-449 (In Russ.)
- [15] Usyukin V.I. *Stroitel'naya mekhanika konstrukcij kosmicheskoy tekhniki [Construction mechanics of space technology constructions]*. Moscow: Mashinostroenie Publ., 1988. 392. (In Russ.)
- [16] Reznik S.V., Prosuntsov P.V., Mikhailovsky K.V., Shafikova I.R. Material science problems of building space antennas with a transformable reflector 100 m in diameter. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, 2016, 153 012001. doi:10.1088/1757-899X/153/1/012001
- [17] Yudinets V.V. Modelirovanie processov raskrytiya mnogoehlementnykh konstrukcij kosmicheskikh apparatov [Modeling of the processes of disclosure of multi-element structures of space vehicles]. *Polyot [Flight]*, 2012, No. 5, 28—33. (In Russ.)
- [18] Lyannoj E.G., Kurkov S.V., Gutovskij I.E. Ispol'zovanie matematicheskikh modelej dlya ocenki i obespecheniya bezopasnykh zon raskrytiya transformiruemoj fermy. *Trudy XXV Rossijskoj shkoly i XXXV Ural'skogo seminaru po problemam nauki i tekhnologii [Conference proceedings]*. Moscow: Mezhhregional'nyj sovet po nauke i tekhnologiyam, 2005, 78—87. (In Russ.)
- [19] Dement'ev G.P., Zaharov A.G., Kazarov Yu.K., et al. *Fiziko-tekhnicheskie osnovy primeneniya i sozdaniya kosmicheskikh apparatov [Physicotechnical foundations of the application and creation of space vehicles]*. Moscow: Mashinostroenie Publ., 1987, 264. (In Russ.)
- [20] Andreeva E.A., Blinov A.F., Gimmel'man V.G., Fedorov Ya.Yu., Shesnyak S.S. Transformirue maya shtanga krupnogabaritnogo reflektora [Transformable rod of large reflector]. *Materialy XIX Reshetnevskikh chtenij [Conference proceedings]*, 2015, Vol. 1, No. 19, 65—67. (In Russ.)
- [21] Bushuev A.Yu., Farafonov B.A. Matematicheskoe modelirovanie processa raskrytiya solnechnoj batarei bol'shoj ploshchadi [Mathematical modeling of the process of opening a large solar battery]. *Matematicheskoe Modelirovanie i Chislennye Metody [Mathematical modeling and numerical methods]*, 2014, No. 2, 101—114. (In Russ.)

Article history:

Received: September 10, 2018

Revised: October 16, 2018

Accepted: November 12, 2018

For citation:

Reznik S.V., Chubanov D.E. (2018). Large-sized transformable space antenna reflector made of composite materials dynamic modeling process. *RUDN Journal of Engineering Researches*, 19(4), 411–425. DOI 10.22363/2312-8143-2018-19-4-411-425 (In Russ.)

Bio Notes:

Sergey V. Reznik — Doctor of Sciences (Techn.), Professor, Head of the Department SM-13 Rocket and Space Composite Structures, Bauman Moscow State Technical University (National Research University). *Research interests*: design, production and testing of rocket and space technology structures made of composite materials. *Contact information*: e-mail: sreznik@bmstu.ru. e-LIBRARY SPIN-code: 1000-3828.

Dmitriy E. Chubanov — Master of Engineering and Technologies, graduated in 2018 the Department SM-13 Rocket and Space Composite Structures, Bauman Moscow State Technical University (National Research University). He works in aerospace industry now. *Research interests*: design of rocket and space technology structures made of composite materials. *Contact information*: e-mail: chubanoff1994@gmail.com



Научная статья

DOI 10.22363/2312-8143-2018-19-4-426-437

УДК 62-233.1

Резервы совершенствования конструкций валов

В.В. Кириловский

Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана
(национальный исследовательский университет)

Российская Федерация, 105005, Москва, ул. 2-я Бауманская, д. 5, стр. 1

Валы применяются практически во всех машинах и механизмах. В отличие от других деталей, разрушение валов происходит очень редко. Как предполагалось ранее, это связано с высоким уровнем совершенства методики их расчета и проектирования. В статье проанализированы особенности трех традиционных методик проектирования валов и показано, что при их применении валы не разрушаются по причине существенного (до 27 и более раз) завышения диаметров всех характерных участков в сравнении с размерами, достаточными с точки зрения прочности вала. При этом площадь его поперечного сечения и, соответственно, масса могут быть завышены более чем в 750 раз. Такое ничем не оправданное завышение диаметров и массы валов не может считаться показателем совершенства методик расчета и проектирования валов, но, с другой стороны, является важным резервом совершенствования их конструкций. В наибольшей степени это относится к механизмам, к которым предъявляются повышенные требования с точки зрения минимальных габаритов и массы. Для обеспечения этих требований необходимо предварительно спроектированную конструкцию в обязательном порядке проверить на жесткость, и по результатам расчета уменьшить в соответствующей степени диаметры всех ступеней. Этого правила следует придерживаться до разработки новой, корректной, научно обоснованной методики проектного расчета валов.

Ключевые слова: вал, проектный расчет вала, прочность вала, жесткость вала, разрушение вала

Введение

Валы являются одними из наиболее часто встречающихся и наиболее ответственных деталей машин. Они применяются практически во всех машинах и механизмах. От их работоспособности во многом зависит работоспособность всей машины. Следует отметить, что валы редко выходят из строя, поэтому может сложиться впечатление, что методика их расчета доведена до совершенства. Однако это не совсем так. В настоящей работе мы рассмотрим данный вопрос более подробно.

Традиционная методика расчета валов включает два принципиальных этапа: проектный (или предварительный) и проверочный. Поскольку вал обычно имеет ступенчатую форму, на предварительном этапе определяют минимальный диаметр его ступенчатой конструкции. Таким участком вала чаще всего является

концевой участок, то есть участок, выступающий за габариты корпуса механизма и служащий для установки на него муфты или звена открытой передачи. Диаметры остальных участков вала имеют увеличенные значения, поскольку предназначены для установки удаленных от конца вала деталей — подшипников, зубчатых колес, уплотнений, дистанционных втулок и других деталей. Диаметры этих участков назначают конструктивно так, чтобы облегчить их сборку и обеспечить осевую фиксацию всех установленных на вал деталей.

Последующий проверочный этап включает в себя два вида расчетов — на статическую прочность и на выносливость. Данный этап называют проверочным, потому что расчетами проверяют конструкцию, спроектированную на предыдущем предварительном этапе.

Цель исследования

Целью настоящего исследования является сравнение результатов определения диаметров выходного конца вала, полученных при проектном расчете по четырем различным методикам:

- методика 1 представляет собой условие прочности по III теории прочности при сложном нагружении [1];
- методика 2 основана на рекомендации источника [2] для быстроходного вала привода;
- методика 3 основана на рекомендации источника [2] для тихоходного вала;
- методика 4 рекомендована источником [3].

Введено упрощающее допущение: выходной конец вала имеет круглое сплошное поперечное сечение (без шпоночного паза).

Методы исследования

Нагружение вала в общем случае носит сложный характер, сочетающий изгиб и кручение под действием внешних сил.

Особенность нагружения концевой части валов заключается в том, что этот участок испытывает изгиб под действием консольной силы, то есть силы, с которой муфта, соединяющая валы соседних агрегатов, воздействует на концевой участок.

При сложном нагружении расчет вала на статическую прочность ведут по эквивалентным напряжениям в момент пуска электродвигателя с учетом коэффициента перегрузки K_{Π} , который обычно равен $K_{\Pi} = 2,2$. Для упрощения вычислений, проводимых по методике 1, принимаем III теорию прочности. Тогда условие прочности для концевой части выражается формулой

$$\sigma_{\text{э}} = K_{\Pi} \frac{M_{\text{э}}}{W_{\text{и}}} \leq [\sigma], \quad (1)$$

где $\sigma_{\text{э}}$ — эквивалентные напряжения в среднем сечении выходного конца вала; $M_{\text{э}}$ — эквивалентный момент в этом сечении; по III теории прочности $M_{\text{э}} = \sqrt{M_{\Sigma}^2 + T^2}$;

M_{Σ} — суммарный изгибающий момент; на выходном конце $M_{\Sigma} = 0$. Следовательно, в среднем сечении выходного конца вала $M_{\Sigma} = T$. Далее, $W_{И}$ — момент сопротивления изгибу рассматриваемого сечения, $W_{И} = 0,1d_1^3$; d_1 — диаметр выходного конца вала по условию прочности (то есть по методике 1); $[\sigma]$ — допускаемые напряжения на растяжение для материала вала, $[\sigma] = \frac{\sigma_T}{S_T}$; σ_T — предел текучести материала вала; S_T — коэффициент запаса. Принято считать $\sigma_T = 2\tau_T$ и $[\sigma] = 2[\tau]$, (τ_T и $[\tau]$ — предел текучести и допускаемые напряжения при кручении). Подставляем значения в (1):

$$\sigma_{\Sigma} = 2,2 \frac{T}{0,1d_1^3} \leq 2[\tau]. \quad (2)$$

Из (2) определяем d_1 :

$$d_1 = \sqrt[3]{\frac{2,2 T}{0,2[\tau]}}. \quad (3)$$

Выражение (3) представляет собой формулу для определения диаметра круглого стержня из условия прочности при кручении (с учетом перегрузки). Отсюда вытекает следующее. Несмотря на то, что вал испытывает сложное нагружение — изгиб с кручением, выходной конец можно рассчитывать только на кручение, если использовать III теорию прочности.

Теперь поясним суть методик 2, 3, 4.

В соответствии с методикой 2 диаметр выходного конца быстроходного вала определяют, используя выражение

$$d_2 = (7...8)\sqrt[3]{T}, \quad (4)$$

где d_2 — диаметр выходного конца, определяемый по методике 2.

Диаметр d_3 выходного конца по методике 3 определяют на основе рекомендации:

$$d_3 = (5...6)\sqrt[3]{T}. \quad (5)$$

При определении диаметра d_4 выходного конца вала по методике 4 используют условие прочности при кручении, но допускаемые напряжения принимают пониженными:

$$d_4 = \sqrt[3]{\frac{T}{0,2[\tau]^*}}, \quad (6)$$

где $[\tau]^*$ — пониженные допускаемые напряжения $[\tau]^* = 15...30$ МПа.

Обычно валы изготавливают из материалов [2], у которых $\tau_T = 150...660$ МПа. То есть реальные (не пониженные) допускаемые напряжения $[\tau]$ должны быть $[\tau] = \frac{\tau_T}{S_T} = (75...440)$ МПа ($S_T = 1,5...2$ — коэффициент запаса прочности).

Для определения степени занижения $[\tau]^*$ по сравнению с $[\tau]$ подставим в отношение $\frac{[\tau]}{[\tau]^*}$ предельные значения $[\tau] = (75...440)$ и $[\tau]^* = 15...30$:

$$\frac{[\tau]}{[\tau]^*} = \frac{(75...440)}{(15...30)} = 2,5...29,3, \quad (7)$$

то есть $[\tau]^*$ занижены в 2,5...29,3 раз.

Выведем рекомендации, по которым можно определить диаметр d_1 выходного конца вала при использовании методики 1 (по аналогии с рекомендациями (4) и (5)). Для этого подставим в (3) значения $[\tau] = 75...440$:

$$d_1 = \sqrt[3]{\frac{2,2T}{0,2 \cdot (75...440)}} = (0,292...0,528) \sqrt[3]{T}.$$

Для вывода рекомендаций, по которым можно определить диаметр d_4 выходного конца вала при использовании методики 4 [по аналогии с рекомендациями (4) и (5)], подставим в (6) значения $[\tau]^* = 15...30$:

$$d_4 = \sqrt[3]{\frac{T}{0,2 \cdot (15...30)}} = (0,55...0,69) \cdot \sqrt[3]{T}.$$

Таким образом, имеем четыре варианта рекомендаций для определения диаметра выходного конца вала на этапе его проектного расчета.

По методике 1: $d_1 = (0,292...0,528) \sqrt[3]{T}. \quad (8)$

По методике 2: $d_2 = (7...8) \sqrt[3]{T}. \quad (9)$

По методике 3: $d_3 = (5...6) \sqrt[3]{T}. \quad (10)$

По методике 4: $d_4 = (0,55...0,69) \cdot \sqrt[3]{T}. \quad (11)$

Результаты

Определим, какой результат будет получен при выполнении проектного расчета по методике 2. Будет ли превышен диаметр d_2 выходного конца вала по сравнению с диаметром d_1 , определяемым из условия прочности (методика 1)? Для этого выразим отношение $\frac{d_2}{d_1}$, подставив в него (9) и (8). После преобразований получим:

$$\frac{d_2}{d_1} = \frac{(7...8) \sqrt[3]{T}}{(0,292...0,528) \sqrt[3]{T}} = 13,26...27,4. \quad (12)$$

Значит, при выполнении проектного расчета по методике 2 диаметр d_2 выходного конца будет завышен в 13,26...27,4 раз по сравнению с диаметром d_1 , достаточным по условию прочности.

Чтобы определить, во сколько раз будет завышен диаметр d_3 выходного конца при выполнении проектного расчета по методике 3 по сравнению с диаметром d_1 , определяемым по методике 1, выразим отношение $\frac{d_3}{d_1}$, подставив в него (10) и (8). После преобразований получим:

$$\frac{d_3}{d_1} = \frac{(5...6)\sqrt[3]{T}}{(0,292...0,528)\sqrt[3]{T}} = 9,47...20,55. \quad (13)$$

Следовательно, если выполнять проектный расчет по методике 3, диаметр d_3 выходного конца будет завышен в 9,47...20,55 раз по сравнению с диаметром d_1 , определяемым из условия прочности.

Проведем аналогичное сравнение диаметра d_4 , определяемого по методике 4, и диаметра d_1 , определяемого по условию прочности. Подставив в отношение $\frac{d_4}{d_1}$ выражения (11) и (8), после преобразований получим:

$$\frac{d_4}{d_1} = \frac{(0,55...0,69)}{(0,292...0,528)} = 1,042...2,36. \quad (14)$$

Как видно, и в этом случае получается завышенное значение диаметра d_4 . Превышение значения d_4 по сравнению с диаметром d_1 , достаточным по условию прочности, составит 1,042...2,36 раз.

Теперь оценим, во сколько раз увеличится масса вала, спроектированного по методикам 2, 3 и 4, по сравнению с массой вала, спроектированного по методике 1. Положим, что вал гладкий с круглым сплошным поперечным сечением, диаметр которого равен диаметру выходного конца. В этом случае масса M вала пропорциональна площади S его поперечного сечения. А увеличение ΔM_1^i массы вала M_i , спроектированного по i -той методике (верхний индекс $i = 2, 3, 4$), по сравнению с массой вала M_1 , спроектированного по методике 1 (нижний индекс), будет пропорционально отношению площадей поперечных сечений $\Delta M_1^i = \frac{M_i}{M_1} = \frac{S_i}{S_1}$, где S_i — площадь поперечного сечения вала, спроектированного по i -той методике; S_1 — площадь поперечного сечения вала, спроектированного по методике 1:

$$\Delta M_1^i = \frac{S_i}{S_1} = \left(\frac{d_i}{d_1} \right)^2. \quad (15)$$

Подставляем в (15) значения (12). Тогда увеличение массы вала M_2 , спроектированного по методике 2, по сравнению с валом, масса M_1 которого достаточна, исходя из условия прочности (методика 1), составит:

$$\Delta M_1^2 = \left(\frac{d_2}{d_1} \right)^2 = (13,26 \dots 27,4)^2 = 175,83 \dots 750,76. \quad (16)$$

Подставляем в (15) значения (13). Тогда увеличение массы вала, спроектированного по методике 3, по сравнению с валом, спроектированным по методике 1, составит:

$$\Delta M_1^3 = \left(\frac{d_3}{d_1} \right)^2 = (9,47 \dots 20,55)^2 = 89,68 \dots 422,3. \quad (17)$$

Подставляем в (15) значения (14). Тогда увеличение массы M_4 вала, спроектированного по методике 4, по сравнению с валом, спроектированным по методике 1, составит:

$$\Delta M_1^4 = \left(\frac{d_4}{d_1} \right)^2 = (1,042 \dots 2,36)^2 = 1,086 \dots 5,57. \quad (18)$$

Таким образом, если использовать традиционные методики 2, 3, 4 проектного расчета валов, масса спроектированного вала будет завышена в 1,086...750,76 раз по сравнению с массой, достаточной по условию прочности. Наибольшее завышение массы и, следовательно, повышение жесткости вала дает методика 2.

Обсуждение

Замечание 1. Учитывая принятый диапазон значений предела текучести материала вала $\tau_T = 150 \dots 660$ МПа, можно сказать, что в соотношениях (12—14) и (16—18) меньшие значения соответствуют наибольшей принятой величине предела текучести, то есть $\tau_T = 660$ МПа, а большие значения — наименьшей принятой величине предела текучести, то есть $\tau_T = 150$ МПа. Если изменить исходный диапазон $\tau_T = 150 \dots 660$ МПа, значения в выражениях (12—14) и (16—18) также изменятся.

Замечание 2. Из соотношений (16—18) видно, что редко происходящие повреждения и разрушения валов связаны не с фактом доведения методики их расчетов до совершенства, а с абсолютно не обоснованным огромным завышением жесткости валов. Если по аналогии с валами создать такую же совершенно абсурдную ситуацию и для других деталей машины, при которой их масса тоже будет завышена в 750 раз, возможно, ни одна деталь ни одной машины никогда не выйдет из строя. Такой подход, безусловно, не является разумным и прогрессивным.

Замечание 3. В случаях, когда на валах устанавливаются, например, зубчатые колеса, расположенные несимметрично относительно опор, упругие прогибы валов, происходящие под действием внешней нагрузки, вызывают концентрацию напряжений на кромках зубьев и приводят в дальнейшем к ускоренному их разрушению. Повышение жесткости таких валов благоприятно сказывается на ра-

боте установленных на них зубчатых передач. Этим объясняется широкое распространение методик 2, 3, и 4, на основе которых жесткость валов будет повышена по сравнению с жесткостью, достаточной с точки зрения их прочности. Однако повышение жесткости не должно быть бесконтрольным и чрезмерным. Жесткость вала должна быть регламентирована в такой степени, чтобы его прогиб под действием внешней нагрузки не выходил за допустимые рамки и не создавал высокую концентрацию напряжений на кромках зубьев передачи. Регламентация должна быть подтверждена расчетом вала на жесткость. Чрезмерная жесткость приведет к необоснованному завышению массы и габаритов не только вала, но и других сопряженных с ним деталей — зубчатых колес и деталей, предназначенных для их фиксации на валах, а также подшипников, крышек подшипников, бобышек под подшипники, корпусов машин.

Ограничение чрезмерной жесткости актуально для всех типов машин, но в наибольшей степени — для машин ответственного назначения, к которым предъявляются повышенные требования с точки зрения минимальных габаритов и массы.

Методики 2, 3 и 4 широко применяются при проектировании валов приводных механизмов. Результатом такого проектирования может быть возрастание диаметра вала до 27(!) раз, а массы — до 750(!) раз. Это является одной из причин существенного завышения металлоемкости и габаритов машин, например серийно выпускаемых редукторов. Причем в реальной производственной практике указанные параметры завышения массы и габаритов остаются неизменными в течение нескольких десятилетий. Поэтому устаревшие громоздкие и очень тяжелые серийные редукторы, выпускаемые даже в настоящее время, часто вызывают недоумение своим внешним видом по сравнению с современными изящными и легкими редукторами.

На сегодняшний день отсутствует общепринятая методика предварительного расчета валов, которая позволяла бы проектировать конструкции валов с минимальными габаритами и массой. Поэтому до разработки такой методики целесообразно было поступать следующим образом. На первом этапе назначать предварительные размеры всех ступеней вала, используя существующие методики. На втором — проводить расчет предварительно спроектированного вала на жесткость. В результате расчета будут получены значения прогибов и углов поворота характерных сечений. На заключительном этапе следует установить значения диаметров всех ступеней, при которых прогибы и углы поворотов находились бы в заданных пределах.

При проведении расчета на жесткость необходимо учитывать два очень важных момента. Во-первых, следует использовать корректную расчетную схему. А во-вторых — учитывать ступенчатый характер конструкции вала.

Для определения прогибов и углов поворота поперечных сечений вала реальную конструкцию заменяют расчетной схемой в виде балки, установленной на две опоры. Все расчеты выполняют, предполагая, что под нагрузкой вал, установленный на подшипники качения, ведет себя так же, как ведет себя под нагрузкой расчетная схема, а подшипники под нагрузкой выполняют функции тех опор,

которые выбраны в расчетной схеме. В результате анализа расчетной схемы определяют важнейшие ее параметры — реакции в опорах, от которых зависят практически все важнейшие параметры проектируемого вала:

- значения изгибающих моментов во всех поперечных сечениях вала;
- значения изгибающих и эквивалентных напряжений в этих сечениях;
- статическая прочность и выносливость вала;
- положение опасного сечения и его размеры;
- диаметры различных участков вала;
- размеры и тип применяемых подшипников;
- ресурс работы подшипников;
- прогибы и углы поворотов характерных сечений вала.

Сами реакции зависят в первую очередь от вида принятой расчетной схемы вала. Если принята неверная расчетная схема, все перечисленные параметры будут иметь ошибочное значение. И, следовательно, будет сделано неверное заключение о прочности и жесткости вала.

Все известные нам литературные источники рекомендуют в качестве расчетной схемы использовать двухопорную балку (рис. 1), то есть гладкую балку, установленную на две шарнирные опоры [2—9].

Однако работы, выполненные в последнее время в МГТУ им. Н.Э. Баумана [10; 11], показали, что при использовании шариковых радиальных однорядных подшипников двухопорная балка может реализоваться в случае приложения к валу только радиальной нагрузки при отсутствии осевой. А при действии комбинированной нагрузки (то есть и радиальной, и осевой) подшипники не выполняют функции обычных шарнирных опор. Тогда реализуется одна из статически неопределимых расчетных схем: заделка с дополнительной шарнирной опорой (рис. 2), двухсторонняя заделка (рис. 3), две сдвоенные шарнирные опоры (рис. 4). Схемы перечислены в порядке возрастания величины приложенной к валу радиальной силы, которая необходима для реализации соответствующей расчетной схемы.

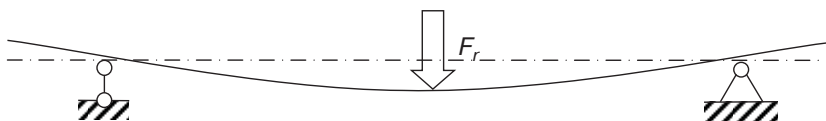


Рис. 1. Традиционная расчетная схема двухопорной балки
[**Figure 1.** Traditional design scheme of a double-support beam]

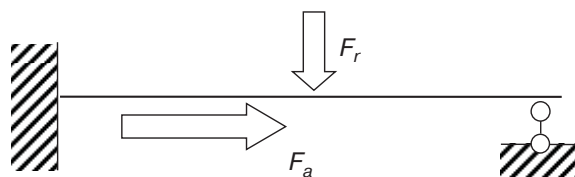


Рис. 2. Заделка с дополнительной шарнирной опорой (расчетная схема)
[**Figure 2.** Cantilever beam with an additional pivot bearing (the design scheme)]

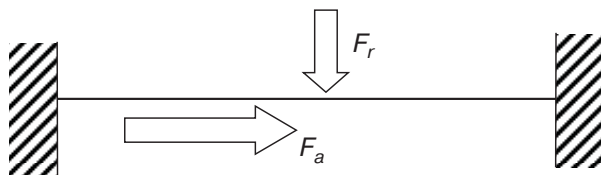


Рис. 3. Двухсторонняя заделка (расчетная схема)
[**Figure 3.** Double-sided jamming (the design scheme)]

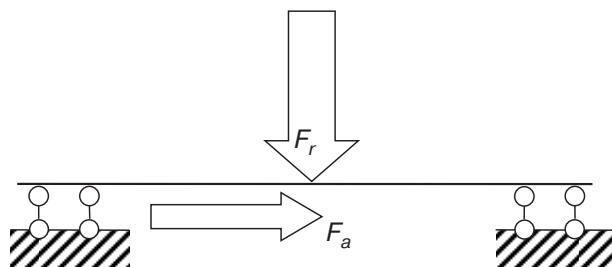


Рис. 4. Две двоянные шарнирные опоры (расчетная схема)
[**Figure 4.** Two dual hinged support (the design scheme)]

Кроме того, при применении роликовых однорядных конических подшипников могут реализоваться другие расчетные схемы. Если используются данные подшипники, вид конкретной расчетной схемы зависит от направления приложенных внешних сил и от направления радиальной несоосности валов соединяемых агрегатов. В этом случае необходимо учитывать, что при какой-либо фиксированной величине несоосности и определенном ее направлении может реализоваться одна расчетная схема, а при противоположном направлении несоосности — другая [12].

Расчеты на жесткость дадут корректные значения прогибов и углов поворота, если в расчетной схеме будет учтен также и ступенчатый характер вала. В работе [13] подробно рассмотрена методика определения прогибов и углов поворота сечений ступенчатых валов при изгибе.

Выводы

Существующие методики проектного расчета валов приводят к значительному, необоснованному завышению их диаметров до 27,4 раз, а массы — до 750,76 раз.

Для получения конструкции, рациональной с точки зрения минимальных размеров и металлоемкости, предварительно назначенные диаметры посадочных участков вала, определенные по одной из существующих методик, следует в обязательном порядке скорректировать по результатам расчета вала на жесткость. Этому правила следует придерживаться до разработки новой, корректной, научно обоснованной методики проектного расчета валов.

При расчете вала на жесткость следует использовать новые статически неопределимые расчетные схемы, а также учитывать ступенчатую форму вала.

Список литературы

- [1] *Феодосьев В.И.* Сопrotивление материалов: учебник для вузов. 15-е изд., испр. М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана. 2010. 590 с.
- [2] *Дунаев П.Ф., Леликов О.П.* Конструирование узлов и деталей машин. 12-е изд., стер. М.: Академия, 2009. 496 с.
- [3] *Иванов М.Н., Финогенов В.А.* Детали машин. М.: Высшая школа, 2002. 462 с.
- [4] *Глухих В.Н.* Расчет и проектирование валов на примере двухступенчатого зубчатого редуктора. СПб.: ИХБТ, НИУ ИТМО, 2011. 46 с.
- [5] *Калиновская Т.Г., Косолапова С.А., Шипко Е.М.* Основы конструирования приборов и установок. Красноярск: СФУ, 2008. URL: <http://elib.sfu-kras.ru/handle/2311/53905>
- [6] *Глухих В.Н., Прилуцкий А.А.* Расчет и проектирование валов. СПб.: ГУНИПТ, 2010. 128 с.
- [7] *Серенсен С.В., Громан М.Б., Кагаев В.П., Шнейдерович Р.М.* Валы и оси. Конструирование и расчет. М.: Машиностроение, 1970. 320 с.
- [8] *Когаев В.П., Махутов Н.А., Гусенков А.П.* Расчеты деталей машин и конструкций на прочность и долговечность. М.: Машиностроение, 1985. 224 с.
- [9] *Леликов О.П.* Валы и опоры с подшипниками качения. Конструирование и расчет. М.: Машиностроение. 2006. 640с.
- [10] *Кириловский В.В.* Новые особенности работы подшипников качения в условиях реального нагружения // Актуальные проблемы космонавтики: труды XLII Академических чтений по космонавтике, посвященных памяти академика С.П. Королева и других выдающихся отечественных ученых — пионеров освоения космического пространства, Москва, 23—26 января 2018 г. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2018.
- [11] *Полубарьев И.Н., Дворянинов И.Н., Салиев Е.Р.* Экспериментальная проверка нового подхода к определению нагрузок, действующих на шариковые радиальные однорядные подшипники // Форум молодых ученых. 2017. № 9 (13). URL: http://forum-nauka.ru/_9_13_sentyabr_2017/ (дата обращения: 20.09.2017).
- [12] *Кириловский В.В., Москвин В.А.* Новый подход к выбору расчетной схемы для роликовых конических подшипников, установленных враспор // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2017. № 9. С. 24—29. URL: <http://www.applied-research.ru/ru/article/view?id=11819> (дата обращения: 26.09.2017).
- [13] *Курьянов П.В., Грищенко М.Ю., Верас А.К.* Расчет деформаций в ступенчатых балках // НИРС МСФ-2017: сборник научных трудов (по материалам студенческих научно-технических конференций машиностроительного факультета) / под ред. С.И. Адаменковой, А.М. Авсиевича; Белорусский национальный технический университет. Минск: БНТУ, 2017. URL: <https://rep.bntu.by/handle/data/30641>

© Кириловский В.В., 2018



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

История статьи:

Дата поступления в редакцию: 07 июля 2018

Дата поступления доработанного текста: 20 сентября 2018

Дата принятия к печати: 30 октября 2018

Для цитирования:

Кириловский В.В. Резервы совершенствования конструкций валов // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Инженерные исследования. 2018. Т. 19. № 4. С. 426—437. DOI 10.22363/2312-8143-2018-19-4-426-437

Сведения об авторе:

Кириловский Валерий Владимирович — кандидат технических наук, доцент кафедры основ конструирования машин, Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет). *Область научных интересов:* детали машин, технологии машиностроения. *Контактная информация:* e-mail: proekt.33@yandex.ru

Scientific article

Reserves for improving the design of shafts

Valeriy V. Kirilovskiy

Bauman Moscow State Technical University (National Research University)
5 2-nd Baumanskaya St., bldg. 1, Moscow, 105005, Russian Federation

Abstract. Shafts are used in almost all machines and mechanisms. Unlike other parts, the destruction of the shafts is very rare. As it was supposed earlier, it is connected with high level of perfection of a technique of their calculation and design. The article analyzes the features of the three traditional methods of shaft design and shows that the shafts are not destroyed for the reason that traditional methods lead to a significant, up to 27 and more times, overestimation of the diameters of all the characteristic areas in comparison with the size sufficient in terms of the strength of the shaft. The area of its cross-section and, accordingly, the mass can be overestimated by more than 750 times. Such unjustified overestimation of the shaft diameter and weight cannot be considered as an indicator of the perfection of the shaft design and calculation methods, and, on the other hand, is an important reserve for the improvement of their designs. This is particularly true for those mechanisms that are subject to increased requirements in terms of minimum size and weight.

Keywords: shaft, design calculations of shaft, strength of the shaft, stiffness of the shaft, the destruction of the shaft

References

- [1] Feodosyev V.I. *Strength of materials*. Moscow: BMSTU Publ., 2010, 590. (In Russ.)
- [2] Dunaev P.F., Lelikov O.P. *Design of machine parts and components*. Moscow: Akademia Publ., 2009, 496. (In Russ.)
- [3] Ivanov M.N., Finogenov V.A. *Machine components*. Moscow: Higher School Publ., 2002, 462. (In Russ.)
- [4] Glukhikh V.N. *Calculation and design of shafts on the example of two-stage gear reducer*. Saint Petersburg: IHBT, NIU ITMO, 2011, 46. (In Russ.)
- [5] Kalinovskaya T.G., Kosolapova S.A., Shipko E.M.. *Basic design of devices and installations*. Krasnoyarsk: SFU, 2008. <http://elib.sfu-kras.ru/handle/2311/53905> (In Russ.)
- [6] Glukhikh V.N., Prilutsky A.A. *Calculation and design of shafts*. Saint Petersburg: GUNIPT Publ., 2010, 128. (In Russ.)
- [7] Serensen S.V., Groman M.B., Kagaev V.P., Shneyderovich R.M. *Shafts and axles. Design and calculation*. Moscow: Mashinostroenie Publ., 1970, 320. (In Russ.)

- [8] Kogaev V.P., Makhutov N.A., Gusenkov A.P. *Calculations of machine parts and structures for strength and durability*. Moscow: Mashinostroenie Publ., 1985, 224. (In Russ.)
- [9] Lelikov O.P. *Shafts and supports with rolling bearings. Design and calculation*. Moscow: Mashinostroenie Publ. 2006, 640. (In Russ.)
- [10] Kirilovskiy V.V. New features of rolling bearings operation under real loading. *Actual problems of cosmonautics: Proceedings of XLII Academic readings on cosmonautics dedicated to the memory of academician S.P. Korolev and other outstanding Russian scientists-pioneers of space exploration, Moscow, January 23—26, 2018*. Moscow: BMSTU Publ., 2018. (In Russ.)
- [11] Polubariyev I.N., Dvoryaninov I.N., Saliev E.R. Experimental verification of a new approach to the determination of the loads acting on the single-row radial ball bearings. *The forum of young scientists*, 2017, No. 9(13). http://forum-nauka.ru/_9_13__sentyabr_2017/ (accessed: 20.09.2017). (In Russ.)
- [12] Kirillovskiy V.V., Moskvina V.A. A new approach to the choice of the calculation scheme for roller tapered bearings installed by surprise. *International journal of applied and fundamental research*, 2017, No. 9, P. 24—29. <http://www.applied-research.ru/ru/article/view?id=11819> (accessed: 26.09.2017). (In Russ.)
- [13] Kuryanov P.V., Grishchenko M.Yu., Veras A.K. Deformation analysis of the stepped beams. *Scientific research of MSF-2017: collection of scientific articles (materials of student scientific and technical conference faculty of engineering)*. Minsk: BNTU Publ., 2017. <https://rep.bntu.by/handle/data/30641> (In Russ.)

Article history:

Received: July 07, 2018

Revised: September 20, 2018

Accepted: October 30, 2018

For citation:

Kirilovskiy V.V. (2018). Reserves for improving the design of shafts. *RUDN Journal of Engineering Researches*, 19(4), 426—437. DOI 10.22363/2312-8143-2018-19-4-426-437 (In Russ.)

Bio Note:

Valeriy V. Kirilovskiy — Doctor of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Bases of Machine Design, Bauman Moscow State Technical University (National Research University). *Research interests*: machine parts, mechanical engineering technology. *Contact information*: e-mail: proekt.33@yandex.ru



Научная статья

DOI 10.22363/2312-8143-2018-19-4-438-456

УДК 514.8:72

Классификация аналитических поверхностей применительно к параметрической архитектуре и машиностроению

Е.А. Гринько

Российский университет дружбы народов
Российская Федерация, 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, 6

В связи с появлением новых материалов и технологий для изготовления строительных конструкций и сооружений к архитекторам возвращается интерес к созданию пространственных большепролетных форм. Немалую роль здесь также играют возросшие требования к эргономичности конструкций и сооружений. Эти веяния подтверждаются появлением довольно большого числа как воплощенных в материале, так и находящихся на стадии чертежей и эскизов проектов. В экономически благополучных странах уже произошел всплеск создания новых уникальных конструкций, в том числе и пространственных, со сложными поверхностями. К такой перспективе необходимо готовиться и в нашей стране. В настоящее время предложено большое количество классификаций поверхностей, но ни одна не охватывают всего их разнообразия. Статья вводит в обращение систематизацию новых и широко известных форм поверхностей применительно к конструкциям строительного и машиностроительного назначения. Составлена подробная классификация аналитических поверхностей 38 классов. Для облегчения поиска необходимых исследований в области геометрии и расчета на прочность тонких оболочек с неканоническими срединными поверхностями в статье приводится обширная библиография из 40 наименований.

Ключевые слова: аналитическая поверхность, классификация поверхностей, архитектура большепролетных тонкостенных структур, формирование тонкостенных машиностроительных изделий

Введение

В свое время в СССР была мощная геометрическая школа, работавшая в направлении исследования новых форм поверхностей применительно к конструкциям строительного и машиностроительного назначения. Многим известны работы таких ученых-геометров, как Н.Н. Рыжов, В.А. Лебедев, Г.В. Брант, В.С. Обухова и др.

Однако в связи с утратой интереса к оболочкам в 1980—2000 гг. исследования новых поверхностей и их создание практически прекратились. Только на Украине, благодаря стараниям ряда ученых-энтузиастов (В.Е. Михайленко, А.Л. Подгорный, И.А. Скидан, С.Н. Ковалев и др.), исследования не были остановлены

и продолжают активно развиваться [1]. Геометрами неоднократно предпринимались попытки создать полную классификацию поверхностей. Л. Эйлер впервые разделил поверхности на алгебраические и трансцендентные и дал классификацию алгебраических поверхностей второго порядка. В зависимости от знака гауссовой кривизны $K = k_1k_2$ разделяют поверхности положительной, нулевой и отрицательной гауссовой кривизны. В отдельную группу можно выделить поверхности знакопеременной гауссовой кривизны [2].

В департаменте строительства Инженерной академии РУДН неоднократно приступали к составлению подробной классификации аналитических поверхностей, которые могут быть использованы в строительстве, архитектуре и машиностроении. Например, была составлена и опубликована наиболее полная энциклопедия [3], описывающая более 600 аналитических поверхностей 38 классов. Отдельно представлена классификация линейчатых [4] и циклических [5] поверхностей.

Результаты исследований докладывались на научно-технических конференциях [6].

Очевидно, вопросы классификации поверхностей интересуют не только ученых ИА РУДН, но и представителей других организаций. Так, в диссертации [7] предложено разделять поверхности в зависимости от метода их построения (рис. 1) или формирования (рис. 2). В литературе по начертательной геометрии встречается деление поверхностей на гладкие и складчатые. К решению вопроса классификации аналитических поверхностей учеными ИА РУДН привлекались и ученые других стран, например США [8].

В процессе работы над классификацией поверхностей были предложены новые группы и подгруппы поверхностей [9; 10].

Новая классификация аналитических поверхностей

Составить таблицу или классификацию, куда входили бы более 600 известных в настоящее время поверхностей, по-видимому, невозможно. Инженер или геометр составляет классификацию или подбирает группу поверхностей, которая бы подтверждала его научные выводы, или находит поверхности, обладающие одинаковыми математическими свойствами. Отсюда появляются поверхности Хошимоты [11], Эдлингера [12], Бонне [13], Кунса или Каталана [4].

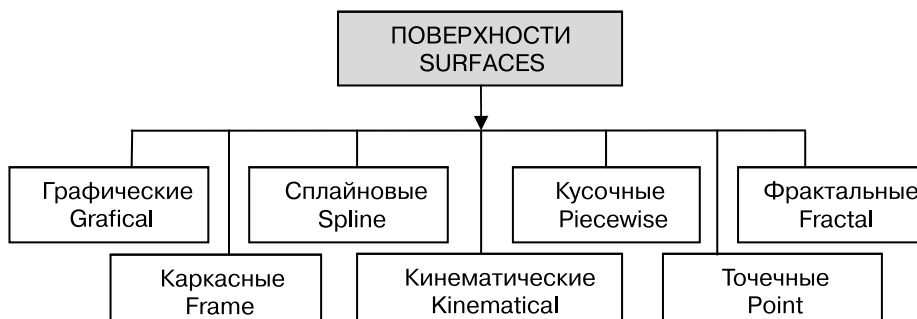


Рис. 1. Классификация поверхностей по методу их построения
[Figure 1. Classification of surfaces with taking into account a method of their construction]



Рис. 2. Классификация поверхностей по методу их формирования
[Figure 2. Classification of surfaces with taking into account a method of their forming]

На рис. 3 представлена наиболее полная классификация аналитических поверхностей, составленная на основе энциклопедии [3] с добавлением некоторых новых поверхностей, описания которых появились после публикации энциклопедии. Некоторые классы поверхностей не раскрыты полностью, но даны ссылки на литературу, где это сделано (например, для линейчатых поверхностей нулевой и отрицательной гауссовой кривизны, циклических и винтовых поверхностей и некоторых других). Поверхности, формирующие 38 классов, на рис. 3 показаны на затемненном фоне. Из них на рисунке указаны только 25 классов, оставшиеся 13 классов отсутствуют. Это резные, непрерывно-топографические и топографические поверхности, поверхности Веронезе, Цицейки, Безье, квазиэллипсоидные поверхности, поверхности со сферической направляющей кривой, специальные профили цилиндрических изделий, поверхности Бонне, Кунса, поверхности, задаваемые гармоническими функциями, квазимногогранники и эквидистанты двойных систем. Все они входят в соответствующие классы, указанные на рис. 3, или не представляют особого интереса для архитекторов и инженеров.

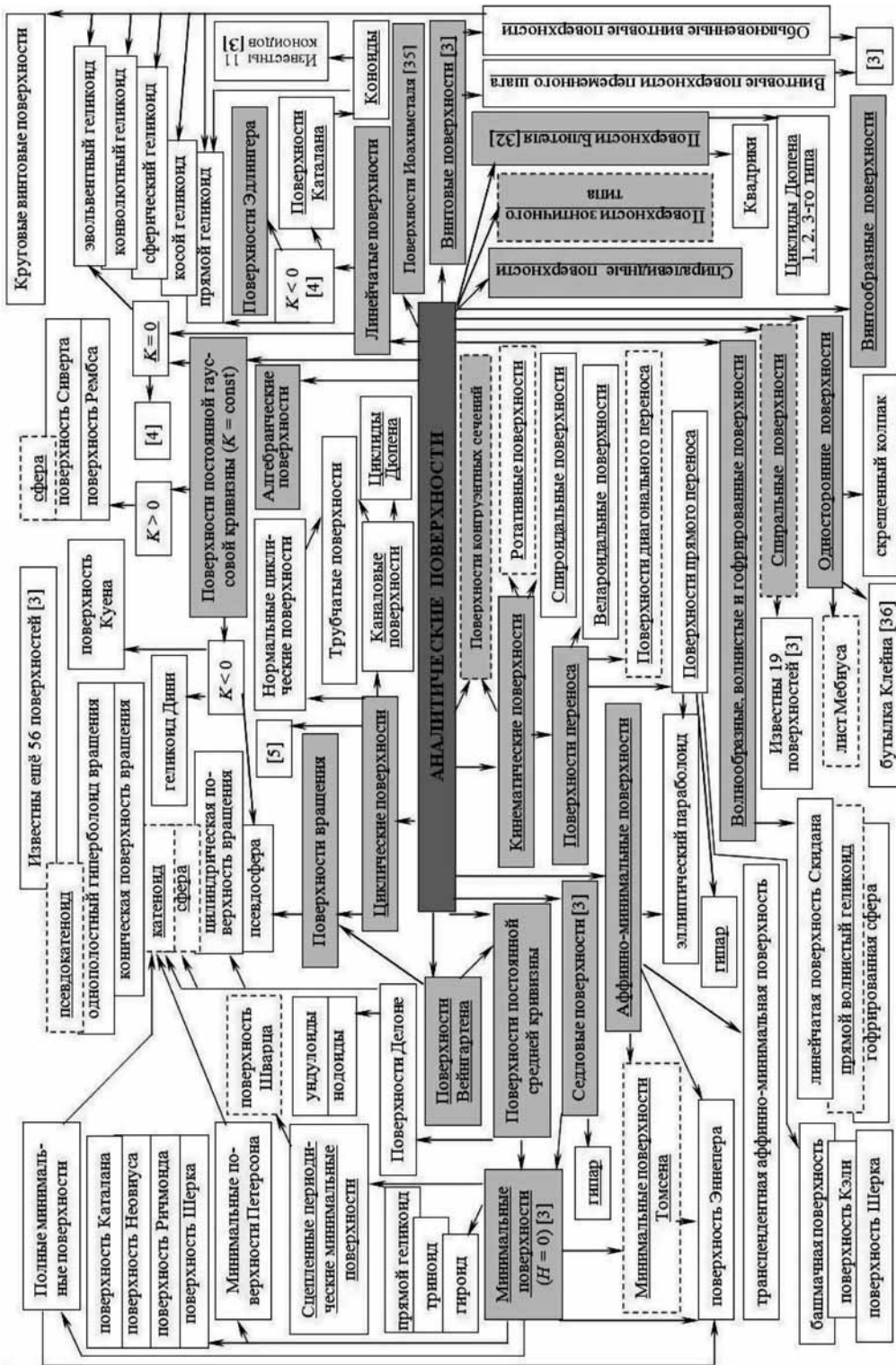


Рис. 3. Классификация аналитических поверхностей

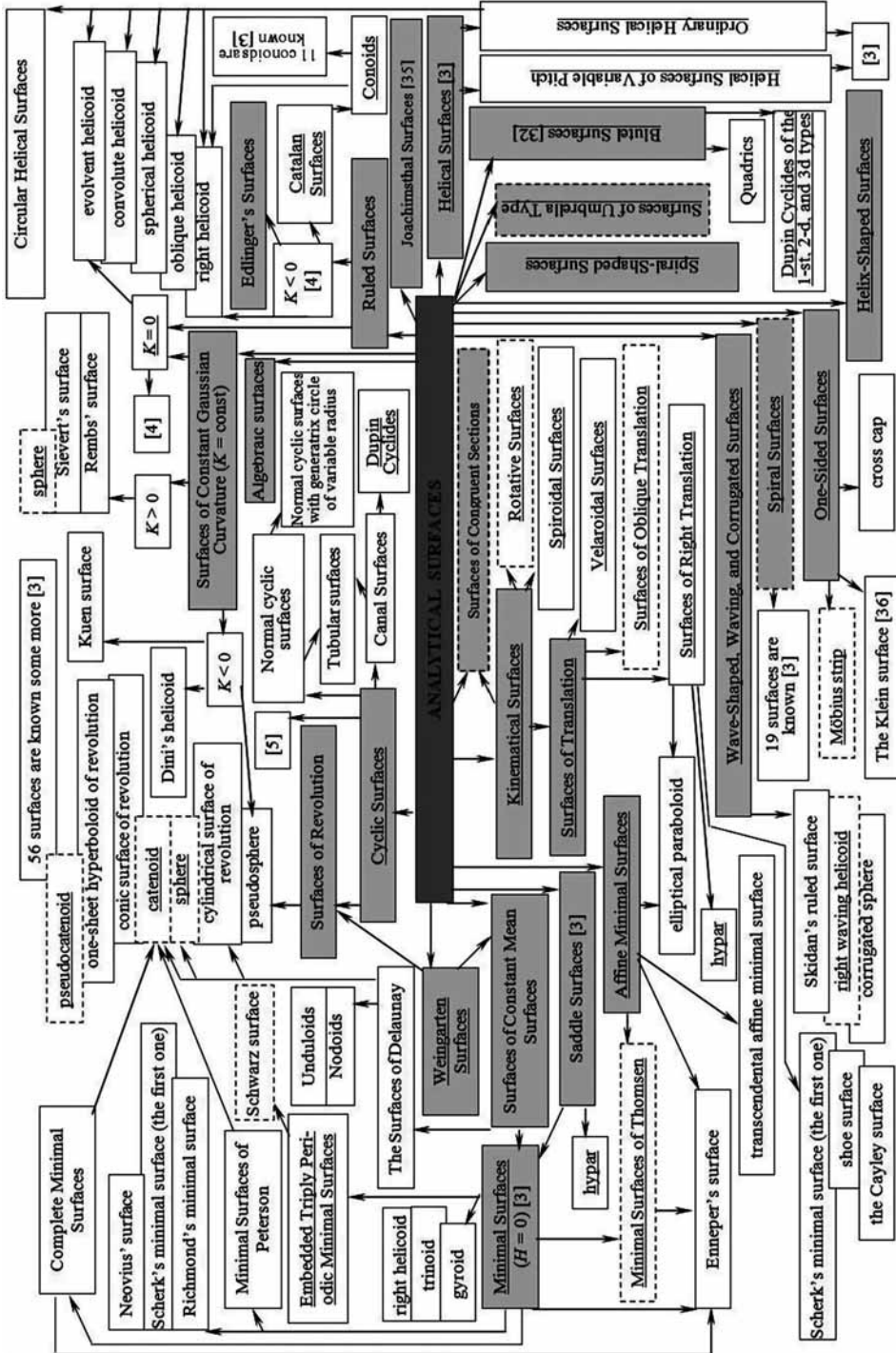


Figure 3. Classification of analytical surfaces

**Определения мало используемых, но имеющих перспективы
в архитектурной или инженерной практике групп,
подгрупп и отдельных поверхностей**

Проиллюстрируем некоторые классы, группы, подгруппы поверхностей конкретными примерами (на рис. 3 рамки выполнены пунктирной линией) и дадим определения поверхностям, которые хорошо известны геометрам, но редко или совсем не используются архитекторами и инженерами в проектной практике, хотя имеют ряд преимуществ перед каноническими поверхностями (на рис. 3 выделены подчеркиванием сплошной линией).

Поверхность Блютеля образовывается однопараметрическим семейством коник и одновременно огибает двухпараметрическое семейство конусов второго порядка. Полная классификация поверхностей Блютеля приведена в статье [14].

Поверхность Вейнгартена [15] — это поверхность, средняя кривизна H которой связана с ее гауссовой кривизной K функциональной зависимостью $f(H, K) = 0$. Часто поверхность Вейнгартена называют поверхностью W . Поверхности Вейнгартена разделяют на 3 группы (рис. 3): поверхности вращения, поверхности постоянной гауссовой и средней кривизн.

Велароидальной называется поверхность переноса на плоском прямоугольном плане с образующей кривой переменной кривизны. В настоящее время известны три вида велароидальных поверхностей: параболический, эллиптический и синусоидальный велароиды.

Поверхности велароидального типа — это велароидальные поверхности, но на плоском кольцевом плане (рис. 4) [10].

Винтовая поверхность образовывается жесткой кривой при ее винтовом движении. При винтовом движении образующая кривая равномерно вращается вокруг оси вращения и одновременно совершает поступательное перемещение в направлении этой же оси [16]. Если отношение величины скорости по прямой к величине угловой скорости постоянно, то винтовое движение называется обыкновенным. Поверхность, образованная обыкновенным винтовым движением, называется обыкновенной винтовой поверхностью. Траектории точек в обыкновенном винтовом движении будут представлять собой цилиндрические винтовые линии постоянного шага, лежащие на разных, но соосных круглых цилиндрах. На настоящее время наиболее известными архитекторам обыкновенными винтовыми поверхностями являются — прямой и косой геликоиды, а также трубчатая винтовая поверхность. Честь открытия минимальных поверхностей в форме прямого геликоида принадлежит Ж. Менье (1776). Э. Каталан (1842) доказал, что прямой геликоид является единственной линейчатой минимальной поверхностью. Если в винтовом движении отношение поступательной к угловой скорости есть величина переменная, то траектории точек образующей кривой будут представлять цилиндрические винтовые линии с пере-

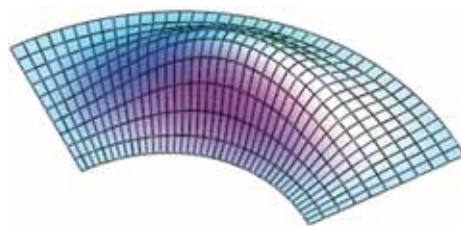


Рис. 4. Поверхность велароидального типа на кольцевом плане
[Figure 4. A surface of velaroidal type on the annular plan]

менным шагом, а сама винтовая поверхность будет называться винтовой поверхностью переменного шага.

Винтообразные поверхности [17] — поверхности, построенные образующими кривыми, которые помимо простого винтового движения относительно винтовой оси совершают какое-либо дополнительное движение или деформируются по определенному закону. При этом траектории точек образующей кривой при винтообразном движении не будут цилиндрическими винтовыми линиями.

Зонтичным куполом называется циклически симметричная пространственная конструкция, образованная из нескольких тождественных элементов, в результате пересечения срединных поверхностей которых получаются кривые, являющиеся образующими некоторой куполообразной поверхности вращения [18]. Формообразование зонтичной поверхности показывает, что она не является аналитической поверхностью в отличие от поверхностей зонтичного типа. Зонтичные оболочки обладают повышенной жесткостью, устойчивостью, архитектурной выразительностью.



Рис. 5. Поверхность зонтичного типа с параболическими образующими и круглым отверстием в вершине
[Figure 5. A surface of umbrella type with parabolic generators and a round opening at the top]



Рис. 6. Прямой волновой геликоид
[Figure 6. A right wave helicoid]

Поверхностями зонтичного типа [19] называются циклически симметричные поверхности, состоящие из нескольких тождественных элементов, причем полная поверхность зонтичного типа и все поверхности составляющих ее тождественных элементов описываются одним и тем же явным, неявным или параметрическим уравнениями (рис. 5).

Определения для следующих четырех поверхностей возьмем из энциклопедии [3] без изменений. «Волнообразные поверхности формируются поступательно-колебательным движением жестких образующих кривых, колеблющихся относительно заранее выбранных базовых поверхностей, плоскости или линий (рис. 6). Эти поверхности могут быть включены также в класс поверхностей конгруэнтных сечений. В литературе встречаются и другие названия волнообразных поверхностей, например волновые. Волнистые поверхности формируются поступательно-колебательным движением образующих кривых, которые не только колеблются относительно выбранных базовых поверхностей, плоскости или линий, но и сами деформируются, оставаясь в одном и том же классе кривых. Рифленые поверхности свое название получили от английского слова “riffle — желобок, канавка”. Таким об-

разом, рифленые поверхности — это поверхности с закономерно расположенными на них углублениями или впадинами. Рифленые поверхности наиболее широко применяются в машиностроении.

Гофрированные изделия получают изгибанием листовых металлических и неметаллических материалов для придания их поверхностям волнообразной формы разных профилей с целью увеличения прочности».

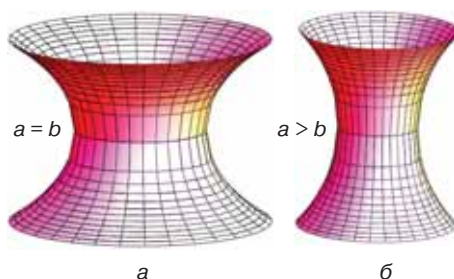


Рис. 7. Катеноид (а) и псевдокатеноид (б)
[Figure 7. Catenoid (a) and pseudo-catenoid (b)]

Катеноид образовывается вращением цепной линии $x = ach(z/a)$ вокруг оси Oz (рис. 7, а). Катеноид является единственной минимальной поверхностью вращения, то есть средняя кривизна его поверхности во всех точках равна нулю. Честь открытия минимальной поверхности в форме катеноида принадлежит Л. Эйлеру (1774) и Ж. Менье (1776). О. Бонне (50-е гг. XIX в.) доказал, что катеноид — единственная минимальная поверхность вращения.

Псевдокатеноид образовывается вращением кривой $x = bch(z/a)$ вокруг оси Oz . Псевдокатеноид — поверхность вращения строго отрицательной гауссовой кривизны, но она не является минимальной поверхностью (рис. 7, б).

Минимальная поверхность — это поверхность, у которой средняя кривизна H равна нулю во всех точках, следовательно, минимальная поверхность является поверхностью постоянной отрицательной гауссовой кривизны [20].

Г. Томсен (G. Thomsen) определил минимальные поверхности евклидова пространства, которые одновременно являются метрически и аффинно-минимальными поверхностями. Минимальная поверхность Томсена, допускающая переход к поверхности Эннепера, одновременно является аффинно-минимальной поверхностью. Архитектор, обладающий определенной фантазией, может найти применение этим поверхностям, имеющим ряд достоинств (рис. 8).

Аффинно-минимальная поверхность — это поверхность, средняя аффинная кривизна которой равна нулю. В отличие от обычных минимальных поверхностей, состоящих лишь из седловых точек, аффинно-минимальная поверхность может содержать эллиптические точки. Так, эллиптический параболоид состоит целиком из эллиптических точек и является аффин-

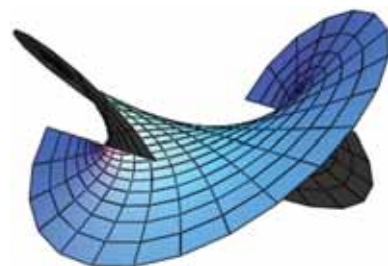


Рис. 8. Фрагмент минимальной поверхности Томсена
[Figure 8. A fragment of Thomsen's minimal surface]

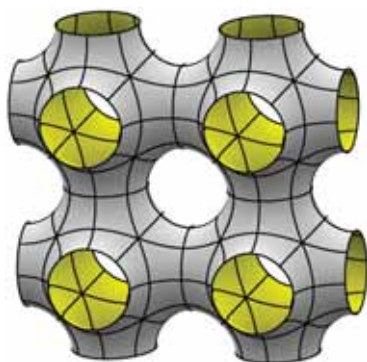


Рис. 9. Сцепленная периодическая минимальная поверхность Шварца
[Figure 9. Schwarz embedded triply periodic minimal surface]

но-минимальной поверхностью. Из наиболее известных обычных минимальных поверхностей одновременно и к аффинно-минимальным относится поверхность Эннепера, скульптурное изображение которой выставлено в новом здании Математического института Университета г. Вюрцбурга.

Сцепленные периодические минимальные поверхности представляют собой минимальные поверхности, симметричные относительно трех независимых направлений. Общим свойством этих поверхностей является наличие базового куска поверхности. Самым первым примером сцепленной периодической минимальной поверхности можно считать минимальную поверхность Шварца (рис. 9). Эта же сцепленная периодическая минимальная поверхность является и одной из самых известных поверхностей этой группы. Она положена в основу некоторых архитектурных композиций.

Торсовые поверхности являются линейчатыми развертывающимися поверхностями, то есть они могут быть развернуты на плоскость всеми своими точками без разрывов и складок (рис. 10). Для того чтобы поверхность была развертываемой, необходимым и достаточным условием является гауссова кривизна, всюду равная нулю ($K = 0$). Невырожденные торсовые поверхности образуются касательными к своему ребру возврата. Поверхность касательных называют касательным торсом. Любую пространственную кривую можно принять за ребро возврата.



Рис. 10. Скульптурная композиция из торсовых оболочек, полученных параболическим изгибанием тонких металлических листов, Ирландия, Дублин
[Figure 10. Sculptural composition from developable shells made by parabolic bending of thin metal sheets, Ireland, Dublin]

Поверхность Каталана — линейчатая поверхность, прямолинейные образующие которой параллельны одной и той же плоскости параллелизма.

Коноид — поверхность Каталана, все прямолинейные образующие которой пересекают фиксированную прямую — ось коноида [7]. Таким образом, коноид — это линейчатая поверхность (рис. 11), образованная движением прямой, остающейся параллельной фиксированной плоскости и пересекающей неподвижную прямую (ось коноида) и неподвижную направляющую кривую. В некоторых публикациях коноиды называют клиновидными поверхностями. Вопросы применения коноидов в строительной отрасли и архитектуре наиболее подробно рассмотрены в статье [21].



Рис. 11. Коноидальное покрытие железнодорожной станции “Oxford Road Station”, Манчестер, Англия, 1960

[Figure 11. Conoidal roofing of the railway station “Oxford Road Station”, England, Manchester, 1960]

Простейшим коноидом является гиперболический параболоид, образуемый прямой, движущейся по двум скрещивающимся прямым, оставаясь параллельной неподвижной плоскости.

Односторонние и двусторонние поверхности — два типа поверхностей, различающихся по способу их расположения в пространстве. Д. Гильберт считает, что всякая односторонняя замкнутая поверхность должна пересекать саму себя. Простейшей односторонней поверхностью является лист Мёбиуса.

Лента, закрученная один раз, называется лентой Мёбиуса, или листом Мёбиуса [22]. В отличие от своей модели лист Мёбиуса не имеет толщины. Много раз дизайнеры пытались воплотить модель листа Мёбиуса в натуральных объектах (рис. 12).



Рис. 12. Модель ленты Мебиуса
[Figure 12. A model of a Möbius band]

Спиральная поверхность с произвольной жесткой образующей кривой в плоскостях пучка образовывается при винтовом движении этой линии с точкой, перемещающейся по конической спирали. Спиральная поверхность с прямыми образующими в плоскостях пучка формируется при винтовом движении прямой линии, пересекающей ось вращения под постоянным углом и другим концом движущейся по конической спирали (рис. 13). Все точки прямых образующих будут описывать конические спирали, которые являются линиями откоса.



Рис. 13. Спиральная крыша
[Figure 13. A spiral roofing]

Спиралевидные поверхности внешне похожи на спиральные поверхности, но их нельзя отнести к одному классу, так как спиральные поверхности имеют в качестве направляющей кривой только спираль на круговом конусе, а образующая кривая в процессе движения вдоль конической винтовой направляющей кривой не изменяет свою форму. За направляющую кривую спиралевидной поверхности можно взять любую спираль на любой поверхности.

Сферическая поверхность (шаровая поверхность, сфера) образовывается вращением окружности постоянного радиуса вокруг своей оси. Сфера считается одной из самых простейших и наиболее используемых поверхностей, широко применяемых и сейчас (рис. 14). Это уникальная поверхность, которую одновременно можно причислить к классу поверхностей вращения, циклическим поверхностям, поверхностям постоянной гауссовой или средней кривизны [23].

Определение циклической поверхности, данное в [24]: «Циклическая поверхность — кривая поверхность, образованная движением окружности постоянного или переменного диаметра, центр которой перемещается по какой-либо направляющей линии, а плоскость окружности остается перпендикулярной этой линии» — некорректно. Это определение нормальной циклической поверхности

[25]. Правильное определение циклической поверхности: «Циклическая поверхность образуется движением окружности переменного или постоянного радиуса по произвольному закону в пространстве» [3; 5]. Иногда циклические поверхности берутся за основу при моделировании поверхностей других классов [26]. Циклические поверхности из определенных групп широко используются в архитектуре, строительстве и машиностроении [27].



Рис. 14. Разорванная сфера, Ирландия, Дублин
[Figure 14. The broken sphere, Ireland, Dublin]

Многие геометры считают каналовыми поверхностями нормальные циклические поверхности, у которых образующие окружности ортогональны линии центров. В классической книге В.И. Шуликовского [28] приводится несколько иное определение: «Каналовой называется поверхность, одно семейство линий кривизны которой состоит из окружностей. Каналовая поверхность является огибающей однопараметрического семейства сфер». По-видимому, определение В.И. Шуликовского необходимо признать основополагающим, следовательно, к каналовым поверхностям могут быть причислены только каналовые поверхности Иоахимстала в линиях кривизн, циклиды Дюпена и трубчатые поверхности.

Циклидой Дюпена, или просто циклидой, называют поверхность, оба семейства линий кривизны которой состоят из окружностей, причем радиус одного семейства окружностей зависит только от одного параметра, а радиус второго семейства окружностей — только от другого переменного параметра.

В зависимости от вида перемещений производящей кривой кинематические поверхности общего вида подразделяются на: 1) поверхности переноса; 2) ротативные поверхности; 3) спироидальные поверхности (рис. 3).

Поверхность переноса может быть задана образующей линией в начальном положении и некоторой направляющей кривой, определяющей направление переноса. Направляющая и образующие кривые поверхности прямого переноса (плоскопараллельного) лежат во взаимно перпендикулярных плоскостях. Поверхности диагонального переноса образуются параллельным переносом плоской кривой так, что две ее симметричные точки непрерывно касаются плоского контура (рис. 15).

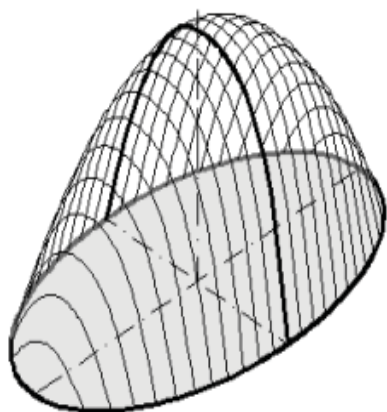


Рис. 15. Поверхность диагонального переноса параболической образующей на эллиптическом контуре
[Figure 15. A surface of diagonal translation of the parabolic generator along the elliptical contour]

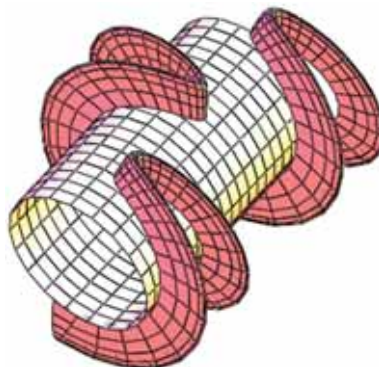


Рис. 16. Поверхность конгруэнтных сечений с образующей параболой [9]
[Figure 16. A surface of congruent sections with parabolic generators]

Поверхностью конгруэнтных сечений называется поверхность, несущая на себе непрерывное однопараметрическое семейство плоских линий (рис. 16). Получается такая поверхность в результате перемещения какой-либо плоской линии (образующей). Выделение этих поверхностей в отдельный класс упростило изложение методов их построения средствами начертательной геометрии. Простейшими видами поверхностей конгруэнтных сечений являются поверхности плоскопараллельного переноса относительно плоскости проекций. Поверхности вращения также могут быть причислены к классу поверхностей конгруэнтных сечений. Резные поверхности Монжа подходят под определение поверхностей конгруэнтных сечений. Все циклические поверхности с образующей окружностью постоянного радиуса можно включать в класс поверхностей конгруэнтных сечений. Ротативные поверхности входят в одну из групп поверхностей конгруэнтных сечений. Винтовые поверхности образуются винтовым движением какой-либо линии, следовательно, они могут быть включены в класс поверхностей конгруэнтных сечений на круговом цилиндре.

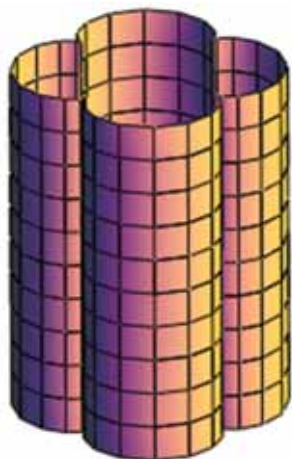


Рис. 17. Эпициклоидный цилиндр
[Figure 17. Epicycloidal cylinder]

Ротативная поверхность образуется произвольной пространственной кривой L при качении без скольжения подвижного торса, с которым жестко связана производящая кривая L , по неподвижному торсу. В этом случае говорят, что производящая кривая L совершает ротативное движение. Торсовые поверхности, способствующие движению производящей кривой линии, называются подвижным и неподвижным аксоидами. Конус и цилиндр, цилиндр и торс не могут составить пар аксоидов для ротативного движения. Рассмотрим

для примера эпициклоидный цилиндр, формируемый прямой образующей подвижного аксоида — цилиндра с радиусом r , катящегося без скольжения по внешней поверхности неподвижного аксоида — цилиндра с радиусом $R=4r$ (рис. 17).

Спироидальные поверхности создаются образующей кривой L , которая совершает винтовое перемещение с непрерывно изменяющимся положением и направлением винтовой оси, а также параметром винтового движения, т.е. спироидальная поверхность формируется при качении торса по торсу со скольжением вдоль соприкасающихся образующих прямых аксоидов [29].

Заключение

Краткая информация о состоянии дел в области создания новых форм для сооружений и конструкций строительного и машиностроительного назначения показывает, что это научное направление в России сохранило свои позиции, хотя и держится на небольшом количестве энтузиастов [30]. Будет обидно, если оно после 15-летнего подъема снова начнет терять своих приверженцев. Особое внимание следует обратить на развитие интереса к использованию пространственных тонкостенных конструкций у молодежи.

Все более популярными среди архитекторов становятся бионические архитектурные формы, которые не описываются аналитическими формулами [31]. Знание принципов формирования и задания поверхностей поможет архитектору создать новое в архитектурной бионике [32]. Существуют сооружения, составленные из фрагментов оболочек, очерченных по поверхностям различных классов (рис. 18). В руках известных архитекторов они становятся шедеврами. Однако, используя принципы параметрической архитектуры, т.е. задавая поверхности аналитическими формулами, можно расширить применение компьютерного моделирования [33].



Рис. 18. Океанографический парк, Испания, Валенсия (архитектор — Ф. Кандела)
[Figure 18. The Oceanographic Park, Spain, Valencia (architect — F. Candela)]

В машиностроительной индустрии получение и обработка деталей, очерченных по сложным поверхностям, представляет собой трудную самостоятельную задачу. Определенную помощь инженерам в решении ряда проблем в формообразовании изделий может оказать книга Стефана Радзевича [34].

В заключение приведем еще несколько работ [37—40], где рассматриваются вопросы классификации определенных поверхностей, нашедших применение на практике.

Список литературы

- [1] Подгорный А.Л., Гринько Е.А., Соловей Н.А. Исследование новых форм поверхностей применительно к конструкциям различного назначения // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Инженерные исследования. 2013. № 2. С. 140—146.
- [2] Булыгин А.В. Об одном классе оболочек знакопеременной гауссовой кривизны // Механика твердого тела. 1977. № 5. С. 97—104.
- [3] Krivoshapko S.N., Ivanov V.N. Encyclopedia of Analytical Surfaces. Switzerland: Springer International Publishing, 2015. 752 p.
- [4] Кривошапко С.Н. Классификация линейчатых поверхностей // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2006. № 1. С. 10—20.
- [5] Кривошапко С.Н., Иванов В.Н. Классификация циклических поверхностей // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2006. № 2. С. 25—34.
- [6] Мамиева И.А. О классификации аналитических поверхностей // Международная научно-практическая конференция «Инженерные системы — 2011»: тез. докл. М.: РУДН, 2011. С. 63—65.
- [7] Белякова М.С. Повышение эффективности процессов конструкторско-технологического проектирования на основе разработки информационной системы моделирования поверхностей: автореф. дис. ... канд. техн. наук. М.: МГТУ «Станкин», 2007.
- [8] Krivoshapko S.N., Bock Hyeng Ch.A. Classification of cyclic surfaces and geometrical research of canal surfaces // International Journal of Research and Reviews in Applied Sciences. 2012. Vol. 12. Iss. 3. Pp. 360—374.
- [9] Кривошапко С.Н., Шамбина С.Л. Поверхности конгруэнтных сечений маятникового типа на круговом цилиндре // Геометрическое моделирование и компьютерные технологии: теория, практика, образование: материалы VI Международной научно-практической конференции, Украина, Харьков, 21—24 апреля 2009 г. Харьков: ХГУПТ, 2009. С. 34—39.
- [10] Кривошапко С.Н., Шамбина С.Л. Поверхности велароидального типа на кольцевом плане с двумя семействами синусоид // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету: XI Міжн. науково-практ. конф. «Сучасні проблеми геометричного моделювання СПГМ-11», 9—12 червня 2009 р., Мелітополь, Україна. С. 29—33.
- [11] Nassar H. Abdel-All, Hussien R.A., Taha Youssef. Hasimoto surfaces // Life Science Journal. 2012. 9(3). Pp. 556—560.
- [12] Sachs Hans. Einige Kennzeichnungen der Edlinger — Flächen // Monatsh. Math. 1973. Vol. 77. No. 3. Pp. 241—250.
- [13] Lalan V. Les formes minima des surfaces d'Ossian Bonnet // Bull. Soc. Math. France. 1949. Vol. 77. Pp. 102—127.
- [14] Degen W. Die zweifachen Blutelschen Kegelschnittflächen // Manuscr. math. 1986. Vol. 55. No. 1. Pp. 9—38.
- [15] López R. Special Weingarten surfaces foliated by circles, Monatsh Math. 2008. Vol. 154. Pp. 289—302.
- [16] Гринько Е.А. Обзорные работы по геометрии, прочности, устойчивости, динамике и применению оболочек со срединными поверхностями различных классов // Монтажные и специальные работы в строительстве. 2012. № 2. С. 15—21.
- [17] Кривошапко С.Н. Расчет и проектирование винтообразных конструкций, применяемых в строительстве и строительных машинах: обзорная информация. М.: РОССТРОЙ России; ВНИИТПИ, 2006. Вып. 1—2. 68 с. (Серия «Строительные конструкции и материалы»).
- [18] Лебедев В.А. Тонкостенные зонтичные оболочки. Л.: Госстройиздат, 1958. 172 с.

- [19] *Кривошапко С.Н.* Геометрические исследования поверхностей зонтичного типа // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2005. № 1. С. 11—17.
- [20] *Мифтахутдинов И.Х.* Наглядная геометрия оболочек минимальной поверхности. Казань: ЗАО «Новое знание», 2009. 40 с.
- [21] *Кривошапко С.Н.* Применение коноида и цилиндроида при формообразовании зданий и сооружений оболочечного типа // Строительство и реконструкция. 2017. № 5 (73). С. 34—44.
- [22] *Starostin E.L., Van Der Heijden G.H.M.* The shape of a Möbius strip // *Nat. Mater.* 2007. 6. Pp. 563—567.
- [23] *Nitsche J.C.C.* Cyclic surfaces of constant mean curvature // *Nachr. Akad. Wiss. Gottingen Math. Phys.* 1989. II. 1. Pp. 1—5.
- [24] Иллюстрированный толковый словарь русской научной и технической лексики / под ред. В.И. Максимова. М.: Русский язык, 1994. С. 379.
- [25] *Иванов В.Н., Шмелева А.А.* Геометрия и формообразование тонкостенных пространственных конструкций на основе нормальных циклических поверхностей // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2016. № 6. С. 3—8.
- [26] *Иванов В.Н.* Геометрия и формообразование многогранных коробчатых криволинейных поверхностей на базовой циклической поверхности // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2012. № 2. С. 3—10.
- [27] *Vock Hyeng Ch.A., Yamb E.B.* Application of cyclic shells in architecture, machine design, and bionics // *Int. J. of Modern Engineering Research.* 2012. Vol. 2. Iss. 3. Pp. 799—806.
- [28] *Шуликовский В.И.* Классическая дифференциальная геометрия. М.: Физматгиз, 1963. С. 379.
- [29] *Мартиросов А.Л.* Ротативные преобразования пространства. Ростов-на-Дону, 2006. 248 с.
- [30] *Мамиева И.А., Разин А.Д.* Параметрическая архитектура в Москве // *Архитектура и строительство России.* 2014. № 6. С. 24—29.
- [31] *Вирченко Г.А., Шамбина С.Л.* Компьютерное вариантное моделирование поверхностей бионических архитектурных форм // *Вестник РУДН. Серия: Инженерные исследования.* 2016. № 3. С. 79—83.
- [32] *Салех М.С.* Применение современных методов автоматизированного проектирования для формообразования и расчета сооружений прогрессивной архитектуры // *Строительная механика инженерных конструкций и сооружений.* 2016. № 6. С. 8—13.
- [33] *Иванов В.Н., Романова В.А.* Конструкционные формы пространственных конструкций (визуализация поверхностей в системах MathCad, AutoCad). М.: АСВ, 2016. 412 с.
- [34] *Radzevich S.P.* Generation of surfaces: kinematic geometry of surface machining, 1st Edition. CRC Press, 2017. 738 p.
- [35] *Иванов В.Н., Валенсия Родригес Э.Г.* Тонкостенные пространственные конструкции на основе поверхностей Иохимсталя // *Строительная механика инженерных конструкций и сооружений.* 2016. № 2. С. 15—21.
- [36] *Чешкова М.А.* Тор Клиффорда и бутылка Клейна // *Известия Алтайского государственного университета.* 2017. № 1 (93). С. 144—147.
- [37] *Золотухин В.Ф.* Классификация поверхностей // *Волгоград. политехн. ин-т, Волгоград,* 1979. 11 с. Рукопись деп. в ВИНТИ 17 марта 1980 г., № 1007-89 Деп.
- [38] *Murre J.P.* Classification of algebraic varieties // *Nieuw. Arch. Wisk.* 1977. 25. № 3. P. 308—338.
- [39] *Баздерова Т.А.* Вопросы классификации линейчатых поверхностей и построение их разверток // *Кузбас. политехн. ин-т, Кемерово,* 1985. 53 с. Рукопись деп. в ВИНТИ 19 июня 1985 г., № 4375-85 Деп.
- [40] *Дружинский И.А.* Сложные поверхности: Математическое описание и технологическое описание: справочник. Л.: Машиностроение, 1985. 263 с.

© Гринько Е.А., 2018



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

История статьи:

Дата поступления в редакцию: 09 сентября 2018

Дата поступления доработанного текста: 22 октября 2018

Дата принятия к печати: 10 ноября 2018

Для цитирования:

Гринько Е.А. Классификация аналитических поверхностей применительно к параметрической архитектуре и машиностроению // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Инженерные исследования. 2018. Т. 19. № 4. С. 438—456. DOI 10.22363/2312-8143-2018-19-4-438-456

Сведения об авторе:

Гринько Елена Алексеевна — заведующая лабораторией, ассистент департамента строительства Инженерной академии, Российский университет дружбы народов. *Область научных интересов:* исследование и систематизация аналитических поверхностей применительно к конструкциям строительного и машиностроительного назначения. *Контактная информация:* e-mail: grinko_ea@rudn.university

Scientific article

Classification of analytical surfaces as applied to parametrical architecture and machine building

Elena A. Grinko

Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University)
6 Miklukho-Maklaya St., Moscow, 117198, Russian Federation

Abstract. At present time, the architects began to show interest in the creation of space large-span shapes due to advent of new materials and building construction technologies. Increased ergonomic requirements for structures and erections are now a great significance. This approach can be seen in many projects, both implemented in material and still being at the stage of drafts and blueprints. Now in economically safe countries, there has already been a splash in the creation of new unique structures, including spatial ones with complex surfaces. It is necessary to prepare for such prospect also in our country. Currently, a large number of surface classifications is offered, but they do not cover the all variety of known surfaces. This article introduces a classification of both new and widely known surface shapes as applied to the structures of building and industrial purposes. A detailed classification of analytic surfaces of 38 classes is constituted. An extensive bibliography containing 40 references is presented for convenient search of studies in the field of geometry and strength analysis of thin shells with the non-canonical middle surfaces.

Keywords: analytic surface, classification of analytic surfaces, parametrical architecture, space large-span thin-walled structure, forming of thin-walled machine-building details

References

- [1] Podgorniy A.L., Grinko E.A., Solovey N.A. Research of new forms of surfaces as applied to structures of divorce purposes. *RUDN Journal of Engineering Researches*, 2013, No. 1, 140—145 (In Russ.)
- [2] Bulygin A.V. On one class of shells of reversed gauss curvature. *Mekhanika tverdogo tela [Mechanics of Solid Body]*, 1977, No. 5, 97—104. (In Russ.)
- [3] Krivoshapko S.N., Ivanov V.N. Encyclopedia of Analytical Surfaces. Springer International Publishing, Switzerland, 2015, 752.
- [4] Krivoshapko S.N. Classification of ruled surfaces. *Structural Mechanics of Engineering Constructions and Buildings*, 2006, No. 1, 10—20. (In Russ.)
- [5] Krivoshapko S.N., Ivanov V.N. Classification of cyclic surfaces. *Structural Mechanics of Engineering Constructions and Buildings*, 2006, No. 2, 25—34. (In Russ.)
- [6] Mamieva I.A. On classification of analytical surfaces. In: *International Scientific-and-Practical Conference “Engineering Systems — 2011”*. Moscow: RUDN Publ., 2011, 63—65. (In Russ.)
- [7] Belyakova M.S. *The Increasing Effectiveness of Process of Structural-and-Technological designing on the base of development of informational system of surface modeling*. PhD Diss. Moscow: MG TU Stankin Publ., 2007.
- [8] Krivoshapko S.N., Bock Hyeng Ch.A. Classification of cyclic surfaces and geometrical research of canal surfaces. *International Journal of Research and Reviews in Applied Sciences*, 2012, Vol. 12, Iss. 3, 360—374.
- [9] Krivoshapko S.N., Shambina S.L. Surfaces of congruent sections of the pendulum type on a circular cylinder. *Geometricheskoe modelirovanie i komp'yuternie tehnologii: teoriya, praktika, obrazovanie. Proc. VI Int. Scientific-and-Pract. Conf., Ukraine, Kharkov, April 21—24, 2009*. Kharkov: KhGUPT, 2009, 34—39. (In Russ.)
- [10] Krivoshapko S.N., Shambina S.L. Surfaces of velaroidal type on ring plan with two families of sinusoids. *Prazi Tavriyskogo Derzhavnogo Agrotekhnol. Univer.: XI Int. Scient.-and-Pract. Conf. “Suchasni problemy heometrychnoho modeliuвання SPHM-11”, 9—12 June 2009, Melitopol, Ukraine*. 2009. 29—33. (In Russ.)
- [11] Nassar H., Abdel-All R.A. Hussien and Taha Youssef. Hasimoto surfaces. *Life Science Journal*, 2012, 9(3), 556—560.
- [12] Sachs H. Einige Kennzeichnungen der Edlinger — Flächen. *Monatsh. Math.*, 1973, 77(3), 241—250.
- [13] Lalan V. Les formes minima des surfaces d'Ossian Bonnet. *Bull. Soc. Math.*, 1949, 77, 102—127.
- [14] Degen W. Die zweifachen Blutelschen Kegelschnittflächen. *Manuscr. math.*, 1986, 55(1), 9—38.
- [15] López R. Special Weingarten surfaces foliated by circles. *Monatsh Math.*, 2008, 154, 289—302.
- [16] Grinko E.A. Survey works on geometry, durability, stability, dynamics, and application of environments with median surfaces of various classes. *Montazhn. i spets. raboty v stroitelstve*, 2012, No. 2, 15—21 (in Russ.)
- [17] Krivoshapko S.N. Analysis and design of helical structures used in building and building machines: review. Moscow: Rosstroy Rossii, VNIINTPI Publ., 2006, Vol. 1—2, *Series Building Structures and Materials*, 68. (In Russ.)
- [18] Lebedev V.A. *Thin-Walled Umbrella Shells*. Leningrad: Gosstoyizdat Publ., 1958, 172. (In Russ.)
- [19] Krivoshapko S.N. Geometrical investigations of umbrella-type surfaces. *Structural Mechanics of Engineering Constructions and Buildings*, 2005, No. 1, 11—17 (In Russ.)
- [20] Miftakhutdinov I.H. *Visual Geometry of Shells with Minimal Middle Surface*. Kazan: Novoe Znanie Publ., 2009, 40. (In Russ.)
- [21] Krivoshapko S.N. The application of conoid and cylindroid in forming of buildings and structures of shell type. *Building and Reconstruction*, 2017, No. 5(73), 34—44. (In Russ.)
- [22] Starostin E.L., Van Der Heijden G.H.M. The shape of a Möbius strip. *Nat. Mater.*, 2007, 6, 563—567.
- [23] Nitsche J.C.C. Cyclic surfaces of constant mean curvature. *Nachr. Akad. Wiss. Gottingen Math. Phys.*, 1989, II, 1, 1—5.

- [24] Maximov V.I. (ed.). The Illustrated Concise Dictionary of Russian Scientific and Technical Terms. Moscow: Russky Yazyk Publ., 1994, 379. (In Russ.)
- [25] Ivanov V.N., Shmeleva A.A. Geometry and formation of the thin-walled space shell structures on the base of normal cyclic surfaces. *Structural Mechanics of Engineering Constructions and Buildings*, 2016, No. 6, 3—8. (In Russ.)
- [26] Ivanov V.N. Geometry and forming of the polyhedral box type surfaces on base cyclic surface. *Structural Mechanics of Engineering Constructions and Buildings*, 2012, No. 2, 3—10. (In Russ.)
- [27] Bock Hyeng Ch.A., Yamb E.B. Application of cyclic shells in architecture, machine design, and bionics. *Int. J. of Modern Engineering Research*, 2012, 2(3), 799—806.
- [28] Shulikovskiy V.I. Classical Differential Geometry. Moscow: Fizmatgiz Publ., 1963, 379. (In Russ.)
- [29] Martirosov A.L. *Rotative Transformation of Space*. Rostov-na-Donu, 2006, 248. (In Russ.)
- [30] Mamieva I.A., Razin A.D. Parametrical architecture in Moscow. *Arkhitektura i stroitelstvo Rossii*, 2014, No. 6, 24—29. (In Russ.)
- [31] Virchenko G.A., Shambina S.L. Computer variant surface modeling of bionic architectural forms. *RUDN Journal of Engineering Researches*, 2016, No. 3, 79—83. (In Russ.)
- [32] Saleh M.S. Application of modern techniques aided design for forming and calculation of erections of progressive architecture. *Structural Mechanics of Engineering Constructions and Buildings*, 2016, No. 6, 8—13. (In Russ.)
- [33] Ivanov V.N., Romanova V.A. *Constructive Forms of Spatial Structures (Visualization of Surfaces in MathCad, AutoCad)*. Moscow: ASV Publ., 2016, 412. (In Russ.)
- [34] Radzevich S.P. *Generation of Surfaces: Kinematic Geometry of Surface Machining*. 1st Edition. CRC Press, 2017, 738.
- [35] Ivanov V.N., Valensya Rodrigues E.G. Thin-walled shell structures on the base of Joachimsthal canal surfaces. *Structural Mechanics of Engineering Constructions and Buildings*, 2016, No. 2, 15—21. (In Russ.)
- [36] Cheshkova M.A. Clifford's torus and Klein's bottle. *Izvestiya Altayskogo Gosudarstvennogo Univ.*, 2017, No. 1(93), 144—147. (In Russ.)
- [37] Zolotukhin V.F. Classification of surfaces. Volgograd. Politekh. In-t, 1979, 11 p., Ruk. dep. v VINITI March 17, 1980, № 1007-89 Dep.
- [38] Murre J.P. Classification of algebraic varieties. *Nieuw. Arch. Wisk.*, 1977, 25(3), 308—338.
- [39] Bazderova T.A. Problems of classification of ruled surfaces and design of their developments. Kuzbas. Politekh. In-t, Kemerovo, 1985, 53 p., Ruk. dep. v VINITI June 19, 1985, № 4375-85 Dep.
- [40] Druzhinskiy I.A. Slozhnie Poverkhnosti [Complex Surfaces: Mathematical Description and Technological Description]. Leningrad: 1985, 263 p.

Article history:

Received: September 09, 2018

Revised: October 22, 2018

Accepted: November 10, 2018

For citation:

Grinko E.A. (2018). Classification of analytical surfaces as applied to parametrical architecture and machine building. *RUDN Journal of Engineering Researches*, 19(4), 438—456. DOI 10.22363/2312-8143-2018-19-4-438-456 (In Russ.)

Bio Note:

Elena A. Grinko — Head of Laborite, Assistant, Department of Civil Engineering, Engineering Academy, Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University). *Research interests*: research and systematization of analytical surfaces as applied to the structures of building and industrial purposes. *Contact information*: e-mail: grinko_ea@rudn.university



DOI 10.22363/2312-8143-2018-19-4-457-470

УДК 72.023

Проектирование универсального аттрактивного транспортного перехода Сундарбан над Бенгальским заливом

Кази Шибли Суман¹, В.М. Шувалов^{1,2}¹ Российский университет дружбы народов*Российская Федерация, 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, 6*² Московский архитектурный институт (государственная академия)*Российская Федерация, 107031, Москва, ул. Рождественка, 11*

Целью статьи является поиск новых путей развития рекреационно-туристического потенциала Бангладеш. Один из методов решения данной проблемы — строительство универсального аттрактивного транспортного перехода Сундарбан над Бенгальским заливом, где слабо развит сухопутный транспорт из-за частых разливов рек. В связи с этим предложен проект возведения современного моста с развитой инфраструктурой и применением современных технологий и материалов, который объединит регионы Читтагонг, Барисал, Кхулна. А создание входных инфраструктурных объектов и многофункциональных пересадочных центров в городах Кхулна, Бхола, Барисал, Читтагонг, Ноакхали, Кох-Базар привлечет дополнительные потоки туристов. **Методы.** В статье рассматриваются факторы, влияющие на развитие рекреационно-туристического потенциала Бангладеш. Дан обзор основных проблем, возникающих при строительстве. Намечен поиск раскрытия резервов для развития рекреационно-туристического потенциала республики. Отсутствие постоянно действующей транспортной коммуникации на юге страны является не только экономической, но и существенной реальной политической опасностью. **Выводы.** Рациональное и экономичное решение позволит комплексно организовать эксплуатацию сооружения, превратит его в главный рекреационно-культурный центр региона, отвечая задачам перспективного развития рекреационных услуг Бангладеш до 2030 г. Для этого необходимо дальнейшее развитие транспортных коммуникаций южной части страны между регионами Читтагонг, Барисал, Кхулна.

Ключевые слова: развитие инфраструктуры, изменения в мировой экономике, строительство моста, рекреационно-туристические зоны, слабо развитый сухопутный транспорт, прибрежная часть Сундарбана

Введение

Актуальность исследования. Сухопутный транспорт Бангладеш развит слабо, дороги из-за проливных дождей выходят из строя, особенно в южной и юго-восточной частях страны. Отсутствие постоянно действующей транспортной коммуникации является не только экономической, но и существенной реальной по-

литической опасностью. Восточную часть страны соединяют дороги от Джабалпур до аэропорта Дакка и до морского порта Читтагонг. Западную часть страны соединяют дороги от Саидпур и Рангпур до Радж-шахи и Пабна. Близ Пабна мост через реку Ганг, далее от Навабгандж и Нараянгандже до Барисал и Кхулна. Однако между восточной и западной частями юга страны нет надежных всевозможных коммуникаций способных объединить регионами Читтагонг, Барисал, Кхулна. Технический прогресс и постоянное динамичное развитие экономических связей южных регионов не могут стабильно развиваться в таких условиях. Крупнейшие рекреационно-туристические зоны этого региона — Читтагонг и Кхулна — из-за отсутствия транспортных коммуникаций не смогут получить дальнейшее экономическое развитие.

Цель исследования — найти новые пути развития рекреационно-туристического потенциала республики.

Постановка проблемы. В Бангладеш назрела острая необходимость развития транспортной инфраструктуры, особенно в южных регионах страны, где часто бывают наводнения из-за разлива рек Ганга, Брахмапутры и Мегхны.

Задачи и методы решения. Необходимо развитие транспортных коммуникаций между регионами страны. В связи с этим предложен проект моста со строительством входных инфраструктурных объектов, объединяющий регионы Читтагонг, Барисал, Кхулна. По Бенгальской равнине с юго-запада на юго-восток от прибрежной части Сундарбан над дельтами великих водных артерий Ганга, Брахмапутры и Мегхны до Араканских гор (высота до 957 м) пройдет уникальный многофункциональный аттрактивный мост, который будет выполнять функции коммуникационно-хозяйственного и рекреационно-туристического назначения.

Бангладеш нужен современный мост с развитой инфраструктурой, построенный с применением современных технологий и материалов. При этом железная дорога и автомобильная трасса должны быть закрыты от неблагоприятных погодных условий (дождей и сильных муссонских ветров). Необходимо, чтобы мост сам вырабатывал электроэнергию и был окупаем. На сегодняшний момент связь между регионами Читтагонг, Барисал, Кхулна осуществляют не крупные речные суда.

Предложения по проектированию многофункционального аттрактивного моста (МММ). Традиционно наиболее простым и доступным способом передвижения по стране считались речные суда. Пристани для малых судов имеются в каждом крупном речном городе. Оборудованные водные трассы страны составляют 8 370 км, главный маршрут — Дакка — Читтагонг. Между регионами через водные трассы в течение года перемещают около 0,5 млн т грузов и более 1 млн людей. Однако перевозки речными судами — дело сезонное и существенно зависит от климатических условий, ветровых и температурных колебаний. Сообщение по воздуху малой авиацией тоже имеет свои минусы, например воздушная гавань может закрыться из-за нелетной погоды или других катаклизмов, к тому же перелет на самолете стоит дороже.

Многообразие культурных традиций, уникальные природные и климатические особенности Бангладеш привлекают потоки туристов из соседних стран и даль-

него зарубежья. Бангладеш является популярным, но недостаточно развитым рекреационно-туристическим направлением.

Климат региона субэкваториальный, муссонный. Средние температуры января 12—25 °С, апреля 23—34 °С. Рекреационно-туристической бизнес развивается, но недостаточно активно, строительство МАМ даст импульс развитию рекреационной деятельности [1; 2]. Из постановления правительства «Стратегия развития туризма в Бангладеш» следует, что при создании объектов рекреационно-туристической сферы необходимо развитие инфраструктурных сооружений. Транспорт связывает и соединяет регионы страны, образуя единую крупную коммуникационную сеть рекреационного комплекса республики. На 2016 г. длина железных дорог — 27 000 км, длина всех автодорог — 239 226 км, в том числе с покрытием — 22 726 км, без покрытия — 216 500 км. Дороги соединят север и юг страны вдоль берегов Брахмапутры и Ганга, а на юге страны отсутствуют.

Проведенная в 2012 г. оценка экономической целесообразности указала на необходимость создания мостового перехода через прибрежную часть Сундарбан над дельтами рек Ганга, Брахмапутры и Мегхны. Геологической особенностью района строительства является сравнительно высокое залегание кровли коренных пород вблизи восточного берега Бенгальского залива. Берега залива низменные и заболоченные, с песчаными косами в восточной части и крупными песчаными отмелями, в некоторых местах восточного берега обрывисты и скалисты. Водобмен в прибрежной части Сундарбан между дельтой и заливом обусловлен в основном ветрами и стоком вод рек Ганга, Брахмапутры и Мегхны. Высота поверхности воды зависит от многих факторов, главными из которых являются колебания уровней вод залива и интенсивность речного притока, но преимущественное влияние оказывает ветровой нагон. Годовая амплитуда колебаний уровней воды — от 56 до 197 см. Максимальная скорость течения воды прибрежной части Сундарбан составляет 1,08 м/с. Сейсмичность в районе Бангладеш — 9 баллов. Рекомендованный судоходный габарит — 25 м по высоте и 120 м по ширине — с возможностью пропуска судов увеличенных габаритов по согласованному графику маршрута Дакка — Читтагонг.

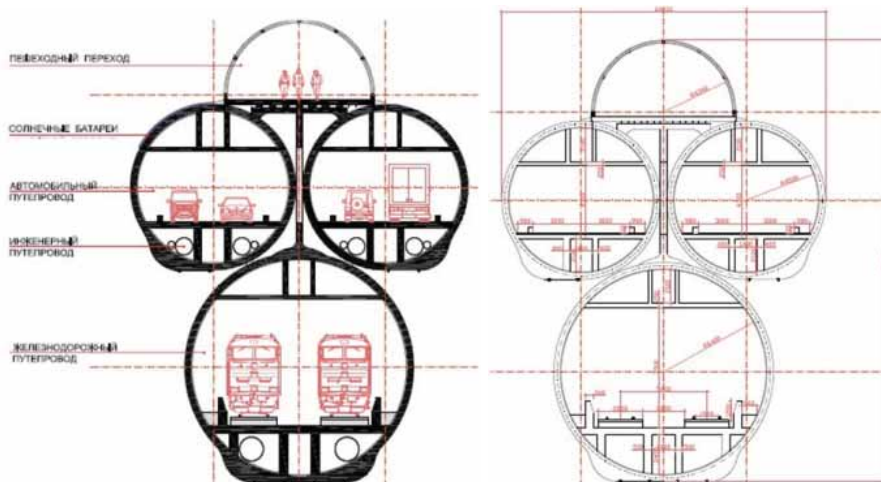
Залегание кровли коренных пород красной глины на глубине 45—50 м. Выше коренных пород лежат очень слабые илистые биогенные грунты. Мощность иловых отложений различной плотности (в основном у восточного берега) доходит до 40—50 м.

У основания ключевых входных групп и на внешней стороне молв-причалов в береговой зоне необходимо оборудовать грузовые, рыболовные и туристические причалы и портовые конструкции, стоянки гидросамолетов, пункты спасательных служб с медицинскими постами (см. рис. 1—5).

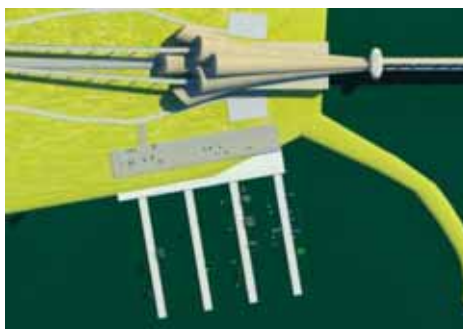


Рис. 1. Схема фрагмента продольного профиля участка моста Сундарбан и многофункциональных входных групп

[Figure 1. Scheme of the fragment of the longitudinal profile of the bridge section Sundarban and multifunctional input groups]



а



б

Рис. 2. Основные параметры моста Сундарбан:
 а — схема поперечного разреза; б — пересадочно-въездная группа с портом малоразмерных судов

[Figure 2. The main parameters of the bridge Sundarban:

а — scheme of the cross-section; б — transfer and entry group with the port of small vessels]



а



б

Рис. 3. Общая концепции создания моста Сундарбан:
 а — схема плана моста; б — многофункциональный пересадочный центр
 [Figure 3. General concepts for the creation of the bridge Sundarban:
 а — bridge plan diagram; б — multifunctional transfer center]



а

б

Рис. 4. Фрагменты пространственного решения моста:
а — пешеходные переходы; б — автомобильный туннель
[**Figure 4.** Fragments of the spatial solution of the bridge:
а — pedestrian crossing; б — road tunnel]



а

б

в

Рис. 5. Фрагменты инженерного решения моста:
а, б — вертолетная эвакуационно-смотровая площадка на быках;
в — установка ветрогенераторов и солнечных батарей на мостовых конструкциях
[**Figure 5.** Fragments of the bridge engineering solution:
а, б — helicopter evacuation and observation deck on the bulls supports;
в — installation of wind turbines and solar panels on bridge structures]

Проектируемый многофункциональный аттрактивный мост представляет собой двухуровневый транспортный закрытый переход с двухпутной железной дорогой колеи 1520 мм и двумя двухполосными автомобильными дорогами, состоящими из трех труб, отлитых из фибробетона и армированных композитной арматурой. Диаметр нижней железнодорожной трубы — 12,8 м, диаметр верхних автомобильных труб — 9 м. Три трубы вместе повышают жесткость и запас прочности конструкции. Над автомобильными трубами располагается пешеходная зона с велосипедной дорожкой, закрытая от неблагоприятных погодных условий арочной крышей. На пешеходном ярусе также размещены зоны озеленения со скамейками для отдыха. Солнечные коллекторы и солнечные батареи располагаются по сторонам пешеходных дорожек, предусмотрено устройство ветрогенераторов. Трубы и арочная крыша аэродинамичны и по своей форме легко выдерживают ветровые нагрузки.

Многофункциональные пересадочные центры входных групп организованы в городах Кхулна, Бхола, Барисал, Читтагонг, Ноакхали, Кох-Базар. Трубчатые конструкции пересадочных центров разделяют потоки транспорта с моста и автомобильных дорог региона, предусмотрен проход на арочную крышу МАМ Сундарбан.

Защита моста. При многофункциональном пересадочном центре входной группы необходимо создать центр по охране и защите моста Сундарбан. Защита и охрана осуществляется специально обученным вооруженным отрядом внутренних войск страны, который дислоцируется в помещении пересадочного центра входной группы. Конструкция моста, созданная из трех балок кольцевого сечения, объединенных в единую конструкцию, достаточно жесткая и будет устойчива к возможным боевым воздействиям или террористическим актам. Сплошное армирование высокоэффективной композитной арматурой и достаточно вязкий и прочный фибробетон выдержат взрывную волну как снаружи, так и изнутри. Проникновение бронебойных снарядов-болванок, поражающих элементов ракет или осколков из-за свойств материалов конструкции к существенным разрушениям не приведет. Пешеходная дорожка может использоваться для эвакуации людей из транспортных труб через опорные конструкции в случае чрезвычайного происшествия. Одновременное разрушение трех труб-путепроводов возможно только при глобальной бомбардировке, вероятность которой, даже при сегодняшнем политическом обострении в регионе, крайне мала. Атака низколетящими крылатыми ракетами может быть пресечена системой ПВО, размещенной в зонах многофункциональных пересадочных центров входных групп. Разработанная концепция моста предусматривает эвакуационные выходы из труб на пешеходный уровень через опорные быки (рис. 5), оборудованные вертолетными площадками. Данные требования определили технологию строительства и материалы моста Сундарбан.

Совет по туризму Бангладеш, созданный в 2010 г., отметил, что большинство путешественников будет приезжать из Индии и в первую очередь из соседнего штата — Западной Бенгалии. Перспективными рекреационными потоками для республики признаны Испания, Германия, Великобритания, Китай, Япония, Южная Корея и Сингапур.

Морские красоты привлекают туристов и составляют важную часть дохода прибрежных регионов [3; 5; 7]. При значительной величине показателей (за 2015 г. — 1,30 млн чел.) въезжающих туристов рекреационная индустрия в данном секторе получает незначительную прибыль (около 20 % от аналогичных стран — Индии, Китая, Сингапура и др.), где темпы роста въездного туризма значительно ниже. Общий поток туристов вырос в 2016 году на 11 % и составил 1,46 млн чел. Главные рекреационно-туристические направления: круиз по великой реке Ганг, поездка к горным племенам на индо-бирманской границе, знакомство с уникальными поселениями «морских цыган». Водные пути играют большую роль в развитии рекреационно-туристического комплекса, пронизывая всю территорию страны большими и малыми протоками и каналами. Дельта священной реки Ганг, коралловые рифы и древние племена, сохранившие свои аутентичные культуры, — все это привлекает новые потоки туристов [8; 9; 11].

Принципиально новой аттрактор в виде моста Сундарбан поможет в организации экологических наблюдений за уникальным природным заповедником, станет своеобразным мостом-зоопарком, где, прогуливаясь по пешеходным переходам, туристы смогут наблюдать за жизнью редких животных (бенгальский тигр, крупный бенгальский слон, гиппопотамы и др.). Привлекательность восточного участка страны как основного источника рекреационных ресурсов республики (природных, социальных, культурных, исторических объектов) станет свидетельством его рекреационной ценности [6–8]. Аттрактивность рекреационной деятельности будет развиваться благодаря индивидуальным и групповым инвестициям в реализацию данного проекта, усиливая престиж в ней в рассматриваемом проекте.

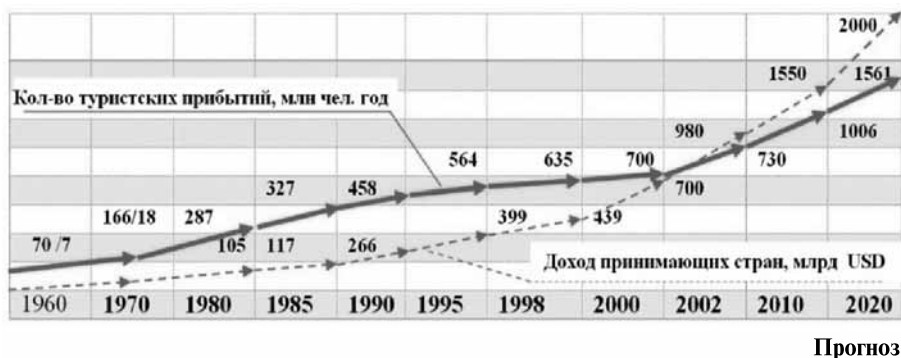
Рекреационно-туристическая деятельность проекта отличается рядом специфических особенностей, обеспечивающих существенные преимущества в формировании сферы туризма моста Сундарбан. Она характеризуется широкими связями между отдельными отраслями, особой структурой фрагментарного характера, нематериальным характером конечного продукта, участием в деле мелких фирм среднего и малого бизнеса, внедрением новых методов системного развития архитектуры моста Сундарбан с учетом современных социально-экономических и психологических требований к их работе.

Для формирования доступной и комфортной туристической среды моста Сундарбан предполагается внедрение механизмов государственно-частного партнерства при создании объектов туристической инфраструктуры и координация региональных программ развития туризма в этой зоне. При проектировании сооружений и зданий необходимо организовать планировочное и архитектурное решения таким образом, чтобы сохранить экологическое биоразнообразие среды различных обитателей живого мира (рис. 6).



Рис. 6. Природно-климатические особенности мест строительства моста Сундарбан
[**Figure 6.** Natural and climatic features of the construction sites of the Sundarban bridge]

Сфера организации рекреационно-туристического бизнеса относится к высокодоходным предприятиям в сравнении с другими отраслями хозяйства мировой экономики (рис. 7). Рекреационный потенциал Бангладеш используется не в полной мере. Чтобы создавать туристические объекты по всей стране, формирование рекреационной индустрии должно базироваться на глубоких фундаментальных разработках во всех отраслях знаний. Стимулом дальнейших исследований может быть концепция стратегии развития туризма, утвержденная правительством страны.



Источник: UN World Tourism Organization. 2016.

Рис. 7. Динамика роста доходов принимающих стран (млрд долл.)
[Figure 7. Dynamics of income growth of host countries (billion USD)]

Сегодня некоторые регионы занимаются разработкой собственной программы развития рекреационно-туристических объектов. Анализ результативности показывает, что чем больше внимания уделяется правительством этой отрасли, тем больших успехов удастся достигнуть. Процесс развития рекреационной отрасли необходимо организовать, а для этого нужно задействовать весь имеющийся научный потенциал. Опора на семейный бизнес добавит стабильность рекреационной индустрии региона.

На южных береговых участках Барисал и Читтагонг необходимо создать игровой развлекательный центр с уникальными пляжами, что позволит за счет высокой туристической привлекательности и массовой посещаемости, рентабельности и доходности существенно сократить сроки возврата вложенных инвесторами инвестиций. Близость к данному месту мелководного залива дает возможность создать современные зоны отдыха мирового класса (рис. 8).

Успешное сооружение столь неординарного архитектурного и технологически прорывного проекта на юге республики Бангладеш, сегодня являющейся центром международного политического противостояния, обеспечит высокоскоростное двухстороннее движение железнодорожного и автомобильного транспорта через единый транспортный переход. Наличие трех автономных монолитных труб-туннелей, подвижно расположенных на подвижных опорах в верхней части быков, позволит существенно снизить опасность разрушения конструкций при землетрясениях и возможных терактах. Энергоэффективное инженерное решение обеспечит электрификацию проезда железнодорожного транспорта. Магистральный водовод большого диаметра с забором воды позволит обеспечить водой районы с высоким содержанием мышьяка. В теле моста заложены нефте- и газопровод, кабельное энергообеспечение, кабельная связь и др.

В проекте используются материалы и оборудование отечественного производства, часть конструкций и строительных элементов собирается на стройплощадке, имеет минимальные стоимость и срок изготовления и монтажа. Конструкция моста герметична и обеспечивает стабильное круглогодичное транспортное сообщение при шквальном ветре, грозových дождях и тумане.



Рис. 8. Потенциальное решение зон отдыха:
основные объекты зоны — гостиницы разного уровня обслуживания; бунгало и палаточные городки
с системой современной инженерии; спортивно- и культурно-досуговые центры; спортивные площадки;
энергоэффективное оборудование и автостоянки

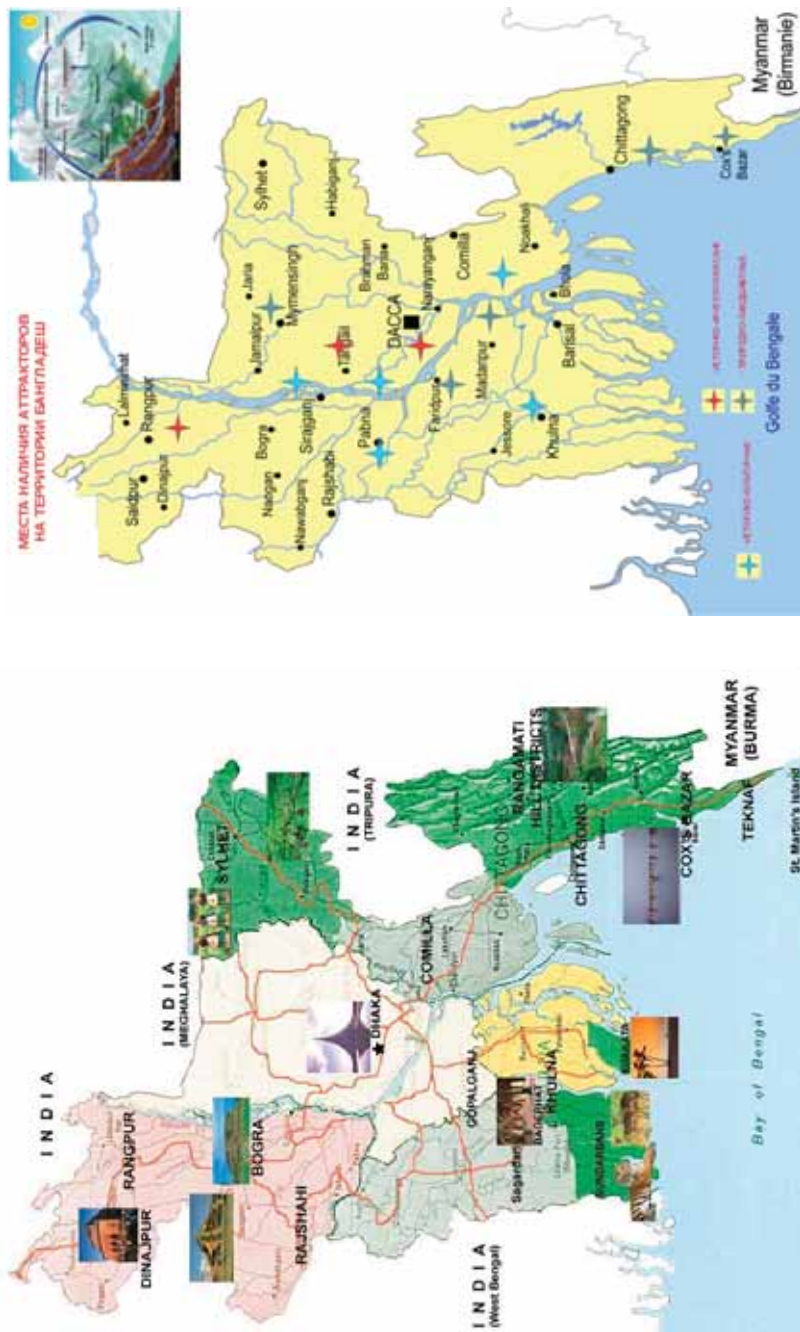
[Figure 8. A potential solution of the relaxation areas:
the main objects of the zone — hotels of different levels of service; bungalows and tent camps with a system of modern
engineering; sports and cultural and leisure centers; sports grounds; energy-efficient equipment and Parking]

Опорные быки моста монтируются из элементов, изготовленных на берегу в стабильных производственных условиях из армированного композитной арматурой фибробетона, и доставляются к точке монтажа в плавучем состоянии, после чего их затапливают на месте окончательной установки. Фибробетон с композитной арматурой — современный долговечный материал, позволяющий решить вопрос предотвращения неизбежной при применении стальной арматуры прогрессирующей коррозии в зоне действия морской воды и активных испарений, а также избежать проблемы термодинамики при сезонных и суточных колебаниях температуры, вызывающих преждевременное разрушение армированного бетона из-за разного коэффициента теплового расширения и ржавления арматуры.

Транспортно-пересадочный комплекс при порт-вокзале в г. Читтагонг включает в свой состав аквапарк, дельфинарий, океанариум, гостиницы, казино, торговые, офисные, технические и административные помещения и т.д. В рекреационно-туристическом секторе мировой экономики происходят существенные изменения. Китай, Индия, Гонконг, Мексика, Южная Корея, Филиппины, Малайзия, Индонезия, Бангладеш и ряд других стран выходят в лидеры рекреационного обслуживания. Характерной чертой этих стран является наличие дешевой рабочей силы, сырья и оборудования, привлекающих иностранных инвесторов, для которых главным критерием выбора являются низкие затраты при высоком качестве рекреационного обслуживания [2; 4; 6; 11; 15].

Заключение

Рациональное и экономичное решение позволит комплексно организовать эксплуатацию моста Сундарбан, сделав его культурным центром региона. Перспективное развитие рекреационных услуг Бангладеш до 2020 г., с опорой на архитектурное решение моста Сундарбан должно быть обязательно выполнено (см. рис. 9). Это усилит привлекательность южной части республики, увеличит поток рекреантов и дополнительные валютные поступления в казну страны.



б

а

Рис. 9. Карты перспективного развития сектора рекреационных услуг в Бангладеш:
а — перспективное развитие сектора рекреационных услуг до 2020 г.;
б — наиболее притягательные аттракты Бангладеш
(историко-культурных, историко-археологические, природно-ландшафтные)
[Figure 9. Maps of the future development of the recreational services sector in Bangladesh:
а — the future development of the recreational services sector until 2020; б — the most attractive attractions of Bangladesh
(historical, cultural, archaeological, natural and landscape)]

Политическая обстановка в Бангладеш постепенно улучшается, активно развиваются услуги и упрощаются визовые требования. Однако нужны дальнейшие усилия по защите прав собственности и снижению затрат и времени, необходимых для начала развития бизнеса. Основные проблемы, вызывающие озабоченность, — низкий уровень безопасности (особенно в морском и речном отдыхе) похищения людей с целью последующего выкупа.

Важны совершенствование и дальнейшее развитие инфраструктуры, телекоммуникационных связей между регионами, строительства автодорог, законодательной среды, регулирующей деятельность туристического бизнеса.

Список литературы

- [1] *Шувалов В.М.* Развитие рекреационной архитектуры в постиндустриальном обществе // Архитектурная наука и образование. Научная конференция МАРХИ. Т. IV. М.: Архитектура-С, 2003. С. 198—202.
- [2] *Шувалов В.М.* Развитие форм придорожных рекреационных комплексов. М.: Архитектура-С, 2012. 135 с.
- [3] *Шувалов В.М.* Архитектура объектов рекреационного назначения в придорожной и рекреационной среде. М.: РУДН, 2015. 348 с.
- [4] *Суман К.Ш., Шувалов В.М.* Архитектурное формирование рекреационно-туристических комплексов в Бангладеш // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Инженерные исследования. 2015. № 2. С. 58—62.
- [5] *Шибли Кази Шуман.* Основы архитектурного формирования рекреационно-туристических комплексов в Бангладеш // Сборник трудов III Всероссийской студенческой научно-практической конференции «Молодая наука — 2016: Архитектура. Строительство. Дизайн». М.: МАСИ, 2016. С. 70—74.
- [6] *Шибли Кази Шуман.* Методы системного подхода к формированию рекреационно-туристических кластера // Наука, образование и экспериментальное проектирование в МАРХИ: тезисы докладов международной научно-практической конференции профессорско-преподавательского состава молодых ученых и студентов. Т. 2. М.: МАРХИ, 2016. С. 47—49.
- [7] *Шибли Кази Шуман, Шувалов В.М.* Формирование рекреационно-туристических кластеров в республике Бангладеш // Наука, образование и экспериментальное проектирование в МАРХИ: материалы Международной научно-практической конференции, 4—8 апреля 2016 г. М.: МАРХИ, 2016. С. 172—176.
- [8] Wheeler W., Gravaard A.-K. “Bangladesh fights for survival against climate change” // The Washington Times. URL: Pulitzercenter.org (дата обращения: 21.08.2017).
- [9] *Фирсанов В.М.* Архитектура тропических стран. М., 2002. 240 с.
- [10] *Александрова А.Ю.* Международный туризм. М.: КноРус, 2013. 464 с.
- [11] Economic and Employment Opportunities of Tourism in Bangladesh: A Study on Bangladesh Parjatan Corporation. Bangladesh, 2012. 240 с.
- [12] *Кази Шибли Суман, Шувалов В.М.* Проблемы формирования рекреационно-туристических комплексов в Бангладеш // Архитектура и современные информационные технологии (АМИТ). 2015. № 4 (33). URL: <http://www.marhi.ru/AMIT/2015/4kvart15/shuvalov/shuvalov.pdf> (дата обращения: 10.08.2018).
- [13] *Поляков В.В.* Мировая экономика и международный бизнес. М.: КноРус, 2007. 399 с.
- [14] The Bengali Academy Journal. 1970. April. Vol. 1. 62 p.
- [15] *Тринич Ф.А.* Бангладеш. Экономико-географический очерк. М.: Мысль, 1974. 256 с.

© Кази Шибли Суман, Шувалов В.М., 2018



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

История статьи:

Дата поступления в редакцию: 22 июля 2018

Дата поступления доработанного текста: 28 августа 2018

Дата принятия к печати: 15 сентября 2018

Для цитирования:

Кази Шибли Суман, Шувалов В.М. Проектирование универсального аттрактивного транспортно-перехода Сундарбан над Бенгальским заливом // *Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Инженерные исследования.* 2018. Т. 19. № 4. С. 457–470. DOI 10.22363/2312-8143-2018-19-4-457-470

Сведения об авторах:

Кази Шибли Суман — аспирант департамента архитектуры Инженерной академии, Российский университет дружбы народов. *Область научных интересов:* рекреационно-туристические комплексы в Бангладеш. *Контактная информация:* e-mail: quazi2002bd@yandex.ru

Шувалов Василий Максимович — кандидат архитектуры, доцент кафедры архитектуры сельских населенных мест, Московский архитектурный институт (государственная академия). Доцент департамента архитектуры Инженерной академии, Российский университет дружбы народов. *Область научных интересов:* рекреационно-туристические комплексы. *Контактная информация:* e-mail: shuv-vasilij@yandex.ru

Scientific article

Design of universal attractive transport passage Sundarbans over the Bay of Bengal

Qazi Shibli Suman¹, Vasily M. Shuvalov^{1,2}

¹ Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University)
6 Miklukho-Maklaya St., Moscow, 117198, Russian Federation
Moscow Architectural Institute
11 Rozhdestvenka St., Moscow, 107031, Russian Federation

Abstract. The **purpose** of this article is to find new ways to develop the recreational and tourist potential of Bangladesh. One of the methods of solving this problem is the construction of a universal attractive transport passage Sundarbans over the Bay of Bengal, where land transport is poorly developed due to frequent river spills. In this regard, the proposed option of building a modern bridge with developed infrastructure and with the use of modern technologies and materials, which will unite the regions of Chittagong, Barisal, Khulna. The construction of entrance infrastructure facilities and multifunctional transfer centers in the cities of Khulna, Bhola, Barisal, Chittagong, Noakhali, Koh

Bazaar will attract additional flows of tourists, which will unite the regions of Chittagong, Barisal, Khulna. **Methods.** The article deals with the factors influencing the development of recreational and tourist potential of Bangladesh. A review of the main problems encountered in the construction. The search for the disclosure of reserves for development is planned. **Conclusion.** A rational and economical solution will allow the complex to organize the further operation of the structure, turning it into the main recreational and cultural center of the region, responding to the objectives of the future development of recreational services Bangladesh up to 2030. This requires further development of transport communications in the southern part of the country between the regions of Chittagong, Barisal, Khulna.

Keywords: development of infrastructure, changes in the world economy, construction of a bridge, recreational and tourist areas, underdeveloped land transport, the coastal part of the Sundarbans

References

- [1] Shuvalov V.M. Razvitiye recreazionnoi architekturi v postindustrialnom obchestve [Development of recreational architecture in the post-industrial society]. *Naushnay konferenzyi MARCHI. Architekturnaya nauka i obrazovanie [Architectural Science and Education. Scientific conference MARCHI]*. Vol. IV. Moscow, 2003. 198–202. (In Russ.)
- [2] Shuvalov V.M. *Razvitiye form pridorojnix recreazionnix kompleksov [Development of roadside recreational facilities]*. Moscow, 2012, 135. (In Russ.)
- [3] Shuvalov V.M. *Architectura objectov recreazionnogo naznacheniy v pridorojnoy i mejcelennoy srede [The architecture of objects of recreational appointment in the roadside and inter-settlement environment]*. Moscow, 2015, 348. (In Russ.)
- [4] Guazi Shibli Suman, Shyvalov V.M. Architekturnoe formirovanie recreazionno-tourisheskix kompleksov v Bangladesh [Architectural formation of recreation and tourist complexes in Bangladesh]. *RUDN Journal of Engineering Researches*, 2015, (2), 58–62. (In Russ.)
- [5] Guazi Shibli Suman. Ocnovi architecturnogo formirovanie recreazionno-tourisheskix kompleksov v Bangladesh. *Cbornik trudov III Vserociyckoy studensheckoy naushno-praktisheskoy konferenzyi “Moloday nauka: Architectura. Stroitelstvo. Dizain” [Features of design of recreation-tourist complexes in Bangladesh]*. Moscow: MASI Publ., 2016, 70–74. (In Russ.)
- [6] Guazi Shibli Suman. Metodi sistemnogo podxoda k formirovaniyu recreazionno-tourisheskogo clastera [Methods of system approach to formation of recreation and tourism cluster]. *Naushnaya konferenzya MARCHI [Proceedings of scientific conference MARCHI]*. Vol. II. Moscow, 2016, 47–49. (In Russ.)
- [7] Guazi Shibli Suman, Shyvalov V.M. Formirovanie recreazionno-tourisheskix kompleksov v Bangladesh [Formation of recreational-tourist cluster in the Republic of Bangladesh]. *Architectural Science and Education. Scientific conference MARCHI*. Moscow, 2016, 172–176. (In Russ.)
- [8] Wheeler W., Gravgaard A.-K. Bangladesh fights for survival against climate change. *The Washington Times*. Pulitzercenter.org (accessed: 21.08.2017). (In Russ.)
- [9] Firsanov V.M. *Architectura tropicheskix stran [Architecture of tropical countries]*. Moscow, 2002, 240. (In Russ.)
- [10] Alexandrova A.Y. *Megdunarodnii tourism [International tourism]*. Moscow, 2013, 464.
- [11] *Economic and Employment Opportunities of Tourism in Bangladesh: A Study on Bangladesh Parjatan Corporation*. Bangladesh, 2012, 240.
- [12] Guazi Shibli Suman, Shyvalov V.M. Problemi formirovaniya recreazionno-tourisheskix kompleksov v Bangladesh [Problems of formation of recreation and tourism facilities in Bangladesh]. *Architecture and modern information technologies (AMIT)*, 2015, 4, (33). <http://www.marhi.ru/AMIT/2015/4kvart15/shuvalov/shuvalov.pdf> (accessed: 10.08.2018).
- [13] Polakov V.V. *Mirovay ekonomica i mejdynarodnii biznes*. Moscow: KnoRus Publ., 2007, 399. (In Russ.)
- [14] *The Bengali Academy Journal*, 1970, April, Vol. 1, 62.
- [15] Trinich F.A. *Bangladesh. Economico-geografiicheskii ocherk*. Moscow: Misli Publ., 1974, 256. (In Russ.)

Article history:

Received: July 22, 2018

Revised: August 28, 2018

Accepted: September 15, 2018

For citation:

Qazi Shibli Suman, Shuvalov V.M. (2018). Design of universal attractive transport passage Sundarbans over the Bay of Bengal. *RUDN Journal of Engineering Researches*, 19(4), 457–470. DOI 10.22363/2312-8143-2018-19-4-457-470

Bio Notes:

Quazi Shibli Suman — postgraduate student of the Department of Architecture, Engineering Academy, Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University). *Research interests:* recreational and tourist complexes in Bangladesh. *Contact information:* e-mail: qss2003bd@hotmail.com

Vasily M. Shuvalov — Ph.D. in Architecture, Associate Professor of the department of architecture of rural areas, Moscow Institute of Architecture (State Academy). Associate Professor of department of architecture, Engineering Academy, Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University). *Research interests:* recreational and tourist complexes. *Contact information:* e-mail: shuv-vasilij@yandex.ru



Scientific article

DOI 10.22363/2312-8143-2018-19-4-471-481

UDC 726.85:72.036

Consideration of climatic conditions in the design of dwellings in the Sahara desert

Yassine M. Benyoucef, Andrey D. Razin

Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University)
6 Miklukho-Maklaya St., Moscow, 117198, Russian Federation

Abstract. Climate is one of the important factors in architecture. The historical architecture experience of the inhabitants of the desert zones has created invaluable knowledge on the design of residential environments in these aggressive conditions. Climate also is an important ecological component in the formation of vernacular architecture in the Saharan desert, it had a strong influence on the formation of desert settlements, the Saharan traditional dwellings are an indispensable source for studying organizations and architectural typologies and the adaptation to the harsh climate. The article discusses the climatic conditions in which the dwellings in the Sahara desert were built and the important strategies and passive climatization techniques of the design of the dwellings and presents a review of the various techniques developed. These various passive methods and strategies give the Saharan dwellings, adaptation, efficiency, and durability in these hot-arid conditions of the desert and can be a great source of architectural inspiration for new projects.

Keywords: Sahara, climate, residential buildings, environment, vernacular architecture

Introduction

Since old times every population has created its own habitation in accordance with its needs and its environment. The Great Sahara is a land of old humanity, of great historical thickness, of human creations as beautiful as the creations of nature. Every era, every nation, has left its imprint on the vast backdrop of the Desert light trace or powerful mark, each one is a human signature, rich of all meaning [1]. The study of climatology is important to understand the relations between the buildings and the climate to determine the urban and architectural characteristics in the Saharan area [2]. The Saharan climate is characterized by the weakness and the irregularity of the precipitations, an intense luminosity, a strong evaporation and big differences of temperature [3].

Today, hot deserts are the most challenging regions in terms of energy consumption in buildings due to the intensive demand for cooling, as they experiences an extreme maximum air temperature of over 50 °C, there is increasing consumption of energy also buildings are responsible for more than 40% of global energy consumption [4], climate had a strong influence on the formation of desert habitations, for these reasons the problems of the dwellings design and her climate adaptation are strongly imposed.

The purpose of this study is explore and understand the relation between climate and architecture and draw lessons from vernacular architecture for applying sustainable energy concepts which help in the reduce of energy using.

The present work discuss the consideration of climatic conditions in the architecture design, for that we chose cities located in different geographical situations in different countries (Algeria, Libya, Morocco, Mali).

Now the most cities in Sahara have high power consumption and with high energy prices, these problems led to a rethinking of the way homes are designed. Now there are too many research study the possibilities for developing new techniques, for saving more energy as sustainable options for buildings through their improved energy, environmental and thermal performance.

Methodology

In order to achieve the stipulated aim, the study in this paper traces the following steps:

1. Analyses of the climate in the Saharan area (Ghardaïa, Timbuktu) cities.
2. General overview of the vernacular architecture.
3. Defining the relation between the architecture and climate.
3. Analyses of the morphologies and structure of two Saharan cities (Ghardaïa, Ghadames).
4. Analyses of passive climatization techniques and strategies used in patio house.
5. Defining the benefits of the use of these passive climatization techniques.

Climatic conditions in the Saharan area

In the Great Sahara desert, an average effective duration of insolation of more than 3, 978 hours in each year is regularly recorded, more than 10 hours per day, but in the central Sahara more than 4,000 hours of annual daylight (more than 11 hours a day) [5].

The word “Sahara” certainly refers to geographical reality [6], and in the arid zones, there is usually less than 250 mm of precipitation a year, there are several deserts of the hot deserts (figure 1) in the world like such as the Great Sahara (figure 2), Arabian Desert, Kalahari Desert, Syrian Desert, the only thing that is typical for all deserts is their aridity, translated by the weakness and rarity of precipitation. The important aridity called hyper-aridity, elevation, and soil, with variations in with mean annual temperatures exceeding 30 °C (86 °F). Other general features are dust, dry vegetation, and most importantly, temperature decreases quickly just after sunset and increases after sunrise [7]. With an area of 9,065,000 km² and extends over more than ten countries: Algeria, Chad, Mali, Egypt, Senegal, Mauritania, Morocco, Niger, Libya, Sudan, Tunisia, and Western Sahara, the Great Sahara is the largest desert hot in the world’s lowest supply area and considered as the best illustration of hot deserts in the world, the extensive hot desert located in the northern part of the African continent [8].

In the hottest months (figure 3) temperatures can rise over 50 °C (122 °F). A single daily variation of 0.5 °C (31.1 °F) to 37.5 °C (99.5 °F) has been recorded [9]. The two graphs down show the climate in Timbuktu and Ghardaïa cities within a year (figure 4), the climate graphs depict monthly average temperatures, precipitation, wet days, sunlight hours, relative humidity and wind speed.



Figure 1. The map of Köppen — Geiger, climate classification “Köppen” BWh

Source: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/e4/Koppen_World_Map_BWh.png



Figure 2. The Great Sahara desert

Source: <https://www.britannica.com/place/Sahara-desert-Africa>

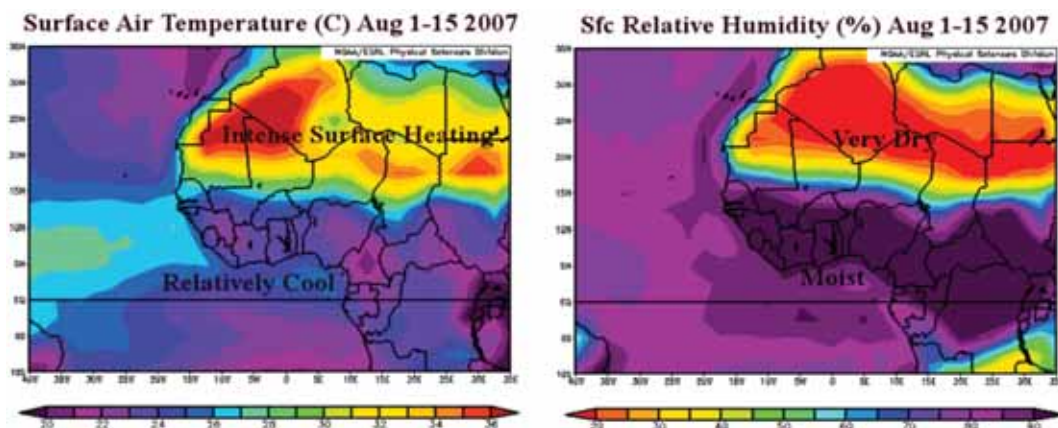


Figure 3. National Centers for Environmental Prediction (NCEP) and National Center for Atmospheric Research (NCAR) reanalysis of Northern Africa during August 1—15, 2007 showing the temperature (*left*) and moisture (*right*) gradients

Source: <http://maps.wunderground.com/blog/Weather456/archive.html?year=2010&month=06>

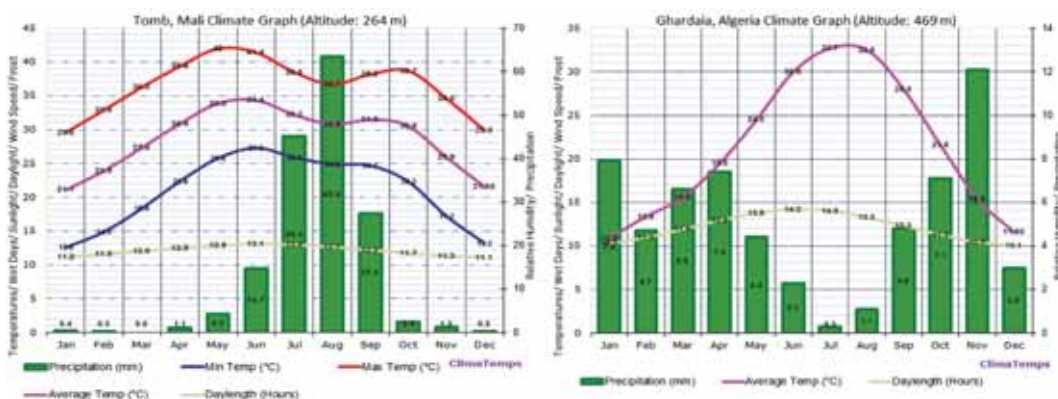


Figure 4. Timbuktu city (Mali), Ghardaia city (Algeria), Climate Graphs

Source: <http://www.smara.climatemps.com/map.php>

In addition, the climate has a strong sunshine with a large portion of the direct radiation. The clear night sky can cause great differences between day and night temperatures, and the potential for radiative cooling is high. Winter nights are cold in certain regions [10]. The Saharan population, within the limits of the Sahara countries (Algeria, Morocco, Mauritania, Mali, Niger, Tunisia, and Chad), is estimated at 1.7 million inhabitants in 1948, 2 million in 1966 and 10 million in the mid-1994 [10]. Moreover, there is a large growth in population in the last 10 years.

The vernacular architecture and Saharan urbanization

The vernacular or traditional architecture has achieved through trial and error through the years inherently provides the aesthetic qualities, the climatic adaptability, and the economic feasibility, with a respect of surrounding nature that today's sensitive architects

search for. Indigenous urban and rural fabric and individual building structures demonstrate endlessly such ingenuities of past architecture. Climatic control commences with community planning on the urban scale. It initiates through the way buildings agglomerate and shelters each other from the heat, the way serpentine-like streets denounce the harsh sun and pull the cool breeze through while keeping dust and sand out [12]. The term “vernacular architecture” is used to refer to traditional buildings that have been designed and built to match the local climate and culture and what built in the desert areas differed in the composition and construction material than built in other areas. Urbanization in the Sahara has a historical dimension, in this territory, characteristic type of residential buildings has developed with these conditions and inhabited spaces are integrated with the Saharan environment, with a unique harmony and homogeneity between buildings and nature because of the use of local natural resources as building materials [13]. The architecture and construction of clay has ancient historical roots and is of great importance in the modern world [14].

The keys of the adaptation of desert habitations

Desert habitation has always been effective in terms of adaptation to the harsh conditions of the terrain and climate. Cities are made in the forms of traditional architecture, largely due to the influence of the environment. However, there many vernacular techniques that have been developed for hot desert climates to seek cooling and comfort and day-lighting. To ensure the comfort of the habitat in such hot and arid environment there’s many strategies used we can observe on three levels: territory level, urban level, architectural level.

1. Geographical location. The most of Saharan cities are located near to a valley or Oases, a good geographical location is important for the architecture buildings, and to the adaptation of the climate conditions, the location near to Oases will allow for constant moderate climates in the city. In the Sahara we can find several distinct ecoregions. With their variations in climate, elevation, and soil quality, these regions harbor distinct communities of plants and animals, and the most of cities are situated in those ecoregions.

2. Compact form of cities. The second adaptation to climate conditions is start by the density of buildings (figure 5). Houses are compact with a closed outer face. The road layout of cities is narrow and is similar in most of the cities [15]. The streets, long and winding are shadowy most of the day [16]. The buildings are so tightly pressed against each other that they leave a minimum of the area of the external surfaces that are not protected from the marching rays of the sun and the hot winds-dry winds.

The planning structure of the complex is characterized by integrity and unity, almost complete absence of separately standing material volumes, high density and heat resistance of all residential buildings. In Saharan areas the climatic performance of urban forms begins at the scale of the city. This type of urban fabric has been relied upon to avoid heat and to obtain shade in addition to that, the narrowing of streets and alleys to reduce their exposure to the sun. Climatic performance of buildings in hot arid regions starts at the scale of the city, in a dense urban context, there is little space for dust swirls, for sand and for direct or diffuse solar radiation.



Figure 5. Urban view of Ghardaïa, M'Zab Valley, Algeria (left);
City of Ghadames, Libya (George Steinmetz) (right)



Figure 6. Marrakech, part of the medina
shown the houses with courtyards
(Friedrich Ragette)

3. Interior courtyard “Patio”. The model of the patio house is one of the oldest and great models of urban housing known in the history of architecture (figure 6). The general organization of patio houses corresponds to a centered lifestyle. In each dwelling there is a shady courtyard “Patio”, reliably protected from unfavorable factors of the external environment. Such a compositional principle of construction is dictated both by an urgent biological need and by the theories of social and cultural-historical development [17]. The patio house in this area is the most effective and adaptive house with the intrinsic qualities of adaptation to the climate desert and the convergence of buildings in the desert areas is the result of the prevailing hot climate.

Plans of houses are about 8—15 m width (figure 7), the patio can be a kind of microcosm (figure 8) that connects the house with nature, sky, sun, fresh air, earth, and sometimes water and vegetation. The spatial configuration of the cup-shaped patio creates a kind of microclimate [18].

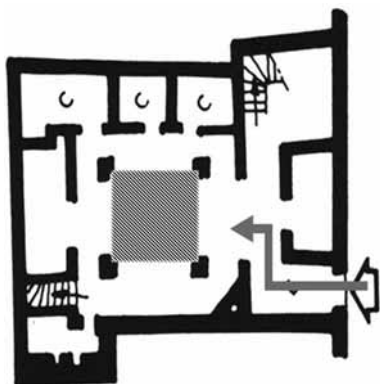


Figure 7. Traditional house plan, with central patio,
Ghardaïa, Algeria (J. Eshalie)

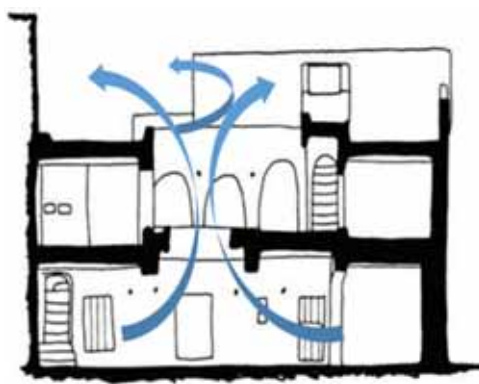


Figure 8. Section of Mozabite house in Ghardaïa,
patio and the natural ventilation (Christian Bouquet)

4. Vegetation and fountain. For the ensure the comfort of the habitat, many of the inhabitants create a green courtyard with a fountain and plants as a traditional methods of natural refreshment, with natural ventilation, when the wind passes and contacts the wet surfaces of the fountain or basins diffuse their freshness inside the house, vegetation also has effectively used as shelters from unpleasant winds, filters sand, and dust, water and plants it is an important bioclimatic adaptation factors.

5. Natural walls (adobe). Sundried brick “adobe” used in the traditional building and made by clay material. During the hot day, the heat flow from exterior to interior, the consequence is a minimization of temperature change inside the building. The average thickness of adobe walls is from 30 cm to 80 cm and in some situation can be reaching to 120 cm. The traditional adobe have low heat conductivity and high energy storage capacity allows as much as 80% of the outside heat to be absorbed and only 20% transmitted inside [19]. The adobe construction has many advantages because of the inherent qualities of the material: recyclability, performance, energy, fire resistance, durability.

6. Domes. Domes are an architectural element and an old technical solution in hot-arid area. Oud Souf city in Algeria, called “city of a thousand cupolas” and the new Gournia project in Egypt are two cities where domes used as technical solution, the buildings in this two cities are built from the adobe and used domes, many cities use this element because the curve roof has a larger convection heat transfer surface, whereby it is more easily cooled. When air flows over a cylindrical or spherical object, the velocity of the air at the apex is increased, therefore, the pressure at the apex is lowered, the pressure difference induces the internal hot air to be discharged out through the air vent [20], and this formes are characterized by strength, stability, and dynamics [21].

7. Mashrabiya. The Mashrabiya is a traditional window screen used in many Saharan cities in deferent countries like Morocco and Egypt. Mashrabiya were mostly used in houses with numerous different functions among including producing an architectural envelope that can respond to sun exposure and changing incidence angles during the different days of the year, regulating air flow, reducing the temperature of the air current, increasing the humidity of the air current and guaranteeing a great amount of privacy [22]. There are different types of traditionally Mashrabiya built from wood (figure 9) or adobe, and the latticework designs different from region to region, and has offered effective protection against intense sunlight in the Sahara cities for several centuries.

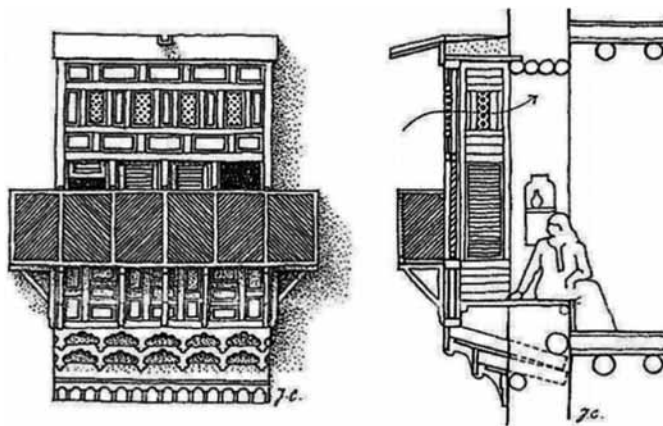


Figure 9. Details of Mashrabiya in elevation and section view (F. Ragette)

Conclusion and results

The passive design building is an alternative environmental technique, in comparison with mechanical systems used in the design and construction.

In the Sahara area, the compact urban form and the orientation of buildings in the sun and wind, the location of summer and winter spaces, the use of natural materials and clean energy as environmental potentials, narrow and enclosed passages, underground spaces, deep patios, thick walls, use of water and plants, as well as the morphological composition that respects the site, all this are the main characters of the traditional architecture which gives the Saharan habitation the adaptation, efficiency and durability in this extremely harsh conditions of the desert.

The proposed actions and recommendation for the passive design strategies:

- passive solar design;
- external shading for minimized infiltration of outside heat;
- using domes as solution for reducing internal temperature;
- maximizes the use of day-lighting for reducing the energy use;
- the use of patio house model;
- consideration of vegetation and fountain in the design of the house;
- the use of nature material (adobe) in construction;
- the use of Mashrabiya in the external windows.

Recently the energy demand is very high in the Saharan cities and using these techniques in the new construction can allow us to save more energy, and help in the sustainable development. Traditional construction methods achieved comfort, the using of passive design building is ultimate vision to reduce requirements for active mechanical systems.

Dwelling in the desert is like a paradox and an indispensable source for studying organizations and architectural typologies and the adaptation to climatic conditions. The designer of the new projects of habitations in the desert context can and ought to attain climatic comfort by skilfully manipulating architectural design parameters and make wise use of what nature provides us and learn from the lessons and strategies which have been used in the desert context.

References

- [1] Cote M. *Signatures sahariennes, terroirs et territoires vus du ciel*. AFPU Publ., 2012, 1.
- [2] Sagna P. *Climatologie du Sahara et de ses marges*. 13. Available on: https://www.editions-ellipses.fr/PDF/9782340021228_extrait.pdf (accessed: 10.08.2018).
- [3] Chehma A. *Le sahara en Algerie, situation et défis*. Algérie, 2011, 14. (In French)
- [4] Alrashed F., Asif M., Burek S. The role of vernacular construction techniques and materials for developing zero-energy homes in various desert climates. *Buildings journal*. Saudi Arabia, 2017. Available on: <https://www.mdpi.com/2075-5309/7/1/17> (accessed: 27.07.2018).
- [5] Langewiesche W. The world in its extreme. *Atlantic online*, November 1991. Available on: <https://www.theatlantic.com/past/docs/unbound/langew/extreme.htm>
- [6] Casajus D. *Sahara en mouvement*. CNRS Publ., 2011, 1. Available on: <https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-00680064> (accessed: 21.08.2018).
- [7] Mofeed R.M. *Building in hot zones*. Dielsdorf, Akerets Erben AG Publ., 1963, 5.
- [8] Lewis L.A., Berry L. *African Environments and Resources*. Routledge, 1988, 155.
- [9] Peel M.C., Finlayson B.L., McMahon T.A. HAL. *Updated world map of the Köppen-Geiger climat classification*, 2007, 1633—1644. Id: hal-00305098

- [10] Rosenlund H. *Climatic Design of Buildings using Passive Techniques*. 2000, 6.
- [11] Pliez O. *Villes du Sahara: urbanisation et urbanité dans le Fezzan libyen*. CNRS Publ., 2003.
- [12] Vefik A. *Vernacular climate control in desert architecture, energy and buildings*. 1990, 809—815. Available on: https://www.aivc.org/sites/default/files/airbase_5571.pdf (accessed: 09.07.2018).
- [13] Cote M. *La ville et le désert, le bas-Sahara algérien*. Karthala, 05. (In French)
- [14] Khalil I., Khalabi S.M., Alhalabi Z.S. Clay architecture in Syria. *RUDN Journal of Engineering Researches*, 2016, No. 1, 166—171.
- [15] Filippi F.D. *Traditional architecture in the Dakhleh oasis, Egypt: space, form and building systems*. Italy, 2006. Available on: https://www.researchgate.net/publication/237255719_Traditional_architecture_in_the_Dakhleh_Oasis_Egypt_space_form_and_building_systems
- [16] Bencherif M., Chaouche S. (2013). La maison urbaine a patio, reponse architecturale aux contraintes climatiques du milieu aride chaud. *Secheresse*, 24, 203—213. doi 10.1684/sec.2013.0390 (In French)
- [17] Firsanov V.M. *Arhitektura tropicheskikh stran [Architecture of tropical countries]*. Moscow: PFUR Publ., 2002, 17. (In Russ.)
- [18] Abdulac S. *Les maisons à patio. Continuités historiques, adaptations bioclimatiques et morphologies urbaines*. Paris: ICOMOS Publ., 2011, 282. (In French)
- [19] Vefik A. Vernacular climate control in desert architecture. *Energy and Buildings*, 1990, 809—815. Available on: https://www.aivc.org/sites/default/files/airbase_5571.pdf (accessed: 17.07.2018).
- [20] Monshizade A. The desert city as an ancient living example of ecocity. *The International Ecocity Conference*. San Francisco, United States, 2008, 7.
- [21] Mamieva I.A., Razin A.D. Landmark Spatial Structures in the Form of Conic Surfaces. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*, 2017, No. 10, 5—11. (In Russ.)
- [22] Semary El.Ya., Attalla H., Gawad I. Modern Mashrabiyas with High-Tech Daylight Responsive Systems. *International Journal on Archive Proceedings of Academic Research Communit*, 2017, Vol. 1, No. 1. Available at SSRN: <https://ssrn.com/abstract=3055622>

© Benyoucef Y.M., Razin A.D., 2018



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

Article history:

Received: July 02, 2018

Revised: September 10, 2018

Accepted: September 25, 2018

For citation:

Benyoucef Y.M., Razin A.D. (2018). Consideration of climatic conditions in the design of dwellings in the Sahara desert. *RUDN Journal of Engineering Researches*, 19(4), 471—481. DOI 10.22363/2312-8143-2018-19-4-471-481

Bio Notes:

Yassine M. Benyoucef — postgraduate student, Department of Architecture and Construction, Academy of Engineering, Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University). *Research interests*: architecture in hot-arid areas, desert habitation, biomimicry in architecture and the bioinspiration, vernacular architecture, sustainable development. *Contact information*: e-mail: b.yassine@mail.ru. ORCID ID: 0000-0002-0111-1429.

Andrey D. Razin — PhD (in Technical Sciences), Associate Professor of Department of Architecture and Construction, Engineering Academy, Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University). *Research Interests*: architecture of dwelling and public buildings, urbanism. *Contact information*: e-mail: andreyrazin@mail.ru. e-LIBRARY SPIN-code: 6417-9732.

Анализ климатических условий при проектировании жилой застройки в пустыне Сахара

Я.М. Бенюсеф, А.Д. Разин

Российский университет дружбы народов
Российская Федерация, 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, 6

Климат — это один из основных факторов влияния в архитектуре. Исторический архитектурный опыт жителей зон пустынь является базовой информацией для исследования проблем проектирования жилой среды в экстремальных условиях. Климат также является важнейшей экологической составляющей по формированию искусственной пространственной среды для поселений в пустыне. Традиционные жилища Сахара — неисчерпаемый источник для изучения организации архитектурной типологии в экстремальных условиях жарко-сухого климата. В статье рассматриваются климатические условия, в которых строились традиционные жилища в пустыне Сахара, и методы пассивной климатизации при проектировании жилых помещений. Кроме того, представлен обзор разработанных методов адаптации, эффективности и защиты в жарко-сухих условиях пустыни, пригодных в качестве базового источника архитектурных решений для новых проектов жилых зданий массовой застройки.

Ключевые слова: Сахара, климат, жилые здания, окружающая среда, народная архитектура

Список литературы

- [1] *Cote M.* Signatures sahariennes, terroirs et territoires vus du ciel. AFPU Publ., 2012. P. 1.
- [2] *Sagna P.* Climatologie Du Sahara Et De Ses Marges. P. 13. URL: https://www.editions-ellipses.fr/PDF/9782340021228_extrait.pdf (10.08.2018).
- [3] *Chehema A.* Le Sahara en Algerie, situation et défis. Algerie. 2011. P. 14.
- [4] *Alrashed F., Asif M., Burek S.* The Role of Vernacular Construction Techniques and Materials for Developing Zero-Energy Homes in Various Desert Climates // Buildings journal. Saudi Arabia, 2017. URL: <https://www.mdpi.com/2075-5309/7/1/17> (27.07.2018).
- [5] *Langewiesche W.* The world in its extreme // The Atlantic online. November 1991. URL: <https://www.theatlantic.com/past/docs/unbound/langew/extreme.htm> (27.07.2018).
- [6] *Casajus D.* Sahara en mouvement. CNRS Publ., 2011. P. 1. URL: <https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-00680064> (21.08.2018).
- [7] *Mofeed R.M.* Building in hot zones. Dielsdorf: Akerets Erben AG Publ., 1963. P. 5.
- [8] *Lewis L.A., Berry L.* African Environments and Resources. Routledge library editions, 1988. P. 155.
- [9] *Peel M.C., Finlayson B.L., McMahon T.A.* Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification / European Geosciences Union. 2007. P. 1633—1644. HAL Id: hal-00305098
- [10] *Rosenlund H.* Climatic Design of Buildings using Passive Techniques. 2000. P. 6.
- [11] *Pliez O.* Villes du Sahara: urbanisation et urbanité dans le Fezzan libyen. CNRS Publ., 2003.
- [12] *Vefik A.* Vernacular Climate Control in Desert Architecture, Energy and Buildings. 1990. P. 809. URL: https://www.aivc.org/sites/default/files/airbase_5571.pdf (09.07.2018).
- [13] *Cote M.* La ville et le désert, le bas-Sahara algérien. Karthala. P. 5.
- [14] *Халил И., Халаби С.М., Альхалаби З.С.* Глиняная архитектура в Сирии // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Инженерные исследования. 2016. № 1. С. 166—171.

- [15] *Filippi F.D.* Traditional architecture in the Dakhleh Oasis. Egypt: space, form and building systems. Italy. 2006. URL: https://www.researchgate.net/publication/237255719_Traditiona_architecture_in_the_Dakhleh_Oasis_Egypt_space_form_and_building_systems
- [16] *Bencherif M., Chaouche S.* La maison urbaine a patio, reponse architecturale aux contraintes climatiques du milieu aride chaud. Secheresse. 2013. Vol. 24. Pp. 203—213. doi 10.1684/sec.2013.0390
- [17] *Фирсанов В.М.* Архитектура тропических стран. М.: Изд-во РУДН, 2002. 17 с.
- [18] *Abdulac S.* Les maisons à patio. Continuités historiques, adaptations bioclimatiques et morphologies urbaines. Paris: ICOMOS Publ., 2011. P. 282.
- [19] *Vefik A.* Vernacular Climate Control in Desert Architecture // *Energy and Buildings*. 1990. P. 809. URL: https://www.aivc.org/sites/default/files/airbase_5571.pdf (17.07.2018).
- [20] *Monshizade A.* The desert city as an ancient living example of ecocity // *The International Ecocity Conference, San Francisco, United States, 2008*. P. 7.
- [21] *Мамиева И.А., Разин А.Д.* Знаковые пространственные сооружения в форме конических поверхностей // *Промышленное и гражданское строительство*. 2017. № 10. С. 5—11.
- [22] *Semary El.Ya., Attalla H., Gawad I.* Modern Mashrabiya with High-Tech Daylight Responsive Systems // *International Journal on Archive Proceedings of Academic Research Communit*. 2017. No. 1(1). URL: <https://ssrn.com/abstract=3055622>

История статьи:

Дата поступления в редакцию: 02 июля 2018

Дата поступления доработанного текста: 10 сентября 2018

Дата принятия к печати: 25 сентября 2018

Для цитирования:

Benyoucef Y.M., Razin A.D. Consideration of climatic conditions in the design of dwellings in the Sahara desert (Анализ климатических условий при проектировании жилой застройки в пустыне Сахара) // *Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Инженерные исследования*. 2018. Т. 19. № 4. С. 471—481. DOI 10.22363/2312-8143-2018-19-4-471-481

Сведения об авторах:

Яссин М. Бенюсеф — аспирант департамента архитектуры Инженерной академии, Российский университет дружбы народов. *Область научных интересов:* архитектура в жарких условиях, пустынное жилье, биомимика в архитектуре, биовдохновение, народная архитектура. *Контактная информация:* e-mail: b.yassine@mail.ru. ORCID ID: 0000-0002-0111-1429.

Андрей Дионисович Разин — кандидат технических наук, доцент департамента архитектуры и строительства Инженерной академии, Российский университет дружбы народов. *Область научных интересов:* архитектура жилых и общественных зданий, градостроительство. *Контактная информация:* e-mail: andreyrizin@mail.ru. e-LIBRARY SPIN-code: 6417-9732.



Научная статья

DOI 10.22363/2312-8143-2018-19-4-482-492

УДК 550.8:553.98

Прогноз площадей распространения отложений газогидратов по геофизическим данным в Гвинейском заливе

В.Ю. Абрамов, Д. Мамаду, М. Ромеро, Х. Алджабасини

Российский университет дружбы народов

Российская Федерация, 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, 6

В статье отображена информация о Гвинейском заливе и приведены результаты собственных расчетов гравитационных аномалий для прогноза вероятного обнаружения газогидратных месторождений на шельфе Кот-д'Ивуара по аналогии с шельфом Бразилии. Показаны схожие черты геологического строения и геофизических аномалий на участках шельфа по разные стороны Атлантического океана. Основной проблемой организации поисков газогидратов на шельфе Гвинейского залива считается политическая нестабильность, а также отсутствие средств для проведения исследований в ивуарском шельфе. Из-за сложности добычи нефтяных ресурсов все крупные месторождения в стране разрабатываются международными фирмами. Несмотря на низкий уровень производства нефти и газа, Кот-д'Ивуар сохраняет перспективы в будущем стать экспортером этих ресурсов (в том числе из газогидратов), так как осадочный бассейн страны до сих пор малоизучен. Освещение данного вопроса актуально по причине отсутствия подобной информации на русском языке, а имеющиеся на английском и французском языках сведения не позволяют сформировать общую картину нефтепромышленного комплекса Республики Кот-д'Ивуар. В работе дается прогноз относительно новых участков, перспективных в плане обнаружения газогидратных месторождений на шельфе Кот-д'Ивуара и может быть использован при выделении их под новые геологические исследования.

Ключевые слова: Республика Кот-д'Ивуар, газогидраты, гравитационная аномалия

Введение

Кот-д'Ивуар — это развивающаяся страна с недостаточно прогрессивной системой поисков и разведки месторождений полезных ископаемых (особенно разведки нефти и газа), что затрудняет изучение шельфа, который составляет 80 % осадочного бассейна страны. Настоящее исследование основано на анализе и сопоставлении гравиметрической информации, представленной в виде карт Западной Африки и Восточного побережья Южной Америки.

Разделение Гондваны

Предпосылкой для создания прогноза явилось разделение Гондваны во время Верхней юры, 160 миллионов лет назад, когда срединно-атлантический разлом отделил Африку от Южной Америки (рис. 1).



Рис. 1. Тектоническая карта Гондваны (по Аргану) [3]:

1 — преимущественно сима; 2 — области преимущественного распространения антиклинальных глубинных складок; I, II, III — три ветви внутренней виргации Гондванской глыбы; 3 — кульминации (подъем) осей глубинных складок; 4 — погружения осей глубинных складок; 5 — линии, соединяющие ныне разобщённые объекты; a, b, c — африканский, арабский и индийский выступы Гондваны

[Figure 1. Tectonic map of Gondwana (according to Argan) [3]]

Прекращение связи границ бразильской и африканской океано-континентальных плит земной коры происходило в течение длительного интервала времени (105–110 млн лет) альбского века на разных сегментах Экваториальной Атлантики. Геологические карты взяты из Commission for the Geological Map of the World (CGMW) (1990, 2000). Хотя палеонтологические данные, такие как смешанная фауна, указывают на полную морскую связь через регион с середины позднего альба (Koutsoukos, 1992), современные реконструкции не указывают на широкое и глубоководное соединение во время континентального разлома (рис. 2).

На карте (см. рис. 2) черные и синие прерывистые линии показывают положение границ океанической континентальной коры для бразильской и африканской частей соответственно.

Серые и желтые области вдоль подгонки указывают области подкладки и перекрываются при реконструкции. Сокращения: GP — шельф Гвинея; М — Монро-

вия; IC — бассейн Кот-д’Ивуар; ND — Нигерия; BT — впадина Бенуэ; RM — бассейн Рио-Муни; G — бассейн Габон; ДП — шельф Демерара; FA — бассейн Фос-ду-Амазонас; P-M — бассейн Пара-Маранао; B — бассейн Баррейриньяс; C — бассейн Сеары; P — бассейн Потигуар; PP — бассейн Пернамбуку Параиба; S-A — бассейн Сержими-Алагоас.

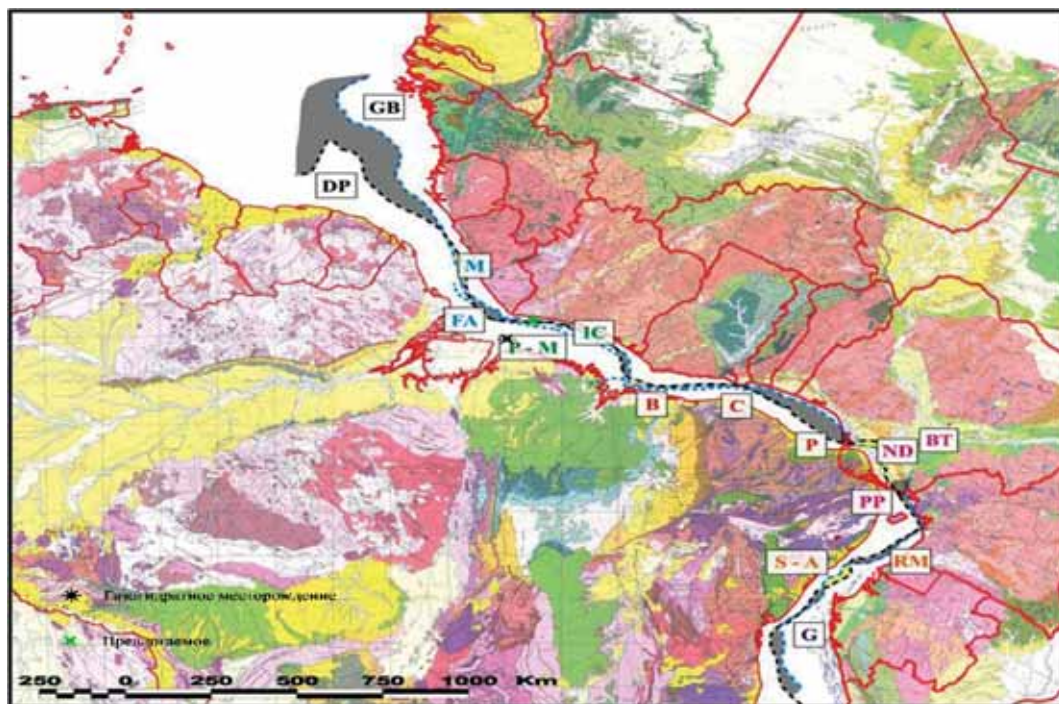


Рис. 2. Закрытие связи границ бразильской и африканской океано-континентальных корок, восстановленных в разное время в интервале 105—110 млн лет (альба) для разных сегментов Экваториальной Атлантики

Источник: Геологические карты взяты из CGMW.

[**Figure 2.** Closure of the connection between the borders of the Brazilian and African oceanic-continental crusts, reconstructed at different times in the interval 105—110 million years (alba) for different segments of the Equatorial Atlantic]

Source: Geological maps are taken from CGMW.

Одинаковым цветом отмечены осадочные бассейны с одними и теми же литологическими характеристиками. Исходя из этого можно сказать, что осадочные бассейны Кот-д’Ивуара и Пара-Маранжа совпадают по литологическим характеристикам и должны совпадать по геофизическим данным, что будет продемонстрировано далее.

Газогидраты представляют собой кристаллические соединения в виде клатратов — группы твердых веществ, напоминающих лед (рис. 3, 4). В клатрате молекула воды образует клетку, которая захватывает молекулу газа. Для образования подобных водоемов требуются условия низкой температуры и высокого давления, например существующие в вечной мерзлоте и глубоких отложениях морского дна океана. Количество захваченного метана является значительным, так как объем

гидрата может содержать до 160 раз объемов метана (объем газа при 0 °С и давлении 160 мм рт. ст.) [4]. Метан и двуокись углерода представляют собой два общих газа газовых гидратов, но также существуют сероводород и небольшие молекулы углеводородов, такие как пропан.

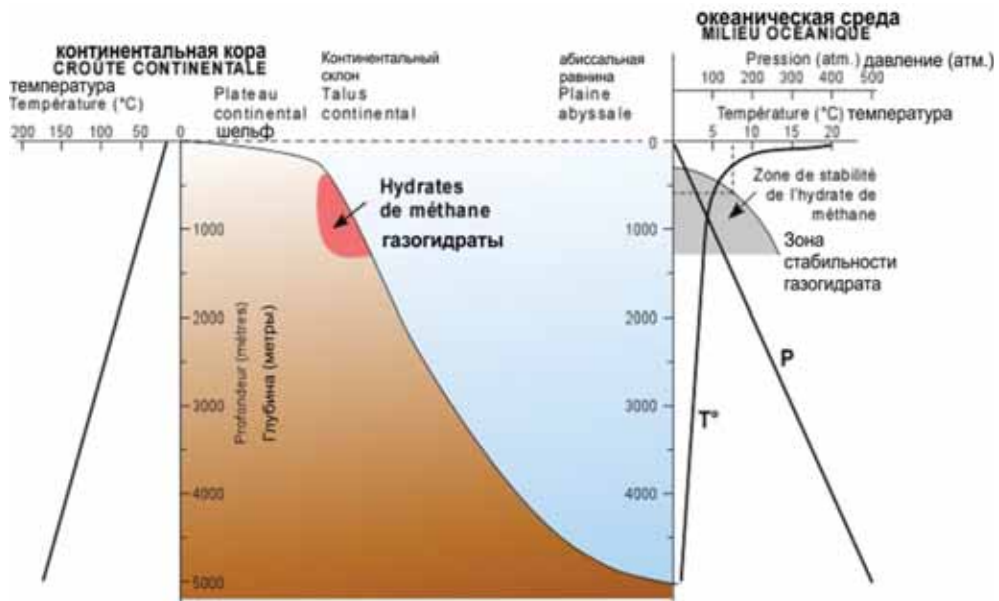


Рис. 3. Взаимосвязь между температурой и давлением при образовании газового гидрата [8]
[Figure 3.] The relationship between temperature and pressure in the formation of gas hydrate [8]



Рис. 4. Молекула гидратного газа [1]
[Figure 4.] The molecule of hydrated gas [1]

Условия устойчивости гидратов метана под океанами показаны на рис. 5. Давление определяется водяным столбом; температура зависит от температуры водного дна океана и геотермальной степени. Поскольку температура на дне океанов низка (на рис. 5 порядка 2 °С), зона стабильности гидратов метана простирается от дна океана до глубины 2 500–3,300 м под поверхностью океана, то есть ее толщина около 800 м. На рисунке видно, что в нижней части этой области гидраты гораздо более многочисленны. Они насыщают осадки, гидроизолируют

их и не позволяют метану мигрировать дальше на поверхность. В результате газообразный метан часто накапливается ниже зоны стабильности гидратов [2].

Предел между зоной, в которой обитают гидраты, и зоной, в которой накапливается газ метана, обнаружен сейсмической разведкой и назван «отражающий снизу отражатель» (BSR). Этот сигнал, параллельный поверхности дна океана, соответствует пределам зоны устойчивости гидратов, когда они существуют в больших количествах. Сейсмические волны быстро распространяются, если осадки цементируются гидратами, и гораздо медленнее в нижних зонах, где имеется слой свободного газа. Сейсмическая разведка — очень полезный метод определения местоположения гидратов. Но поскольку зоны работы мало изучены, невозможно доказать присутствие газогидратов посредством BSR.

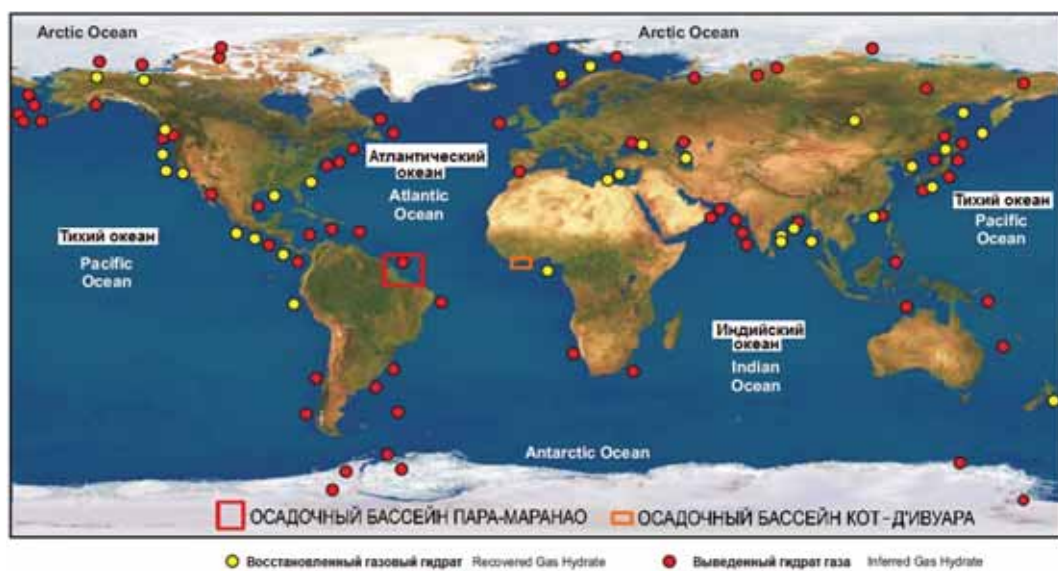


Рис. 5. Распределение известных газогидратных месторождений в мире [6]
[Figure 5. Distribution of known gas hydrate deposits in the world [6]]

На карте распределения известных газогидратных месторождений в мире (рис. 5) заметно, что более 90 % месторождений найдены либо на шельфе, либо рядом с шельфом континентов во всех океанах. Это означает, что дальнейшие поиски газогидратов лучше всего производить на шельфе или рядом с ним (для Кот-д'Ивуара это будет ивуарский шельф).

На рис. 6 изображены районы, где были проведены гравитационная съемка и сейсморазведка. По данным этих районов сделано сопоставление сейсмических разрезов шельфа Кот-д'Ивуара восточной части Атлантики и разрезов северо-восточной Бразилии в западной части Атлантического океана. В результате выявлено, что мощности отложений различных геологических возрастов как на шельфе Кот-д'Ивуара, так и на шельфе Бразилии приблизительно совпадают, причем не только по мощностям, но и по соотношениям осадочных пород разных возрастов. Значит, их объединяют общее геологическое время, в которое происходило осадконакопление, и приблизительно сходная литологическая обстановка осадкообразования.

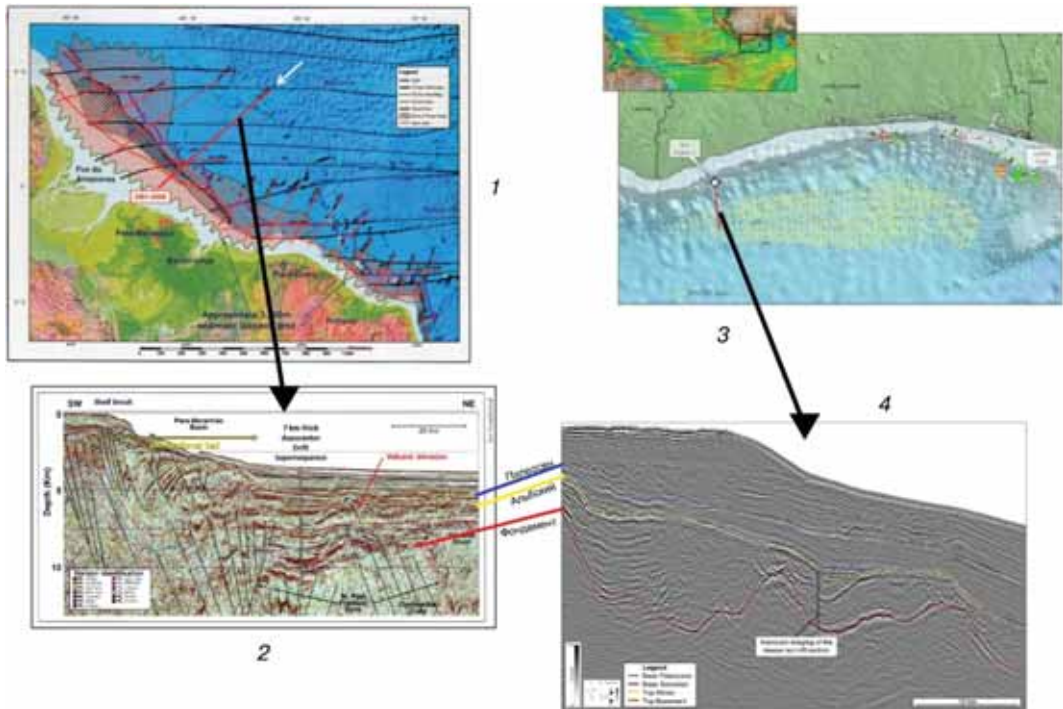


Рис. 6. Карта сопоставления сейсмических разрезов шельфа Кот-д'Ивуара восточной части Атлантики и разрезов северо-восточной Бразилии в западной части Атлантического океана: 1 — линия разреза в бассейне Пара-Маранао [5]; 2 — сейсмический разрез северо-восточной Бразилии [5]; 3 — линия разреза в бассейн Кот-д'Ивуара [7]; 4 — сейсмический разрез западного осадочного бассейна Кот-д'Ивуара [7]

[Figure 6. Map compares the seismic sections of the shelf of Cote d'Ivoire in the eastern Atlantic and the sections of northeastern Brazil in the western Atlantic:

1 — line of the section in the Para-Maranhao basin [5]; 2 — seismic section of the northeastern Brazil [5]; 3 — section line in the basin of the Cote d'Ivoire [7]; 4 — seismic section of the western sedimentary basin of the Cote d'Ivoire [7]

Меловое время — это общее время накопления осадков на шельфах Кот-д'Ивуара и Бразилии, после которого произошло разделение Гондваны на две части и началось формирование Атлантического океана в его современном виде.

На карте (рис. 7) показано распределение наиболее благоприятных зон для поиска газогидратов в мировых океанах, и эти зоны по своей длине вдоль береговой линии у Кот-д'Ивуара и Бразилии очень хорошо совпадают.

Гравитационные карты полей двух континентов позволяют выделить общие черты аномальных гравитационных полей на различных континентах, совпадающих при сложении в единый суперконтинент. Мы можем наблюдать расширения зон разломов св. Павла и Романча, которые уходят от западноафриканской границы к южноамериканскому континенту. Это заставляет полагать, что, несмотря на удаленность этих двух континентов, они имеют общие черты, особенно те области, которые нас интересуют как возможные перспективные площади для обнаружения залежей газогидратов.

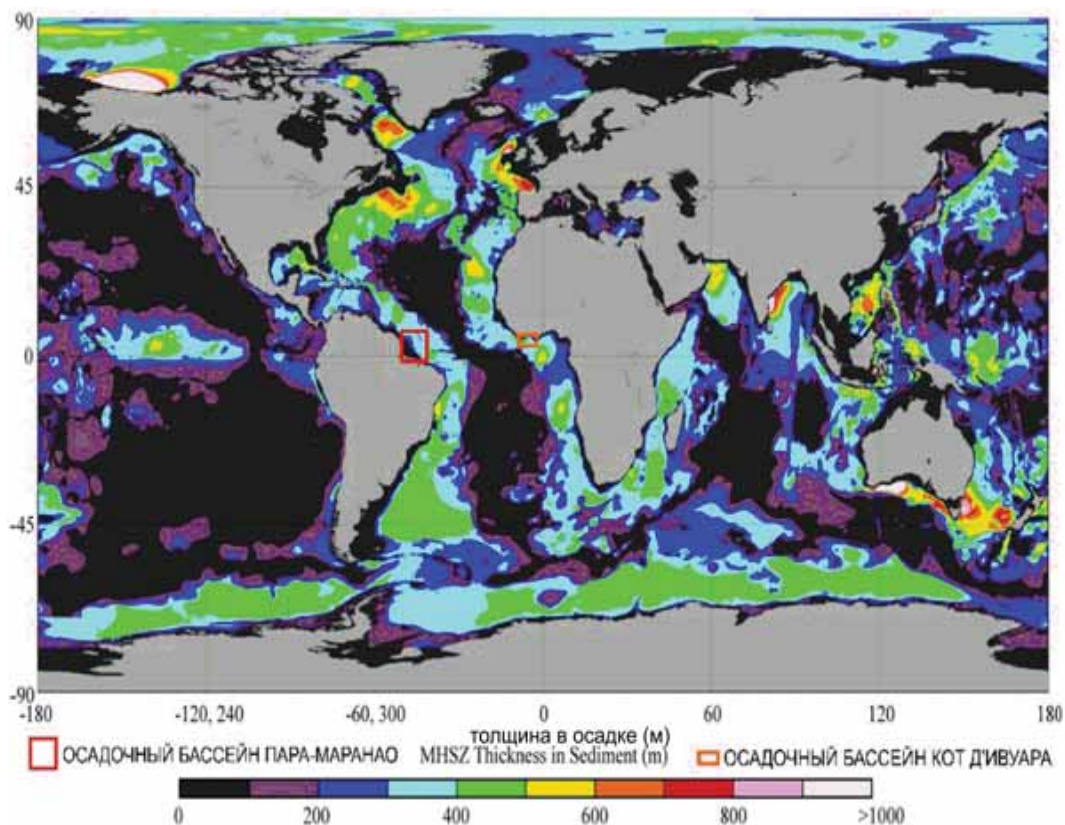


Рис. 7. Общая расчетная толщина зоны устойчивости гидратов метана в морских отложениях (MHSZ). Зона стабильности гидратов метана указывает, где можно найти подходящие условия температуры и давления для их образования [6]

[Figure 7. Total calculated thickness of the methane hydrate stability zone in marine sediments. The methane hydrate stability zone indicates where suitable temperature and pressure conditions can be found for the formation of hydrates [6]]

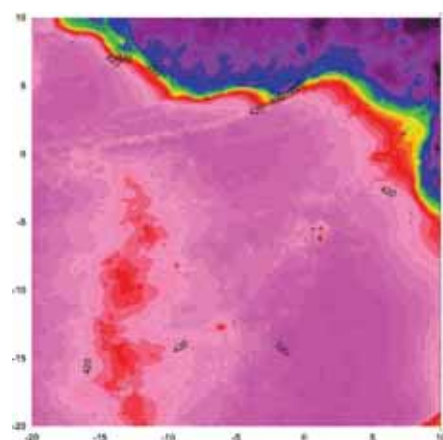


Рис. 8. Карта гравитационной аномалии Западной Африки

[Figure 8. Map of the gravity anomaly of West Africa]

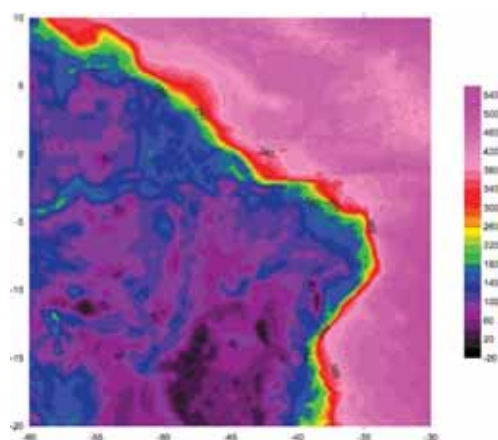


Рис. 9. Карта гравитационной аномалии северо-восточной части Южной Америки

[Figure 9. Map of the gravity anomaly of the northeastern part of South America]

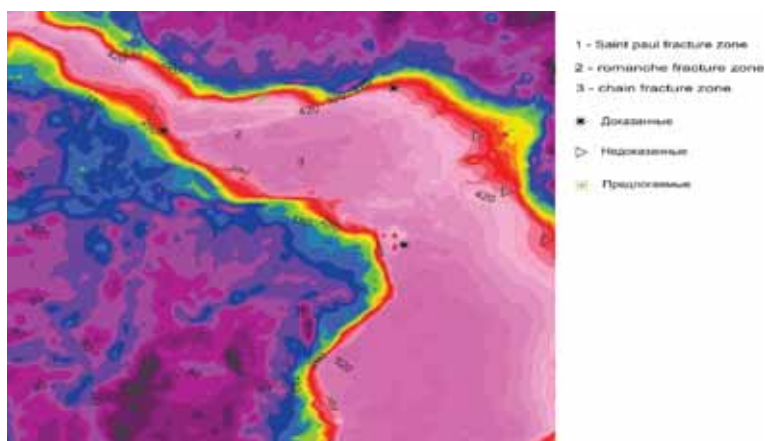


Рис. 10. Карта с доказанным и предполагаемым месторождениями
[**Figure 10.** Map with proven and proposed deposits]

На картах сопоставления береговых линии Кот-д’Ивуара и Бразилии видно, что положение известного месторождения газогидратов в Бразилии очень хорошо коррелируется с положением разлома св. Павла, идущего по-видимому от Кот-д’Ивуара до Бразилии. Можно предположить, что этот разлом был подходящим каналом для газов, которые накапливались в месторождении газогидратов на шельфе Бразилии. Следовательно, этот же разлом может быть источником газогидратных месторождений на шельфе Кот-д’Ивуара.

Заключение

Исследование представляет интерес для прогнозирования новых участков, перспективных в плане обнаружения газогидратных месторождений на шельфе Кот-д’Ивуара и может быть использовано при их выделении под новые геологические изыскания (в том числе с последующим бурением и вероятным обнаружением месторождений газогидратов).

Большая часть ивуарских месторождений представляет собой залежи газа, что увеличивает вероятность наличия месторождений гидрата метана в шельфовой части.

Список литературы

- [1] *Wessells S., Stern L., Kirby S.* USGS Gas Hydrates Lab // United States Geological Survey Multimedia Gallery Video. 2012.
- [2] *Pissart A.* Les hydrates de méthane: réserve énorme d’énergie et danger climatique potentiel // Bulletin de la Société géographique de Liège. 2006. No. 48. Pp. 7–17.
- [3] *Вегенер А.* Происхождение континентов и океанов. М.: Наука, 1984. 285 с.
- [4] *Netčok M., Henk A., Allen R., Sikora P.J., Stuart C.* Continental break-up along strike-slip fault zones; observations from the Equatorial Atlantic. London: Geological Society, Special Publications. March 27, 2012.
- [5] *Steve Henry, Naresh Kumar, Al Danforth, Peter Nuttall, Sujata Venkatraman, Io.* Ghana/Sierra Leone Lookalike Plays in Northern Brazil // GoExpro. 2011. Vol. 8. No. 4.

- [6] *Krey V., Canadell G.J., Nakicenovic N., Abe Yu., Andruleit H., Archer D., Grubler A., Hamilton N. T.M., Johnson A., Kostov V., Lamarque J.-F., Langhorne N., Nisbet G.E., O'Neill B., Riahi K., Riedel M., Wang W., Yakushev V.* Hydrates de gaz: Entrée à un âge méthane ou menace climatique? // *Environmental Research Letters.* 2009. Vol. 4.
- [7] *Wells S., Warner M., Greenhalgh J., Borsato R.* Côte d'Ivoire: A Modern Exploration Frontier / *Petroleum Geo-Services Offshore.* 2012.
- [8] *Bourque P.-A.* Les hydrates de méthane: une réserve énergétique énorme, mais une bombe écologique en puissance / *Departement de geologie et de genie geologique, University Laval, Quebec.*

© Абрамов В.Ю., Мамаду Д., Ромеро М., Алджабасини Х., 2018



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

История статьи:

Дата поступления в редакцию: 25 мая 2018

Дата поступления доработанного текста: 09 октября 2018

Дата принятия к печати: 11 ноября 2018

Для цитирования:

Абрамов В.Ю., Мамаду Д., Ромеро М., Алджабасини Х. Прогноз площадей распространения отложений газогидратов по геофизическим данным в Гвинейском заливе // *Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Инженерные исследования.* 2018. Т. 19. № 4. С. 482—492. DOI 10.22363/2312-8143-2018-19-4-482-492

Сведения об авторах:

Абрамов Владимир Юрьевич — кандидат геолого-минералогических наук, доцент департамента недропользования и нефтегазового дела Инженерной академии, Российский университет дружбы народов. *Область научных интересов:* геология и геофизика месторождений полезных ископаемых. *Контактная информация:* geophy-rudn@mail.ru

Мамаду Диоманде — аспирант департамента недропользования и нефтегазового дела Инженерной академии, Российский университет дружбы народов. *Область научных интересов:* геология и геофизика месторождений нефти и газа. *Контактная информация:* diomande_m@rudn.university

Ромеро Моисес — кандидат геолого-минералогических наук, доцент департамента недропользования и нефтегазового дела инженерной академии, Российский университет дружбы народов. *Область научных интересов:* геология, поиски и разведка полезных ископаемых. *Контактная информация:* romero_barrenechea_m@pfur.ru

Алджабасини Хиба — аспирант департамента недропользования и нефтегазового дела Инженерной академии, Российский университет дружбы народов. *Область научных интересов:* сейсмология, тектоника и геофизика. *Контактная информация:* zaina40@hotmail.com

Forecast of areas of distribution of gas hydrogat deposits on geophysical data in the Gulf of Guinea

Vladimir Yu. Abramov, Diomande Mamadou, Moises Romero, Hiba Aljabasini

Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University)
6 Miklukho-Maklaya St., Moscow, 117198, Russian Federation

Abstract. The article displays information about the Gulf of Guinea and presents the results of gravity anomalies calculations for the forecast of the probable discovery of gas hydrate deposits on the shelf of Cote d'Ivoire by analogy with the shelf of Brazil. Similar features of the geological structure and geophysical anomalies on the shelf sections on different sides of the Atlantic Ocean are shown. The main problem in organizing the search for gas hydrates on the shelf of the Gulf of Guinea is political instability, as well as the lack of funds for research in the Ivorian shelf. And because of the complexity of the extraction of oil resources, all major deposits in the country are conducted by international firms. Despite the low level of oil and gas production, Côte d'Ivoire retains prospects in the future to be an exporter of oil and gas (including gas hydrates), since the country's sedimentary basin is still very little studied. The coverage of this issue is relevant due to the lack of such information in Russian, and the information available in English and French does not allow to form a general picture of the oil industry complex of the Republic of Cote d'Ivoire. In this article, the forecast of new sites, promising to detect gas hydrate deposits on the shelf of Côte d'Ivoire, and can be used in the allocation of promising areas for new geological studies.

Keywords: Republic of Cote d'Ivoire, gas hydrates, gravitational anomaly

References

- [1] Wessells S., Stern L., Kirby S. USGS Gas Hydrates Lab. *United States Geological Survey Multimedia Gallery Video*, 2012.
- [2] Pissart A. Les hydrates de méthane: réserve énorme d'énergie et danger climatique potentiel. *Bulletin de la Société géographique de Liège*, 48, 2006, 7–17.
- [3] Wegener A. *Die Entstehung der Kontinente und Ozeane*. Vierte umgearbeitete Auflage. Braunschweig, 1929, 94.
- [4] Nemčok M., Henk A., Allen R., Sikora P.J., Stuart C. *Continental break-up along strike-slip fault zones; observations from the Equatorial Atlantic*. Geological Society, London, Special Publications, March 27, 2012.
- [5] Steve Henry, Naresh Kumar, Al Danforth, Peter Nuttall AND Sujata Venkatraman, Io. Ghana/Sierra Leone Lookalike Plays in Northern Brazil. *GoExpro*. Vol. 8. No. 4. 2011.
- [6] Krey V., Canadell G.J., Nakicenovic N., Abe Yu., Andrulleit H., Archer D., Grubler A., Hamilton N. T.M., Johnson A., Kostov V., Lamarque J.-F., Langhorne N., Nisbet G.E., O'Neill B., Riahi K., Riedel M., Wang W., Yakushev V. Hydrates de gaz: Entrée à un âge méthane ou menace climatique? *Environmental Research Letters*, 4, 2009.
- [7] Wells S., Warner M., Greenhalgh J., Borsato R. Côte d'Ivoire: A Modern Exploration Frontier. *Petroleum Geo-Services Offshore*, 2012.
- [8] Bourque P.-A. Les hydrates de méthane: une réserve énergétique énorme, mais une bombe écologique en puissance. Département de géologie et de génie géologique, University Laval, Quebec.

Article history:

Received: May 25, 2018

Revised: October 09, 2018

Accepted: November 11, 2018

For citation:

Abramov V.Yu., Mamadou D., Romero M., Aljabasini H. (2018). Forecast of areas of distribution of gas hydrogat deposits on geophysical data in the Gulf of Guinea. *RUDN Journal of Engineering Researches*, 19(4), 482—492. DOI 10.22363/2312-8143-2018-19-4-482-492 (In Russ.)

Bio Notes:

Vladimir Yu. Abramov — PhD in Geology and Mineralogy, Associate Professor of the Department of Mineral Developing and Oil & Gas Engineering of the Engineering Academy, Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University). *Research interests:* geology and geophysics of mineral deposit. *Contact information:* e-mail: geophy-rudn@mail.ru

Diomande Mamadou — postgraduate of Geology of Department of Mineral Developing and Oil & Gas Engineering of the Engineering Academy, Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University). *Research interests:* geology and geophysics of oil and gas deposit. *Contact information:* e-mail: diomande_m@rudn.university

Moises Romero — PhD in Geology and Mineralogy, Associate Professor of the Department of Mineral Developing and Oil & Gas Engineering of the Engineering Academy, Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University). *Research interests:* geology, prospecting and exploration of useful products. *Contact information:* e-mail: romero_barrenechea_m@pfur.ru

Hiba Aljabasini — postgraduate student of Geology of the Department of Geology, Mining and Oil & Gas Engineering, Engineering Academy, Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University). *Research interests:* seismology, tectonics and geophysics. *Contact information:* e-mail: zaina40@hotmail.com



Научная статья

DOI 10.22363/2312-8143-2018-19-4-493-502

УДК 553.492.1

Характеристика горных пород рудного месторождения Бухадры в Алжире

А. Ламапра¹, Е.М. Котельникова¹, А.О. Сергеев²¹ Российский университет дружбы народов*Российская Федерация, 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, 6*² Российский государственный университет нефти и газа имени И.М. Губкина*Российская Федерация, 119991, Москва, Ленинский пр-т, д. 65, корп. 1*

В настоящее время расчет устойчивости горного массива является одной из основных задач в период проектирования подземных сооружений на рудном месторождении Бухадры. Каждая методика предполагает собственный расчет и классификацию категорий устойчивости. В данной статье представлены результаты лабораторных исследований физических свойств образцов горных пород. Для каждого образца были определены плотность, пористость, степень насыщения грунта водой, степень растрескивания. По результатам проведенных работ можно сделать вывод о том, что горные породы железного рудника Бухадры очень устойчивы к воздействию различных факторов. Для анализа горных пород железного рудника Бухадры с целью классификации горных массивов и прогнозирования дальнейших работ была использована классификация, разработанная Норвежским геотехническим институтом. Следует отметить, что для понимания изменчивости прочностных характеристик руды используется показатель прочности пород. Это ведущий индикатор зон скальных пород низкого качества. Согласно физико-механическим испытаниям в лабораториях, отмечено, что массив рудника Бухадры имеет хорошую устойчивость к сжатию, растяжению и сдвигу. Это говорит о том, что проблемы устойчивости на данном месторождении связаны с техническими факторами, такими как поверхностная и подземная добыча полезных ископаемых.

Ключевые слова: определение свойств горной породы, физико-механические свойства, скальный массив, механические испытания, Бухадра, горная выработка

Введение

Планирование работ (включая инфраструктуру: метро, здания, дороги и т.д.) учитывает многие факторы, связанные с организацией участков, вентиляцией и давлением грунтов. С углублением шахт давление на землю становится одним из основных критериев, которые необходимо контролировать, особенно в районах, где расположены старые шахты.

Чем больше глубина выработки, тем важнее определение физико-механических свойств пород. На изменение характеристик в шахтах оказывают влияние:

— увеличение или уменьшение количества добытой руды;

- стабильность горных работ;
- возможность несчастных случаев в рабочих шахтах.

Экономическую роль проблемы устойчивости склона нельзя недооценивать. Изменение угла наклона на 3° или 4° приводит к изменению объемов обнаруженных запасов. Разница может составлять миллионы кубических метров. Довольно часто углы насыпей на $5\text{--}8^\circ$ меньше критических [1].

Определение физико-механических свойств массива во время открытой или подземной добычи требует детальной проработки всех геологических и геотехнических факторов рассматриваемого массива, тектонических условий, физико-механических свойств горных пород. Изучение механических испытаний представляет собой совокупность показателей, которые характеризуют сопротивление горной породы воздействующей на нее нагрузке, ее способность деформироваться при этом, а также особенности поведения в процессе разрушения.

Следует отметить, что контроль горного давления помогает построить модель шахты с целью повышения уровня безопасности работы в ней.

Для решения задач данного исследования необходимо выполнение полевых и лабораторных работ. В процессе полевых работ было отобрано около 50 образцов керна размером 60 см (по 3 образца для каждого изучаемого слоя). В ходе лабораторных исследований изучены физические свойства образцов. Определены плотность, пористость, степень насыщения грунта водой, степень растрескивания горных пород каждого образца.

Определение физических свойств

Согласно классификации Лео Хук и Брайн [2], изученные нами породы относятся к твердым осадочным породам.

В породах минеральное вещество образует сплошной скелет, который не заполняет все пространство, в результате чего образуются пустоты. Доля пустот называется пористостью. Форма пустот, их размер, распределение в породе влияют на механические свойства горных пород [3].

В зависимости от пористости породы подразделяются на [4]:

- породы низкой пористости: $0 < n < 5\%$;
- породы средней пористости: $5 < n < 10\%$;
- породы высокой пористости: $10 < n < 20\%$;
- породы очень высокой пористости: $n > 20\%$.

$$n = \frac{V_v}{V_t} \times 100\%,$$

где $V_v = M_{sat} - M_d = 612,7 - 579,8 = 32,9 \text{ см}^3$; $V_t = 231,5 \text{ см}^3$; $n = 14,212\%$.

По результатам лабораторных исследований можно сказать, что пористость горных пород Бухадры высокая (14 %).

Также была определена степень влажности, или степень насыщения (S_r), которая характеризует степень заполнения пор водой. Данный параметр используется для вычисления расчетных сопротивлений грунтов при проектировании шахт

и варьируется от 0 % (сухой почвы) до 100 % (насыщенный грунт) [5]. Для определения степени насыщения использовалась формула

$$S_r = \frac{V_w}{V_v} \times 100 \%,$$

где $V_w = 6,5 \text{ см}^3$; $V_v = M_{sat} - M_d = 612,7 - 579,8 = 32,9 \text{ см}^3$; $S_r = 19,75 \%$.

По степени насыщения грунт на изучаемой территории относится к влажным грунтам.

Степень трещиноватости является одним из самых важных показателей для характеристики горных пород. Данный параметр позволяет выбрать метод эксплуатации и решить проблему устойчивости краев карьера [6]. В табл. 1 представлена характеристика горных пород по степени трещиноватости.

Таблица 1

Характеристика горных пород по степени трещиноватости
[Table 1. Characteristics of rocks according to the degree of fracture]

Класс [Class]	ID (см)	Степень трещиноватости [Cracking degree]
ID1	>200	Очень слабая [Very weak]
ID2	60—200	Слабая [Weak]
ID3	20—60	Средняя [Average]
ID4	6—20	Сильная [Strong]
ID5	< 6	Очень сильная [Very strong]

ID — среднее расстояние между трещинами. Рассчитывается по формуле

$$ID = \frac{L}{n},$$

где L — длина изученной части массива (м); n — количество трещин на измеряемой части.

Трещины замерялись на образцах. Среднее количество трещин на длине 1 м составляет около 5, соответственно значение $ID = 0,2 \text{ м}$ (20 см), $20 < ID < 60$.

Согласно полученным результатам плотность разрывов является средней (табл. 1).

Определение механических свойств

В процессе исследований были определены механические свойства горных пород [7]. С помощью гидравлического пресса проводились испытания на сжатие и растяжение образцов цилиндрической формы диаметром 50 мм и длиной 100 мм.

В табл. 2 представлена характеристика горных пород по сжимающему напряжению, при котором образец разрушается [8].

Для определения предела прочности при сжатии (R_C) была использована формула

$$R_C = F/S \text{ (МПа)},$$

где F — сжимающая, разрушающая сила (кН); S — площадь поперечного сечения образца (м^2).

Таблица 2

Характеристика горных пород по сжимающему напряжению
[Table 2. Characteristics of rocks by compressive strength]

Образец [Sample]	Слабо резистентный [Weakly resistant]	Средне резистентный [Medium resistant]	Резистентный [Resistant]	Сильно резистентный [Very resistant]
R_c (МПа) [R_c (MPa)]	< 5	20	60	> 60

В табл. 3 представлены результаты вычислений.

Таблица 3

Значение сжимающего напряжения
[Table 3. The value of the compressive strength]

Образец [Sample]	S (м ²) [S (m ²)]	F (кН) [F (kN)]	R_c (МПа) [R_c (MPa)]
1	0,0019	100	50,04
2	0,0019	100	51,4
3	0,0019	100	51,1
4	0,0019	100	51,5
Среднее [Average]			51,01

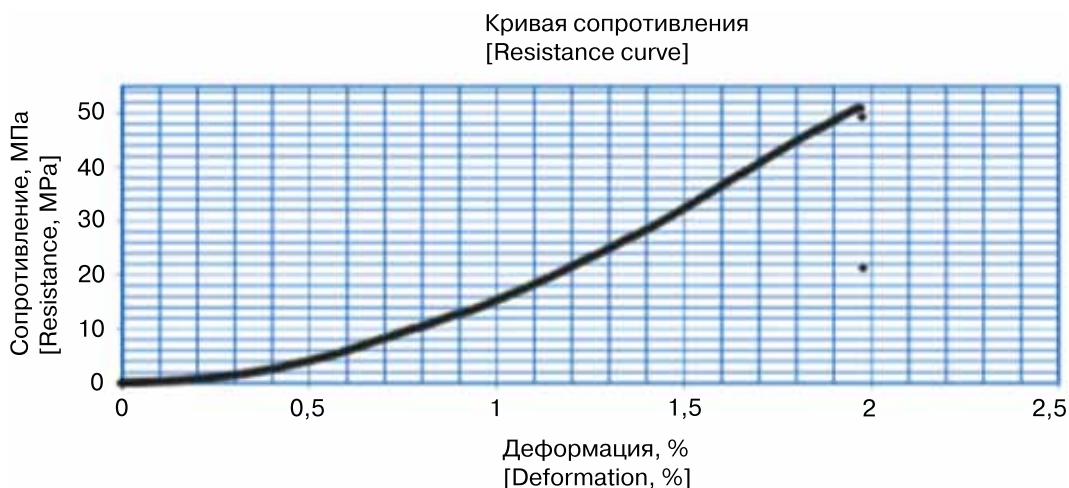


Рисунок. Кривая разрушения образца путем сжатия
[Figure. The curve of the destruction of the sample by compression]

Проанализировав табл. 2, 3 и рисунок, в соответствии с полученным результатом можно сделать вывод, что горная порода резистентная.

Определение прочности горных пород при одноосном растяжении влечет большие трудности, главная из них — техническая сложность в создании приемлемой геометрии образца и его линейного растяжения. Поэтому прочность определяется косвенными методами, одним из которых является «бразильский», основанный на решении задач теории упругости. В плоскости при действии силы в образце возникают растягивающие напряжения, перпендикулярные этой плоскости. Скорость приложения нагрузки 0,1–0,5 МПа/с. Изменение скорости приложения нагрузки вызывает появление зависимости прочности образца от скорости приложения нагрузки.

Прочность образца определялась по формуле

$$Rt = \frac{2f_{\max}}{hd\pi} [\text{кг/см}^2],$$

где f_{\max} — максимальная растягивающая нагрузка (кг); d — диаметр сечения разрыва образца (см); h — длина испытываемого образца (см).

В табл. 4 представлены результаты вычислений.

Таблица 4

Значения прочности образцов (бразильский тест)
[Table 4. The value of the tensile strength (Brazilian test)]

Образец [Sample]	S (м ²) [S (m ²)]	F_{\max} (КН) [F_{\max} (kN)]	R_t (МПа) [R_t (Mpa)]
1	19,62	45,51	5,85
2	19,62	45,51	5,84
3	19,62	45,51	5,66
4	19,62	45,51	5,81
Среднее [Average]			5,79

По итогам проведенных исследований можно сделать вывод о том, что горные породы железного рудника Бухарды очень устойчивы к воздействию различных факторов. Для оценки перспективных площадей в Алжире необходимо использовать комплекс методов, что позволит оценить перспективность данных участков [9].

Следует отметить, что для изучения изменчивости прочностных характеристик руды используется показатель прочности пород (RQD). Метод RQD был разработан в 1964 г. Д.У. Диром [10]. Он определяется измерением процентного выхода кусков керна, длина которых превышает 100 мм. Куски керна, не отличающиеся крепостью или прочностью, не учитываются, даже если их длина составляет 100 мм. Это ведущий индикатор зон скальных пород низкого качества. На сегодняшний день RQD используется в качестве стандартного параметра в регистрации керна и имеет принципиальное значение для основных систем классификации массы: характеристики толщи горных пород и системы номенклатурных показателей. В табл. 5 представлена связь между индексом RQD и качеством массы горных пород [11].

В табл. 6 представлены результаты вычислений.

Таблица 5

Связь между индексом RQD и качеством массы горных пород
[Table 5. The relationship between the RQD index and the quality of rock mass]

RQD (%)	Качество массива горных пород [The quality of the rock mass]
< 25	Очень слабое [Very weak]
25—50	Слабое [Weak]
50—75	Проходимое [Passable]
75—90	Хорошее [Good]
90—100	Отличное [Excellent]

Таблица 6

Результаты RQD на изучаемой территории
[Table 6. RQD results in the study area]

Горные породы [Rocks]	RQD (%)	Качество образца [Sample quality]
Серый мергель [Gray marl]	57	Среднее [Average]
Желтый мергель [Yellow marl]	56	Среднее [Average]
Минерализованный мергель [Mineralized marl]	59	Среднее [Average]
Железная руда [Iron ore]	76	Хорошее [Good]
Известняк [Limestone]	79	Хорошее [Good]

Согласно анализу параметра RQD, установлено, что массив состоит в основном из пяти слоев (желтый мергель, серый мергель, минерализованный мергель, известняк и железная руда), качество которых варьируется от среднего до хорошего (табл. 5, 6).

Для анализа горных пород железного рудника Бухадры с целью классификации горных массивов и прогнозирования дальнейших работ (Бартон и др., 1974) была использована классификация, разработанная Норвежским геотехническим институтом [12; 13].

$$Q = RQD / J_n * J_r / J_a * J_w / SRF,$$

где J_n — количество систем трещин; J_r — неровность трещин; J_a — деформация трещин; J_w — наличие воды в трещинах; SRF — коэффициент уменьшения допустимого напряжения.

В соответствии с табл. 7 каждому параметру присваивается значение, а затем, посредством решения математического уравнения, получается числовой индекс Q . Результаты вычисления представлены в табл. 8.

Таблица 7

Классификация горного массива согласно Q [12]
[Table 7. Classification of rock mass according to Q]

Индекс Q [Q index]	Качество горной массы [Rock mass quality]
4—10	Среднее [Average]
10—40	Хорошее [Good]

Таблица 8

Классификация Q -системы горного массива Бухадра
[Table 8. Classification of the Q system of the Boukhadra rock massif]

Параметр [Parameter]	Желтый мергель [Yellow marl]	Серый мергель [Gray marl]	Минерализованный мергель [Mineralized marl]	Железная руда [Iron ore]	Известняк [Limestone]
RQD	56	57	59	76	79
J_n	2	2	2	2	2
J_r	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
J_a	2	2	2	1	1
J_w	1	1	1	1	1
SRF	5	5	5	5	5
Q	4,2	4,275	4,425	11,4	11,85
Качество горной массы [Quality rock mass]	Среднее [Average]	Среднее [Average]	Среднее [Average]	Хорошее [Good]	Хорошее [Good]

Согласно результатам Q -системы, можно сказать, что слои, в которых находятся железная руда и известняк, имеют хорошее качество, а слои, в которых присутствует мергель, имеют среднее качество (табл. 7, 8).

Выводы

В заключение нужно отметить, что согласно физико-механическим испытаниям в лабораториях массив рудника Бухадры имеет хорошую устойчивость к сжатию, растяжению и сдвигу, а значит, проблемы устойчивости на данном месторождении связаны с техническими факторами, такими как поверхностная и подземная добыча полезных ископаемых.

Список литературы

- [1] Mine de Boukhadra. Etude géologique de la région de Boukhadra et L'Ouenza 2014.
- [2] *Berest P., Billaux D., Boulon M., Cornet F. et al.* Comportement mécanique des discontinuités. Manuel de mécanique des roches. Tome 1: Fondements. Paris: Les Presses de l'École des Mines, 2000.
- [3] *Chenafa W., M'zoughem K.* Etude géotechnique de la stabilité des talus dans la carrière de Ain el Kebira — Sétif. Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du Diplôme d'ingénieur d'état en géologie. Université de Ferhat Abbas de Sétif, 2006. 68 p.
- [4] *Duffaut P., Homand F.* Manuel de mécanique des roches. Tome 1: Fondements. Comité français de mécanique des roches., 2000. 87 p.
- [5] *Jacques L.* Géotechnique 1. Cours Chapitre 1. Institut national des sciences appliquées de Toulouse, 2006.
- [6] *Sanat A., Zidani N.* Etude de stabilité des talus de la carrière d'Ain El Kebira. Sétif vis-à-vis un glissement circulaire. Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme de master. Université Abderahmane Mira de Bejaïa, 2015.
- [7] *Sarout J.* Propriétés physiques et anisotropie des roches argileuses: Modélisation Micromécanique et Expériences Triaxiales. Thèse de doctorat. L'université Paris XI ORSAY, 2006. 241 p.
- [8] *Lavasseur M.* Contribution des systèmes d'information géographique à l'analyse quantitative de l'aléa glissement de terrain. Exemple d'application au secteur de Ville de La Baie, Québec, Mémoire de maîtrise de l'université du Québec INRS—ETE. 2003, 213 p.
- [9] *Котельников А.Е., Дьяконов В.В., Котельников Е.Е., Петров А.С.* Выделение перспективных площадей и их оценка на основе уникального комплекса методов // Вестник РУДН. Серия: Инженерные исследования. 2012. № 2. С. 102—106.
- [10] *Deere D.U.* Désignation de la qualité de la roche (RQD) après 20 ans. Rapport de contrat de génie de corps d'armée américain. Rapport GL-89-1. Vicksburg. MS: Station expérimentale sur les voies navigables, 1989.
- [11] *Zhao J.* Propriétés des discontinuités. Part 3: Cours de mécanique des roches. L'école polytechnique fédérale de Lausanne, 2008.
- [12] *Chalhoub M.* Apport des méthodes d'homogénéisation numérique à la classification des massifs rocheux fracturés. Thèse de doctorat. Ecole Nationale des mines de Paris, 2006, 206 p.
- [13] *Maciej A.* Modification des classifications mécaniques pour les massifs rocheux Schisteux. Thèse de maîtrise des sciences appliquées de l'université de Montréal, Spécialité génie minier, 2012. 163 p.

© Ламамра А., Котельникова Е.М., Сергеев А.О., 2018



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

История статьи:

Дата поступления в редакцию: 14 сентября 2018

Дата поступления доработанного текста: 27 октября 2018

Дата принятия к печати: 10 ноября 2018

Для цитирования:

Ламамра А., Котельникова Е.М., Сергеев А.О. Характеристика горных пород рудного месторождения Бухадры в Алжире // *Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Инженерные исследования.* 2018. Т. 19. № 4. С. 493—502. DOI 10.22363/2312-8143-2018-19-4-493-502

Сведения об авторах:

Ламамра Абдессаттар — аспирант департамента недропользования и нефтегазового дела Инженерной академии, Российский университет дружбы народов. *Область научных интересов:* геологическое строение месторождений полезных ископаемых, свойства горных пород. *Контактная информация:* e-mail: lamamraabdessattar@gmail.com

Котельникова Елена Михайловна — кандидат геолого-минералогических наук, ассистент департамента недропользования и нефтегазового дела Инженерной академии, Российский университет дружбы народов. *Область научных интересов:* изучение геологического строения месторождений полезных ископаемых, изучение свойств горных пород. *Контактная информация:* e-mail: kotelnikova_em@pfur.ru

Сергеев Андрей Олегович — магистрант, Российский университет нефти и газа имени И.М. Губкина. *Область научных интересов:* изучение геологического строения месторождений полезных ископаемых, изучение свойств горных пород. *Контактная информация:* e-mail: sergo777899@mail.ru

Scientific article

Characterization of the rock mass of the Boukhadra mine (Algeria)

Abdessattar Lamamra¹, Elena M. Kotelnikova¹, Andrey O. Sergeev²

¹ Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University)
6 Miklukho-Maklaya St., Moscow, 117198, Russian Federation

² Gubkin Russian State University of Oil and Gas (National Research University)
65 Leninsky Prospekt, bldg. 1, Moscow, 119991, Russian Federation

Abstract. Currently, the calculation of the sustainability of the mountain range is one of the main tasks during the design of underground structures at the Bukhadra ore deposit. Each technique involves its own calculation and classification of categories of sustainability. This article presents the results of our research. As a result of laboratory studies, the physical properties of the samples were studied. For each sample, the density, porosity, the degree of saturation of the soil with water, and the degree of cracking of rocks were determined. As a result of the research, it can be concluded that the rocks of the Bukhadra iron mine are very resistant to various factors. A classification developed by the Norwegian

Geotechnical Institute to classify mountain ranges and predict further work was used to analyze the rocks of the Boukhadra iron mine. It should be noted that in order to understand the variability of the strength characteristics of the ore, the rock strength index is used. It is a leading indicator of poor quality rock zones. According to the physico-mechanical tests in the laboratories, it was noted that the Boukhadra mine massif has good resistance to compression, tension and shear, this suggests that stability problems in this field are associated with technical factors, such as surface and underground mining.

Keywords: determination of rock properties, physical and mechanical properties, rock massif, mechanical tests, Buhadra, mine workings

References

- [1] *Boukhadra Mine. Geological study of the region of Boukhadra and L'Ouenza 2014.* (In French)
- [2] Berest P., Billiaux D., Boulon M., Cornet F. and al. Mechanical behavior of discontinuities. *Manual of Rock Mechanics. Volume 1. Foundations.* Presses. From the Ecole des Mines, Paris, 2000. (In French)
- [3] Chenafa W., M'zoughem K. *Geotechnical study of slope stability in the quarry of Ain el Kebira — Setif.* Final dissertation to obtain the State Engineer Diploma in Geology. Ferhat Abbas University of Setif, 2006, 68. (In French)
- [4] Duffaut P., Homand F. *Manual of rock mechanics. Volume 1. Foundations.* French Rock Mechanics Committee, 2000, 87. (In French)
- [5] Jacques L. *Geotechnique 1. Course Chapter 1.* National institute of applied sciences of Toulouse, 2006. (In French)
- [6] Sanat A., Zidani N. *Stability study of the the careerslopes of Ain El Kebira — Setif with regard to a circular slip.* Master thesis to obtain a master's degree. University Abderahmane Mira de Bejaia, 2015. (In French)
- [7] Sarout J. *Physical properties and anisotropy of clay rocks: micromechanical modeling and triaxial experiments.* PhD thesis Paris XI ORSAY University, 2006, 241. (In French)
- [8] Lavoisier M. *Contribution of geographic information systems to the quantitative analysis of landslide hazard. Example of application to the City of La Baie sector, Quebec.* Master's thesis of the University of Quebec INRS —ETE, 2003, 213. (In French)
- [9] Kotel'nikov A.E., D'yakonov V.V., Kotel'nikov E.E., Petrov A.S. Vyделение perspektivnyh ploschadej i ih ocenka na osnove unikal'nogo kompleksa metodov. *Bulletin of Russian Peoples' Friendship University. Series: Engineering Researches.* 2012, No. 2, 102–106. (In Russ.)
- [10] Deere D.U. *Rock quality designation (RQD) after 20 years.* US Army Corps Contract Report. GL-89-1 Report. Vicksburg. MS: Experimental Station on Waterways. 1989. (In France)
- [11] Zhao J. *Properties of discontinuities. Part 3: Course of rock mechanics.* The Federal Polytechnic School of Lausanne, 2008. (In French)
- [12] Chalhoub M. *Contribution of numerical homogenization methods to the classification of fractured rock masses.* Doctoral Thesis. National School of Mines Paris, 2006, 206. (In French)
- [13] Maciej A. *Modification of mechanical classifications for rock massifs Schisteux.* Thesis of Master of Applied Sciences of the University of Montreal, Mining Engineering Specialty, 2012, 163. (In French)

Article history:

Received: September 14, 2018

Revised: October 27, 2018

Accepted: November 10, 2018

For citation:

Lamamra A., Kotelnikova E.M., Sergeev A.O. (2018). Characterization of the rock mass of the Boukhadra mine (Algeria). *RUDN Journal of Engineering Researches*, 19(4), 493–502. DOI 10.22363/2312-8143-2018-19-4-493-502

Bio Notes:

Abdessattar Lamamra — postgraduate student of the Department of Geology, Department of Mineral Development and Oil & Gas Engineering, Engineering Academy, Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University). *Research interests:* geological structure of mineral deposits, studying the properties of rocks. *Contact information:* e-mail: lamamraabdessattar@gmail.com

Elena M. Kotelnikova — Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, senior lecturer of the Department of Geology, Department of Mineral Development and Oil & Gas Engineering, Engineering Academy, Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University). *Research interests:* geological structure of mineral deposits, studying the properties of rocks. *Contact information:* e-mail: kotelnikova_em@pfur.ru

Andrey O. Sergeev — master student of Gubkin Russian State University of Oil and Gas (National Research University). *Research interests:* geological structure of mineral deposits, studying the properties of rocks. *Contact information:* e-mail: sergo7777899@mail.ru



Научная статья

DOI 10.22363/2312-8143-2018-19-4-503-512

УДК 552.5

Особенности катагенетического сульфатонакопления в пермских осадочных комплексах Центральной России

А.Ф. Георгиевский, В.М. Бугина

Российский университет дружбы народов
Российская Федерация, 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, 6

Вопросы масштабности и роли вторичных (катагенетических) процессов в осадочном породообразовании относятся к категории до конца не решенных и поэтому актуальных проблем литологической науки. Целью настоящей работы было при помощи стадийного анализа (на примере сульфатных комплексов) показать огромный «скрытый» потенциал катагенетических процессов в преобразовании минерального состава осадочных толщ. В качестве объекта изучения выбраны пограничные глинистые и карбонатные отложения уржумского и сакмарского ярусов западного ограничения Предуральяского прогиба. Установлено, что их литологический облик в значительной степени сформировали вторичные (диа- и катагенетические) процессы сульфатной минерализации. Причем, если первые нашли свое отражение в развитии рассеянных конкреционных желваков гипса, то вторые проявились в мощном метасоматозе с образованием крупных ангидрит-гипсовых и гипс-ангидритовых линзо- и пластообразных тел, протяженностью в сотни метров. Особое внимание уделено возможному элизионному механизму поступления метасоматических растворов и их химической активности. Последние по своей агрессивности не уступали латеритному выветриванию и замещали не только карбонаты, но и глинистые и железистые минералы, а также полевошпатовый и кварцевый обломочный материал. Все перечисленное указывает на высокую щелочность и восстановительный характер сульфатных метасоматических растворов.

Ключевые слова: минеральная последовательность сульфатонакопления, метакристаллы, конкреционные тела и псевдоморфозы, элизионный рассольный катагенез

Введение

При проведении инженерно-геологических изысканий на границе Владимирской и Нижегородской областей через долину р. Клязьмы пробурен профиль длиной в 9,5 км из 21 буровой скважины. Помимо четвертичных осадков, скважинами до глубины 100 м вскрываются пермские отложения, которые образуют «броский» и надолго запоминающийся разрез из двух комплексов: верхнего — ярко-красного терригенно-глинистого и нижнего — светло-серого карбонатно-сульфатного. По данным геологического картирования [1], первый принадлежит к уржумскому, а второй — к сакмарскому и, возможно, ассельскому ярусам.

Верхний (уржумский?) комплекс относят к континентальным образованиям красноцветной формации, которые накапливались в засоляющихся либо пре-

сных водоемах. Для него характерны ярко окрашенные плохо отмученные глины с тонкими невыдержанными прослоями олигомиктовых песчаников и алевролитов с базальным глинистым цементом. Для пород типичны текстуры волнового взмучивания с причудливо-неравномерным распределением обломочных и глинистых компонентов.

Состав глинистой части — хлорит-гидрослюдистый с обильной примесью дисперсного доломита. Заключенные в ней зерна кварца остроугольной и угловатой формы, с редкими обломками плагиоклазов, калиевых шпатов, кремнистых пород и микрокварцитов. В качестве аксессуаров присутствуют циркон, турмалин, гранат, сфен, апатит, глауконит, магнетит и ильменит.

Более 90 % зерен относятся к гранулометрическим классам < 0,1 мм. В основном они концентрируются пятнами, гнездами, а чаще образуют вокруг глинистых участков изогнутые прерывистые полоски и цепочки, формируя тем самым рисунок «взмученных» волнением осадков. Во многом это впечатление усиливается от вытянутых чешуек слюд, которые ориентированы в разных направлениях. Также для пород типичны ромбоэдры вторичного доломита (0,05 мм). Чаще всего они встречаются среди скоплений песчаных зерен, где глинистая ткань цемента наиболее проницаема для поровых растворов. Не менее показательны прожилки, гнезда и порфиробласты катагенетического доломита — самые последние новообразования в рассмотренных отложениях. Наконец, отмечаются доломитизированные перекристаллизованные биогенные остатки, представленные планктонными фораминиферами, копролитовыми сгустками, спикулами губок и мелкими обломками костей рыб. Мощность красноцветов по скважинам варьирует от 12,5 до 43 м, составляя в среднем около 20 м.

Нижний (сакмарский?) карбонатно-сульфатный комплекс объединяет лагунно-морские доломиты, гипсы и ангидриты с линзовидными включениями и гнездами ярко-красной глины. Породы неравномерно переслаиваются, невыдержанны по простиранью и в большинстве случаев характеризуются пятнисто-брекчиевидными и полосчато-узурчатыми текстурами из перекристаллизованных доломитовых и сульфатных минеральных фаз.

С генетических позиций особый интерес вызывают доломиты, поскольку у них выявляются признаки вторичного происхождения по биогенно-детритовым известнякам. В шлифах они сложены тонко-мелкозернистым доломитовым агрегатом с теньвыми реликтовыми структурами биогенных остатков, которые подверглись интенсивной грануляции. Несмотря на это, легко узнаются очертания многочисленных раковин фораминифер, реже — детрит гастропод, двустворок, члеников криноидей, онколитов, а также фосфатные частицы костей рыб.

Фактический материал, методы и результаты исследований

Излагаемые ниже материалы базируются на данных детального микроскопического изучения более полусотни проб. Последние отбирались послойно из керна скважин, так, чтобы проследить по разрезу и простиранью характер изменения литологических особенностей отложений. Результаты выполненных исследований стали основой для проведения стадийного анализа минералообразования,

методика которого описана во многих публикациях, и в частности в работе О.В. Япаскурта [2]. При описании шлифов использовался поляризационный микроскоп марки ПОЛАМ Л-213М.

Принципиально важным для отложений обоих комплексов является развитие ангидритово-гипсовой минерализации. Обращает внимание асимметричное ее распределение относительно их контакта. Наиболее масштабно она проявлена в прикровельной части сакмарского комплекса, где представлена невыдержанными линзо- и пластообразными телами мощностью 15–20 м. Напротив, вверх по разрезу уржумского комплекса интенсивность минерализации стремительно падает, и ее присутствие ощущается только в виде редких тонких гипсовых прожилков. Важно подчеркнуть, что характер выделения сульфатных минералов контролируется литологическим составом пород.

В глинах седиментационно-диагенетические процессы сульфатизации проявились в формировании конкреционных стяжений гипса. По форме они обычно округлые и линзовидно-уплощенные. Размер их от долей до нескольких мм. Соприкасаясь и срастаясь друг с другом образуют гипсовые линзовидные конкреционные тела, макроскопически видимые в керне скважин. В шлифах границы микростяжений резко выражены и «обтекаются» глинистыми микрослойками. В породе они располагаются, согласуясь с текстурными особенностями и строением глинистой матрицы. Сложены слабо раскристаллизованным гипсовым агрегатом, который большей частью перекристаллизован в довольно крупные таблитчатые кристаллы. Последние вписываются в контуры конкреционных стяжений и не нарушают их характерные формы. Нередко в выделениях гипса отмечаются корродированные частицы глинистой матрицы, что доказывает участие метасоматоза в конкреционном процессе. Завершение его фиксируется по развитию гипсовых прожилков, пересекающих конкреции и окружающую их глинистую матрицу. Появление прожилков указывает, что отложения из водонасыщенных и слабо консолидированных осадков превратились в литифицированные породы и стали развиваться в условиях катагенеза.

Помимо конкреции, еще одной формой выделения гипса в глинах являются метакристаллы. Как и прожилки, они формировались под воздействием катагенетических процессов и чаще всего отмечаются в участках, обедненных терригенной примесью. Здесь гипсовые кристаллы столбчато-шестоватого и усеченно-призматического облика прорастают карбонатно-глинистую матрицу, захватывая растущими гранями ее минеральные частицы и отдельные мелкие фрагменты (рис. 1).

Наблюдаются все стадии роста метакристаллов — от их зарождения до крупных (2–5 мм) индивидов с хорошо выраженными кристаллографическими ограничениями. По-видимому, максимальной фазой их развития следует считать формирование из их сростков друз-розеток. Помимо этого встречаются также скелетные формы кристаллов и двойники типа «ласточкиного хвоста». Внутреннее строение кристаллов сложное, часто со следами деформаций и дробления (рис. 2). Их присутствие подтверждает представление об образовании рассматриваемых выделений гипса под воздействием внешних нагрузок, т.е. в постдиагенетическую стадию формирования пород.

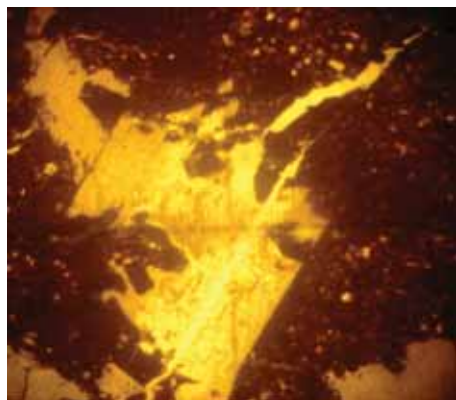


Рис. 1. Формирующийся метакристалл гипса с захваченными фрагментами окружающей алевроито-глинистой массы. Уржумский ярус.
Ув. 25х, ник. II

[**Figure 1.** Emerging gypsum metacrystal with the captured fragments of surrounding aleurite-clay mass. Urjumski stage]

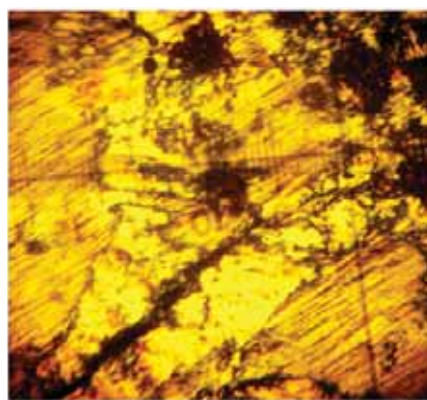


Рис. 2. «Залеченные» зоны дробления в метакристалле гипса. Ув. 110х, ник +
[**Figure 2.** “Healed” zones of crushing in gypsum metacrystal]

В песчаниках и алевролитах гипсовая минерализация отмечается в форме вторичного пойкилитового цемента. Последний развит неравномерно. Он пятнами проявлен среди алевро-песчаного материала и полностью затухает в участках скопления глинистого вещества, которые плохо проницаемы для растворов. Легко устанавливается вторичный характер цемента. На первых этапах замещается глинистое вещество и присутствующие в нем дисперсные доломитовые частицы. Затем становятся неустойчивыми вторичные доломитовые ромбоэдры. И, наконец, гипсовой коррозии подвергаются полевые шпаты и кварц. В результате, в шлифах возникает мозаика из волокнисто-крупнозернистого гипса, пойкилитово включающего разрозненные обломочные зерна. В керне скважин такие участки проявляются в виде зон осветления, хорошо видимых на фоне буровато-красных пород. Как и в случае с конкреционными стяжениями в глинах, время развития диагенетической пойкилитовой цементации в песчаниках и алевролитах заканчивается появлением гипсовых прожилков — показателя начала катагенетической фазы формирования пород.

Завершающим этапом огипсования вскрытых скважинами уржумских отложений является развитие агрегатов гипса в виде участков метасоматического замещения. Оценить на микроскопическом уровне по отдельным пробам масштабность этого процесса достаточно сложно, но глубина изменения минералого-химического состава пород дает основание предполагать весьма мощное выражение метасоматоза в пределах толщи.

В шлифах участки метасоматоза наблюдаются в виде крупных полей с живообразными извилистыми границами (рис. 3). По периферии зерен кристаллы мелкие, а из-за пылевидных частиц — мутные. К центру участков они разрастаются и становятся светлыми и чистыми. Другой особенностью, указывающей на вторичную природу гипсовых выделений, служат реликтовые включения окружающей минеральной массы.

Большей частью они группируются в приконтактной зоне, где представлены корродированными разрозненными обломочными зернами, захваченными мелкими породными фрагментами, а также оставшимися от их замещения «теньвыми» структурами (рис. 3). Особенно агрессивно сульфатный метасоматоз проявился в сакмарском комплексе, где вторичная природа гипсовой и ангидритовой минерализации устанавливается по включениям реликтовой примеси. Судя по ней, замещались микрозернистые доломиты и тонко отмученные глины. Сохранившиеся от них минеральные частицы количественно не превышают первых процентов. В основном это пленки и тонкие линзочки на стыках крупных зерен и вдоль граничных поверхностей структурных неоднородностей пород. Намечаются два механизма замещения. Первый связан с зонами трещиноватости, где гипс разрастался поперек трещин по типу «гребенок» субпараллельных кристаллитов (рис. 4). Второй механизм проявлялся в развитии пойкилитовых структур и формировании крупных ксеноморфных зерен, которые захватывали целые фрагменты окружающей минеральной массы (рис. 5). С гипсом тесно связаны выделения ангидрита. Их взаимоотношение сложное и противоречивое. Наблюдаются как обособления гипса с ангидритовыми включениями, так и обратная картина, когда структурные признаки первого минерала наследуются ангидритом. В последнем случае ярким подтверждением сказанного служат крупные (до 2–4 мм) монокристаллические псевдоморфозы по «лапчатым» обособлениям гипса с пойкилитово захваченными корродированными зернами доломита. Сохраняются не только отдельные зерна, но и целые фрагменты метасоматически замещенных доломитовых пород с биогенными структурами (рис. 5).

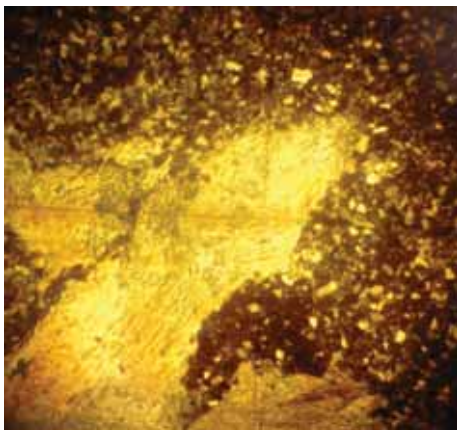


Рис. 3. Участки гипсового метасоматоза в уржумских алевро-песчаных отложениях. Ув. 25х, ник. II. Наблюдаются остаточные фрагменты (пятна) замещенного терригенного и глинистого вещества среди гипсового агрегата с grano- и гетеробластовой структурами

[**Figure 3.** Areas of gypsum metasomatism in Udjumskii aleurite-sand rocks. There are residual fragments (spots) of the replaced terrigenous and clay substance among the gypsum aggregate with grano- and heteroblastic structures]



Рис. 4. Катагенетическое огипсование пород через развитие прожилков из «гребенок» субпараллельных кристаллитов. Сакмарский ярус. Рис. 8а. Ув. 50х, ник. II

[**Figure 4.** Catagenetic replacement of rocks by gypsum by development of veinlets of “combs” of subparallel crystallites. Sakmarskii stage]

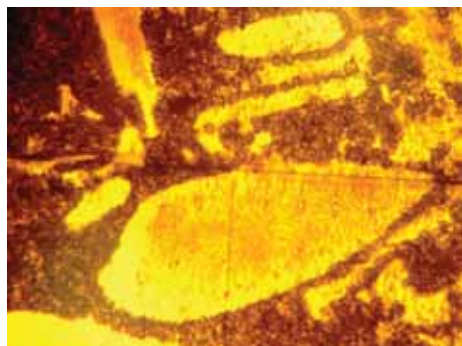


Рис. 5. Псевдоморфозы по гипсу ангидрита (светлые поля) с сохранившимися биоморфными структурами микрозернистого доломита (серые выделения). Ув. 100х, ник II

[**Figure 5.** Anhydrite pseudomorphs in gypsum (bright fields) with preserved biomorphic structures of grained dolomite (grey fields). Sakmarskii stage]

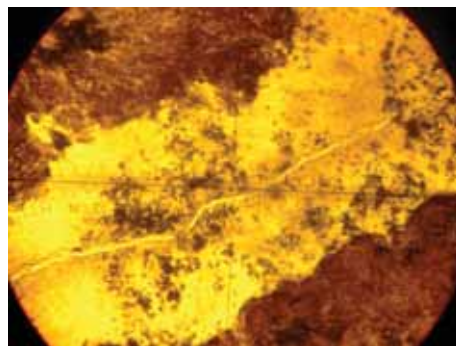


Рис. 6. Две формы катагенетического ангидрита: ранняя — игольчатая (серые поля), более поздняя — мелкочешуйчатая (прожилковая). Сакмарский ярус. Ув. 50х, ник. +

[**Figure 6.** Two forms of catagenetic anhydrite: early form — needlelike (grey parts), recent form — scalylike (in veins). Sakmarskii stage]

Другая форма псевдоморфного развития ангидрита представлена сноповидными короткоигольчатыми кристаллитами, заполняющими внутреннее пространство выделений дегидратированного гипса. Характерны бурые налеты и остаточные микровключения доломитовых частиц. Наконец, отмечена ангидритовая фаза, непосредственно не связанная с дегидратацией гипса. Она представлена «чистыми» мелкочешуйчатыми агрегатами, которые образуют среди ангидритовых псевдоморфоз прожилково-пятнистые обособления (рис. 6). Тем самым фиксируются наиболее поздние катагенетические процессы растворения и переотложения ангидритового вещества в пустотах и трещинах сокращающегося в объеме гипса при его обезвоживании и трансформации в ангидрит.

Заключение

По всему вскрытому уржумско-сакмарскому разрезу устанавливается вторичная природа сульфатных образований, связанных с седиментационно-диагенетическим и катагенетическим этапами развития ангидрит-гипсовой минерализации. Первый этап не играл ведущей роли при становлении пород, поскольку засоленность палеовод бассейна и хемоседиментация гипса находились, скорее всего, в зачаточной форме. Об этом свидетельствует довольно разнообразное сообщество выявленных биогенных остатков среди отложений обоих комплексов. По этим причинам минерализация гипса проявила себя слабо и отмечается лишь в виде диагенетических послонных конкреционных стяжений.

Породообразующее значение сульфатная минерализация приобрела в катагенезе при массовом метасоматозе карбонатных, глинистых и песчаных отложений. Нельзя сказать, что данное заключение является чем-то новым и необычным. По крайней мере, о возможности этого процесса в свое время писал еще А.Е. Ферман [3], связывая его с воздействием на породы высокоминерализованных тяжелых рассолов, гравитационно просачивающихся из лежащих выше по разрезу

захороненных соленосных толщ. Экспериментально реальность таких представлений была подтверждена работами М.Г. Валяшко и его сотрудников [4]. В современной литературе за подобным механизмом минералообразования закрепился термин гравитационно-рассольного катагенеза [5]. Наверное, наиболее ярко глобальность этого явления для регионов развития эвапоритовых формаций была показана В.М. Махначом [6].

В отличие от таких многократно описанных случаев для рассматриваемого региона бассейна р. Клязьма ситуация выглядит нестандартно. Необычность ее сводится к следующим двум моментам. Во-первых, в разрезе отсутствуют залежи солей, способных генерировать сульфатсодержащие рассолы и создавать гравитационный фильтрационный эффект для просачивания их в подстилающие отложения. Во-вторых, масштаб вторичной сульфатизации многократно превышает известные случаи. Ведь речь здесь идет уже не о прожилковой и гнездобразной минерализации, а линзо- и пластообразных телах, тяготеющих к контакту существенно глинистого уржумского и карбонатного сакмарского комплексов. Правомерен вопрос: чем обусловлены вышеотмеченные особенности? Очевидно, ключом для решения проблемы могут стать представления об уржумских отложениях как своеобразном водоупоре и геохимическом барьере для движущихся флюидов-растворов. Если это так, то именно «глинистую покрывку» следует рассматривать в качестве главной причины массовой катагенетической сульфатизации залегающих под ней доломитизированных биогенных известняков и глинистых пелитоморфных доломитов. В свете сказанного необходимо отметить еще один момент — источник метасоматических растворов. Учитывая катагенетическую природу сульфатизации, весьма привлекательной становится модель элизионного катагенеза. Принимая ее за основу, логично связать образование изученных сульфатных пород с рассолами эвапоритовых толщ Предуральского прогиба, уплотнение которых сопровождалось миграцией продуктивных растворов к его краевым частям. Поражает реакционная способность сульфатного метасоматоза, которая не уступает по своей агрессивности латеритному выветриванию. Процесс буквально «стирает» все предыдущие минеральные фазы, включая терригенный кварц и аксессуарные минералы. Из сказанного привлекает внимание высокая подвижность малорастворимых оксидов Si и Al. Следовательно, метасоматоз протекал на фоне сильно щелочной среды с $pH > 10$. Только при таких условиях возможна активная совместная миграция кремния и алюминия [7].

С другой стороны, при огипсовании также происходит осветление пород и удаляются гидроокислы железа. Это, в свою очередь, указывает на восстановительный характер метасоматических растворов.

Список литературы

- [1] Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1 000 000 (новая серия). Лист О-37,(38) (Нижний Новгород) / ред. В.П. Кириков. СПб.: ВСЕГЕИ, 1999.
- [2] Янаксурт О.В. Стадиальный анализ осадочного процесса // Литология и полезные ископаемые. 2008. № 4. С. 364–376.
- [3] Ферман А.Е. Геохимия России. Петроград.: Науч. химико-техн. изд-во, 1922. 214 с.

- [4] *Валяшко М.Г., Поливанова А.И., Жеребцова И.К.* Экспериментальные исследования перемещения растворов разного удельного веса в пористых породах в связи с вертикальной гидрохимической зональностью // *Геохимия.* 1963. № 3. С. 312—329.
- [5] *Холодов В.Н.* Новое в познании катагенеза // *Литология и полезные ископаемые.* 1982. № 3. С. 3—22.
- [6] *Махнач А.А.* О глобальном развитии галогенной катагенетической минерализации осадочных пород под эвапоритовыми формациями // *Литология и полезные ископаемые.* 1982. № 3. С. 59—66.
- [7] *Безбородов Р.С.* Краткий курс литологии. М.: Университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы, 1989. 314 с.

© Георгиевский А.Ф., Бугина В.М., 2018



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

История статьи:

Дата поступления в редакцию: 16 сентября 2018

Дата поступления доработанного текста: 16 октября 2018

Дата принятия к печати: 25 ноября 2018

Для цитирования:

Георгиевский А.Ф., Бугина В.М. Особенности катагенетического сульфатонакопления в пермских осадочных комплексах Центральной России // *Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Инженерные исследования.* 2018. Т. 19. № 4. С. 503—512. DOI 10.22363/2312-8143-2018-19-4-503-512

Сведения об авторах:

Георгиевский Алексей Федорович — доктор геолого-минералогических наук, доцент департамента недропользования и нефтегазового дела Инженерной академии, Российский университет дружбы народов. *Область научных интересов:* закономерности формирования осадочных толщ и их полезные ископаемые. *Контактная информация:* e-mail: geo.gaf@yandex.ru, georgievskiy_af@rudn.university. ORCID iD: 0000-0003-4835-760X. e-LIBRARY SPIN-код: 1308-9195.

Бугина Виктория Михайловна — кандидат геолого-минералогических наук, доцент департамента недропользования и нефтегазового дела Инженерной академии, Российский университет дружбы народов. *Область научных интересов:* фосфоритообразование, седиментогенез. *Контактная информация:* e-mail: vika13718@yandex.ru, bugina_vm@rudn.university. ORCID iD: 0000-0001-6492-6628. e-LIBRARY SPIN-код: 8410-3861.

Special aspects of catagenetic sulfate accumulation in Permian sedimentary sequences of Central Russia

Alexey F. Georgievskiy, Viktoriya M. Bugina

Peoples Friendship University of Russia (RUDN University)
6 Miklukho-Maklaya St., Moscow, 117198, Russian Federation

Abstract. The scope and the role of the secondary (catagenetic) processes in sedimentary-rock formation belong to the category of incompletely resolved and, therefore, the urgent problems of lithological science. The purpose of this work was to show, by means of stadium analysis, the huge “hidden” potential of catagenetic processes in the transformation of the mineral composition of sedimentary strata on the example of sulphate complexes. Boundary clay and carbonate sediments of Urzhumskiy and Sakmarskiy stage of Western limit of the pre-Ural trough were selected as the objects of study. It was found that their lithological appearance has been largely shaped by secondary (dia- and catagenetic) processes of sulfate mineralization. And, if the first is reflected in the development of scattered concretionary nodules of gypsum, the latter manifested in large-scale metasomatism with the formation of large anhydrite-gypsum and gypsum-anhydrite lens and tabular bodies, stretching for hundreds of meters. It’s possible that metasomatic solutions were very reactive and moved with underground waters. Those solutions were as aggressive as lateritic weathering, and replaced not only the carbonates, but clay and ferrous minerals as well as quartz and feldspar detritus. All of this points to the high alkalinity and to the reducing atmosphere of sulphate of metasomatic solutions.

Keywords: mineral sequence of dia- and catagenetic sulfate accumulation, sulfate metacrystal, concretionary bodies and pseudomorphs, brine catagenesis

References

- [1] *Gosudarstvennaya geologicheskaja karta Rossijskoj Federacii. Masshtab 1:1 000 000 (novaja serija)* [State geological map of the Russian Federation. Scale 1:1 000 000]. List O-37,(38) (Nizhnij Novgorod). Saint Petersburg: VSEGEI Publ., 1999.
- [2] Yapaskurt O.V. Stadium analysis of sedimentary process. *Lithology and mineral resources*, (4), 2008, 364–376. (In Russ.)
- [3] Fersman A.E. *Geohimija Rossii* [Geochemistry of Russia]. Petrograd: Teh.-chem. izdat. Publ., 1922. 214.
- [4] Valjashko M.G., Polivanova A.I., Zherebcova I.K. Jeksperimental’noe issledovanie peremeshhenija rastvorov raznogo udel’nogo vesa v poristyh porodah v svjazi s vertikal’noj gidrohimicheskoj zonal’nost’ju [Experimental study of different unit weight solutions’ movement in porous rocks and their dependence of vertical hydrochemical zonality]. *Geochemistry*, 1963, (3), 312–326. (In Russ.)
- [5] Holodov V.N. Novoe v poznanii katageneza [New facts in the knowledge of catagenesis]. *Lithology and mineral resources*, 1982, 3, 3–22. (In Russ.)
- [6] Mahnach A.A. O global’nom razvitii galogennoj katageneticheskoj mineralizacii osadochnyh porod pod jevaporitovymi formacijami [About the global development of halogen catagenetic mineralization of sedimentary rocks under evaporite formations]. *Lithology and mineral resources*, 1982, (3), 59–66. (In Russ.)
- [7] Bezborodov R.S. *Kratkij kurs litologii* [Brief Lithology course]. Moscow: Patrice Lumumba University, 1989, 314. (In Russ.)

Article history:

Received: September 16, 2018

Revised: October 16, 2018

Accepted: November 25, 2018

For citation:

Georgievskiy A.F., Bugina V.M. (2018). Special aspects of catagenetic sulfate accumulation in Permian sedimentary sequences of Central Russia. *RUDN Journal of Engineering Researches*, 19(4), 503—512. DOI 10.22363/2312-8143-2018-19-4-503-512 (In Russ.)

Bio Notes:

Alexey F. Georgievskiy — Doctor of Geology and Mineralogy, Associate Professor of the Department of Mineral Developing and Oil & Gas Engineering of the Engineering Academy, Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University). *Research interests:* formation rules of sedimentary rock layers and their mineral resources. *Contact information:* e-mail: geo.gaf@yandex.ru, georgievskiy_af@rudn.university. ORCID iD: 0000-0003-4835-760X. e-LIBRARY SPIN-code: 1308-9195.

Viktoriya M. Bugina — PhD in Geology and Mineralogy, Associate Professor of the Department of Mineral Developing and Oil & Gas Engineering of the Engineering Academy, Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University). *Research interests:* phosphorites' formation, sedimentogenesis. *Contact information:* e-mail: vika13718@yandex.ru, bugina_vm@rudn.university. ORCID iD: 0000-0001-6492-6628. e-LIBRARY SPIN-code: 8410-3861.



Scientific article

DOI 10.22363/2312-8143-2018-19-4-513-523

UDC 556.5(1/9)

Influence of the El Niño phenomena on the climate change of the Ecuadorian coast

Antonio Fermín Campos Cedeno¹, Junior Orlando Mendoza Alava¹,
Evgenii K. Sinichenko², Ilia I. Gritsuk^{2,3,4}

¹ Universidad Técnica de Manabí

Avenida Urbina y Che Guevara, Portoviejo, Ecuador, 130105

² Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University)

6 Mikluho-Maklaya St., Moscow, 117198, Russian Federation

³ Russian Academy of Sciences Water Problems Institute (IWP RAS)

3 Gubkina St., Moscow, 119333, Russian Federation

⁴ Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI)

64 Leningradsky Prospect, Moscow, 125319, Russian Federation

Abstract. The climate on the Ecuadorian coast depends mainly on the marine currents of Humboldt and El Niño, which appear in the dry and rainy seasons, respectively. The Humboldt current is distinguished by being cold, while that of El Niño is hot. The presence of the El Niño current causes an increase in the evaporation of ocean waters with the consequent appearance of the rainy season. There are anomalous seasons of the El Niño stream, when the water temperature rises above the norm, higher than 25.5 °C, which has been called El Niño phenomena. The appearance of this natural phenomena has proven to be decisive in the climate change of the coast of Ecuador. In order to have technical information, important for the planning, control and development of the water resources of the DHM, in this research a temporal analysis of the monthly rainfall during 55 years, 1963–2017 period, is carried out. The National Institute of Hydrology and Meteorology of Ecuador (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología — INAMHI) at station M005, located in the Botanical Garden of the Technical University of Manabí in Portoviejo, obtained these records. An analysis of the monthly and annual patterns is made, establishing that the El Niño events occurred in 1983, 1997 and 1998, have established guidelines for the change in the production of rainwater in the levels of intensity and temporal distribution, increasing the months of drought, while precipitation levels increase, concentrating in fewer months, basically in February and March. This is a situation that increases the water deficit, especially when there is not enough infrastructure of hydraulic works for the storage and regulation of runoff.

Keywords: hydrology, rainfall, monthly distribution, annually distribution, climate change, El Niño phenomena

Introduction

Since 1963, in accordance with the rainfall data recorded by the National Institute of Hydrology and Meteorology of Ecuador (INAMHI) Portoviejo-UTM meteorological station, the Province of Manabí has been experiencing an irregular behavior of the climate,

reflected in the rainy periods, a primordial basis for the development of the agricultural sector.

In Manabí, about 30 years ago, according to testimonies of old farmers, the rains began in the middle or end of December, extending the month of May or mid-June.

Currently, the rainy periods begin in the middle or end of January and last only two and in some periods up to three months.

The climatic indicators that directly affect the behavior of the climate of the coastal region of Ecuador and especially the climate in Manabí, are the cold current of the South, also known as Humboldt, and the warm current of El Niño. The Humboldt current marks the cold and dry period for Manabí, whose influence exerts from mid-June to late November or mid-December, is characterized by the lack of rain and the presence in certain regions of the so-called winter “light rain” (garúa), at this time, the surface temperature of the sea water varies between 23 and 25 °C [4; 6; 10].

From the middle to the end of December, the so-called El Niño warm current from the northwest or west gradually begins to manifest itself, so named because it appears in December, at the time of the celebration of Christmas. This current displaces the cold Humboldt current to the south, and at this time the water from the sea surface is heated with temperatures ranging between 25.5 and 27 °C, causing enough evaporation, which when transported by the wind, from the sea towards the continent, allows the formation of the clouds that cause the rains [2].

There is the so-called El Niño phenomenon, which is a difficult event to predict, characterized by a sudden change in the temperature of the surface sea water in the equatorial part of the Pacific Ocean and which has a decisive effect on the climate. In this phenomenon the hot zones near the surface move towards the east, the temperature of the ocean water exceeds 25 °C, evaporation accelerates, causing the production of rain in 5—6 times more than normal. The events of this phenomenon in the period under analysis have been 2, in the years 1983 and 1997—1998 [8; 9].

According to historical data from 1790 to the present date 7 El Niño phenomena have arisen, with intervals of occurrence of 38, 48, 15, 34, 57 and 15 years [1; 7]. These natural events, like those related to telluric movements, are considered stochastic and predicting the year of their next occurrence is impossible, but the truth is that their presence has been shown to mark the general climate, as it is demonstrated with the present investigation.

Materials and Methods

The basis for this work is the monthly rainfall records provided by the Ecuadorian Institute of Hydrology and Meteorology, meteorological station M005 located in the Botanical Garden of the Technical University of Manabí, latitude 01° 02'26" S, length 80° 27'54" W, period 1963—2017. Figure 1 shows the geographic location of station M005 within the territory of the Manabí Hydrographic Demarcation (DHM).

The total monthly precipitation records used in the investigation amount to 660.

A temporal analysis of rainfall is made in 2 scenarios: 1) monthly; and, 2) annual.

The analysis period consists of 55 years. For the monthly analysis scenario, in accordance with rainfall patterns, three ranges of analysis were obtained: 1963—1982, 1984—1996, 1999—2017, extraordinary events of the El Niño phenomena of the years are excluded in the analysis 1983, 1997 and 1998, since these are non-normal events whose periodicity

is difficult to predict, but which mark trends of climate change. The records used here total 660. For each of the periods, the monthly variation coefficients were estimated with the help of the statistical formula [1; 3]:

$$C_v = \frac{\sigma}{\bar{x}}, \tag{1}$$

where σ — standard deviation; \bar{x} — arithmetic average.

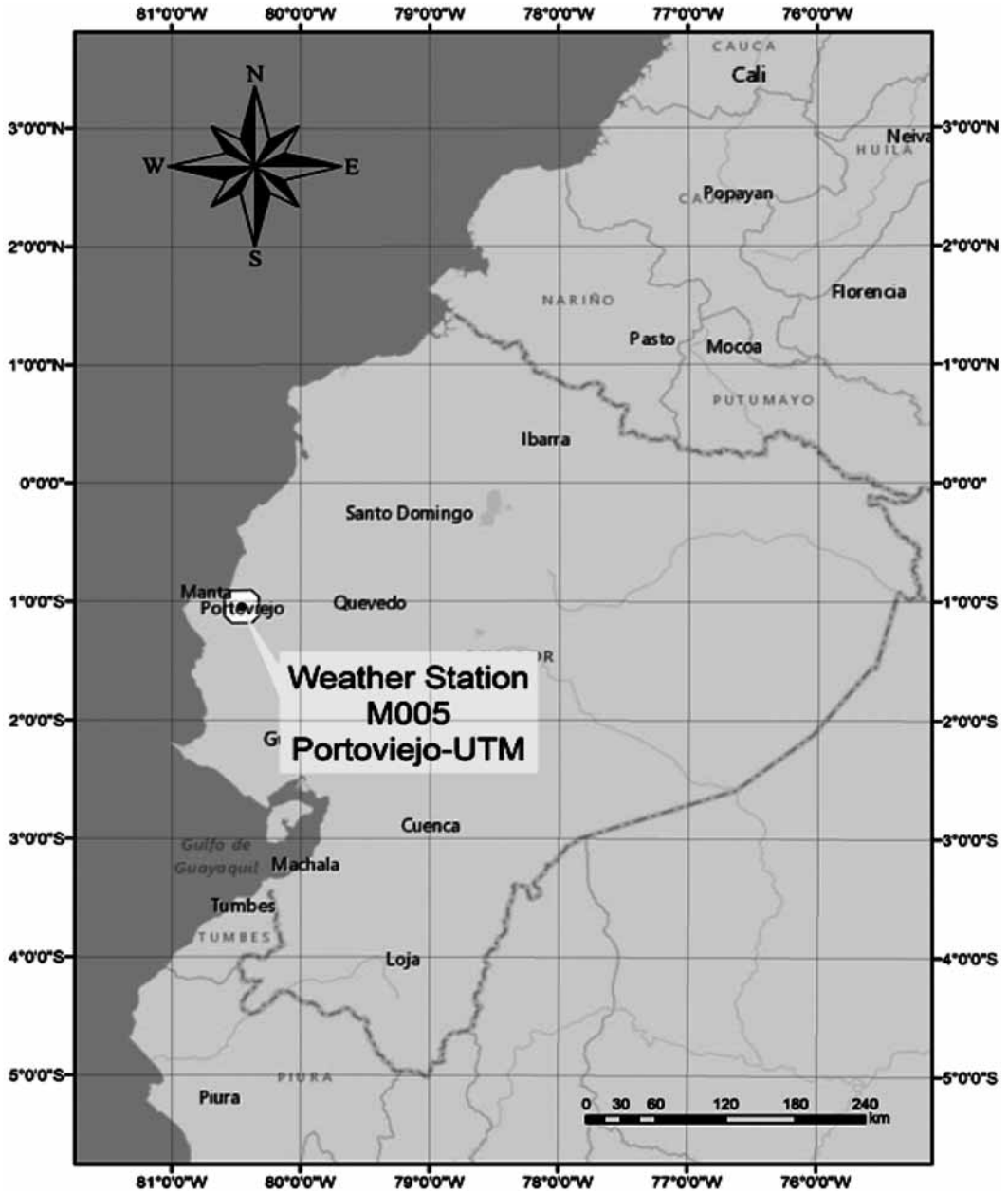


Figure 1. Location of the weather station M005 — Portoviejo-UTM

For the scenario of the annual temporal analysis the total values are used, that is to say the sum of all the monthly precipitations, total 55 values of annual rainfall.

The annual precipitation was calculated as the sum of the monthly rainfall with the formula

$$P_a = \sum_{i=1}^{12} Pm_i, \quad (2)$$

where P_a — annual rainfall; Pm — monthly rainfall.

Based on El Niño phenomena arising in the period 1963–2017, 3 analysis intervals have been considered: 1963–1982, 1984–1996 and 1999–2017, this is to determine the trends of variability of climate patterns in the region coast of Ecuador, before and after said phenomena.

For each of the periods considered, the average monthly rainfall values were determined with the formula

$$P_{mm} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n Pm_j, \quad (3)$$

where P_{mm} — average monthly rainfall; n — number of years of the period; Pm_j — monthly rainfall.

For the periods 1963–1982, 1984–1996 and 1999–2017, 20, 13 and 19 years have been considered, respectively.

The calculations were carried out in Excel spreadsheets, to be then plotted in bars and statistical lines.

Results and Discussion

Of all the monthly rainfall records, the minimum value is 0.00 mm, and the maximum value is 460.20 mm. The average values of monthly rainfall for the period 1963–2017 are contained in table, where it can be noted that the minimum value corresponds to the month of August, and the maximum value to February.

Table

Average values of monthly rainfall in mm, Portoviejo-UMT station (M005) Period 1963–2017

JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
93.0	133.0	132.0	73.4	31.9	17.2	7.3	2.7	3.7	3.0	6.6	23.8

In the monthly analysis of rainfall, in accordance with the 3 groups considered for the periods 1963–1982, 1984–1996 and 1999–2017, average monthly precipitation equal to 393.28, 456.66 and 546.80 mm was obtained, which indicates that there is a tendency to increase rainfall over time. However, by making a temporary monthly analysis of the distribution of rainfall for these periods, it has been detected that over time, the dry period has increased, becoming drier, which has a decisive impact on the agricultural sector due to the lack of enough water for the development of usual practices.

Figures 2, 3 and 4 show this fact. Specifically, in figure 2, it is noted that there is greater uniformity in the distribution of precipitation, where August is the driest month with 1.16 mm and that the rainy period practically comprises 7 months: December, January, February, March, April, May and June, with a greater rainfall in the month of March, 107.69 mm.

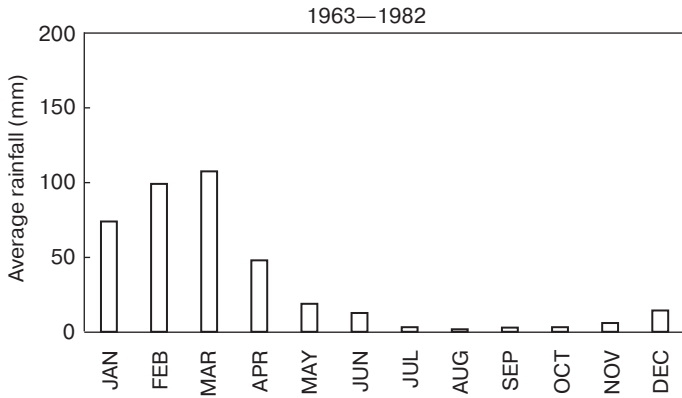


Figure 2. Average monthly rainfall, 1963–1982

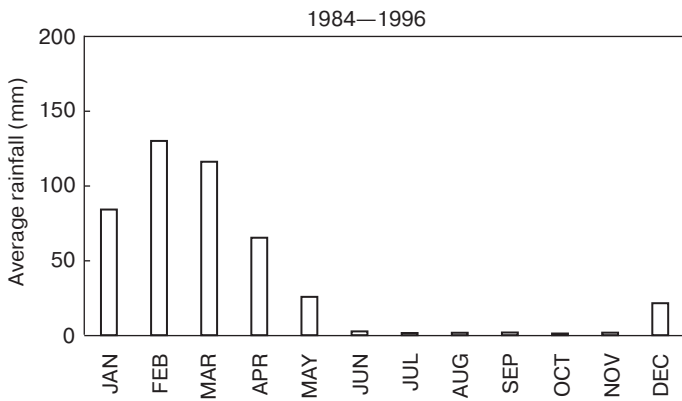


Figure 3. Average monthly rainfall, 1984–1996

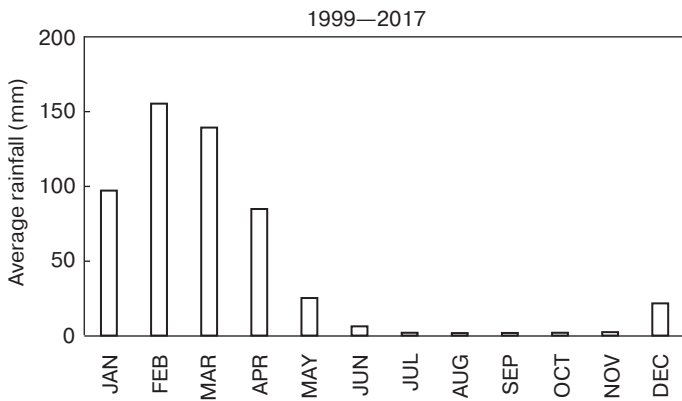


Figure 4. Average monthly rainfall, 1999–2017

Figure 3 shows a distribution scheme a little different with respect to figure 2, here the rainy season includes 6 months, from December to June with maximum precipitation in the month of February, 131.65 mm. The dry period is drier than in the previous case, where the precipitation is maintained almost equally for all months, with values that fluctuate between 1 to 2 mm per month, that is, almost nothing.

Figure 4, period 1999–2017, presents a scheme almost similar to that of figure 3, with a notable difference from the increase in rainfall in the month of February, 157.98 mm. The dry period in this case, is drier than in the previous analysis with rainfall ranging between 0 and 1.5 mm per month, extreme drought.

The calculated coefficients of variation C_v show that there is no uniformity of rainfall, since the values obtained fluctuate between 0.59–3.54, which reinforces the fact of the disproportion of rainfall for rainy and dry periods.

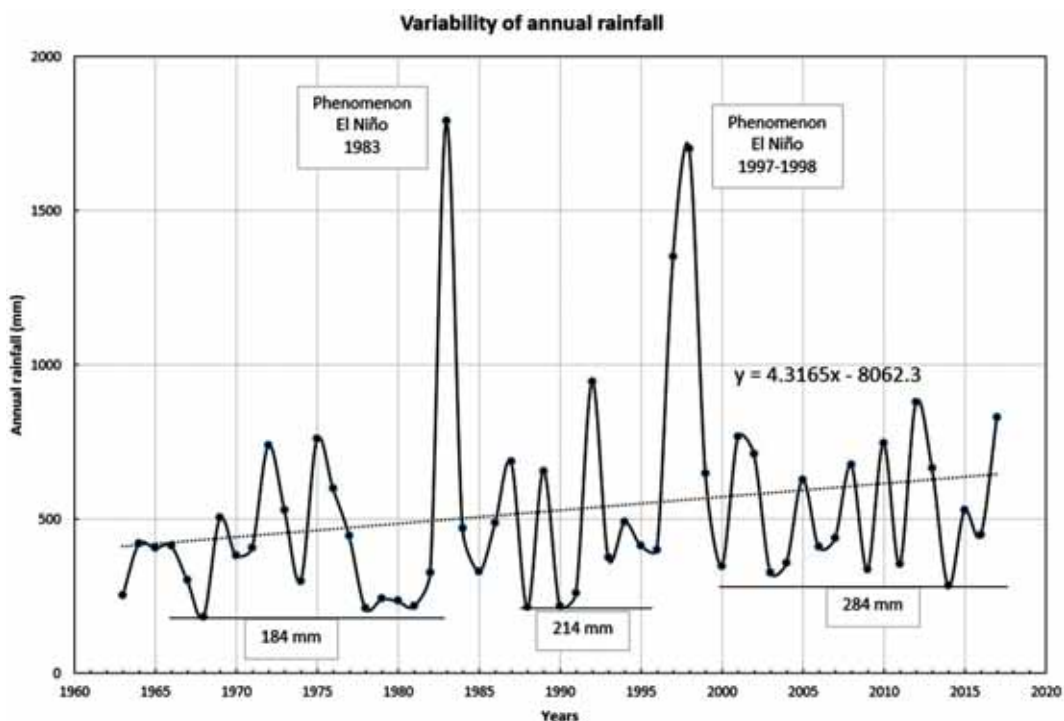


Figure 5. Variability of annual rainfall, 1963–2017

Figure 5 shows the variation of annual precipitation, noting, in general, a tendency to increase average rainfall over time. From a linear dispersion analysis [5] the following trend increase formula was obtained:

$$y = 4.3165x - 8062.3, \quad (4)$$

where x — year of analysis; y — average annual precipitation in mm.

The appearance of El Niño phenomena, for the analysis period, shows changes in the production of rainfall patterns. Before the phenomenon happened in 1983, the minimum value of annual precipitations was of the order of 184 mm, after the phenomenon, this

value had an increase of 20 mm, that is, it reached 214 mm (figure 5). After the phenomenon of 1997–1998, with respect to the previous minimum value, there was a rise of 70 mm, reaching it to be located at 284 mm per year.

Conclusions

The climatic conditions, as far as the production of rainfall in the city of Portoviejo is concerned, and that directly affect the basin of the river of the same name (Pfafstetter 1514), from 1963 to 2017 have changed. This situation is directly associated with the appearance of the so-called El Niño phenomena of 1983 and 1997–1998. Figure 6 summarizes the distribution of average monthly precipitation for the periods of analysis, noting the gradual increase in precipitation in the rainy season, whose maximum values for the periods 1963–1982, 1984–1996 and 1999–2017, they are 107.7, 131.6 and 158.0 mm, respectively. The opposite occurs with the minimum values of the average monthly precipitation in the dry period, which decrease, reaching for the periods indicated, values of 1.16, 0.44 and 0.43 mm, respectively.

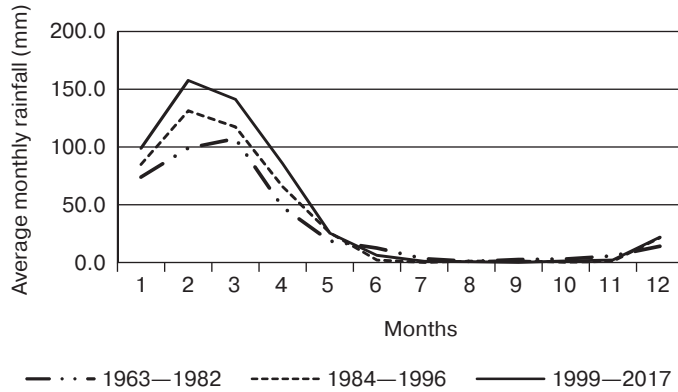


Figure 6. Average monthly rainfall

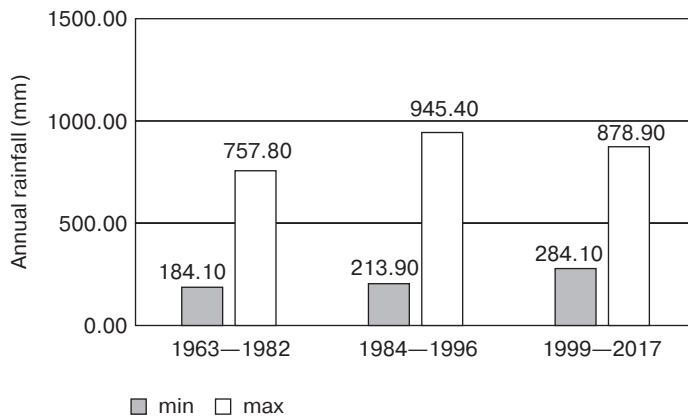


Figure 7. Annual extreme rainfall

The minimum values of annual rainfall (figure 7), after the events of the El Niño phenomena for the periods considered, have had an increasing character, with values

equal to 184, 214 and 284 mm. Regarding the maximum values, from the period 1963—1982 to 1984—1996 there was an increase of 187 mm, while between the periods 1984—1996 and 1999—2017, there was a slight decrease of 66 mm.

It is evident that the general panorama tends to an increase in rainfall levels but with a shortening of the rainy season time with the consequent lengthening of the dry season, which would aggravate the existing deficit problem in the province. It is imperative to design and put into operation hydrotechnical works for the storage and regulation of surface runoff.

References

- [1] Campos A. F., Sinichenko E. K. *Características de Sistemas Fluviales Pequeños y Recursos Hídricos de la Demarcación Hidrográfica de Manabí, Perspectivas de Desarrollo*. Moscú: Universidad de la Amistad de los Pueblos de Rusia, 2017, 42—45.
- [2] Ismaylov G. J., Perminov A. V. *Balance Hídrico Mundial y Recursos Hídricos de la Tierra, Catastro del Agua y Supervisión de los Elementos Hídricos*. Moscú: FGBOU MGUP, 2013, 324.
- [3] Valinova V.S. Coeficiente de variación y coeficiente de determinación. 2016. Access mode: <http://univer-nn.ru/statistika/koefficient-variacion/>
- [4] Plan Integral de Desarrollo de los Recursos Hídricos de la Provincia de Manabí (PHIMA). Centro de Rehabilitación de Manabí. Manabí — Ecuador, 1989.
- [5] Chereque Morán W. *Hidrología para estudiantes de ingeniería civil*. Lima, 1989, 236.
- [6] Comisión Mixta de Cooperación Amazónica — Ecuatoriano — Colombiana. *Plan de Ordenamiento y Manejo de las Cuencas de los Ríos San Miguel y Putumayo*. Washington, D.C.: Secretaría ejecutiva para asuntos económicos y sociales, 1987.
- [7] Cuenca N. Gestión de Recursos Hídricos en el Ecuador. 2008. Access mode: <http://memorias.utpl.edu.ec/sites/default/files/documentacion/periodismo2013/utpl-Gestion-Recursos-Hidricos-Ecuador.pdf>
- [8] Instituto Nacional de Hidrología y Meteorología. Anuarios Meteorológicos. Instituto Nacional de Hidrología y Meteorología. 2015. Access mode: <http://186.42.174.231/index.php/clima/anuarios-meteorologicos>
- [9] Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología del Ecuador. Hidrología y meteorología. Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología del Ecuador. 2015. Access mode: <http://www.serviciometeorologico.gob.ec/>
- [10] Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Portoviejo. *Plan de desarrollo y ordenamiento territorial del cantón Portoviejo*. GAD Portoviejo, 2011, 7—12.

© Campos Cedeno A.F., Mendoza Alava J.O., Sinichenko E.K., Gritsuk I.I., 2018



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

Article history:

Received: May 08, 2018

Revised: September 09, 2018

Accepted: September 28, 2018

For citation:

Campos Cedeno A.F., Mendoza Alava J.O., Sinichenko E.K., Gritsuk I.I. (2018). Influence of the El Niño phenomena on the climate change of the Ecuadorian coast. *RUDN Journal of Engineering Researches*, 19(4), 513—523. DOI 10.22363/2312-8143-2018-19-4-513-523

Bio Notes:

Antonio Fermín Campos Cedeno — Ph.D., Associate Professor, Universidad Técnica de Manabí. *Research interests:* hydraulics, engineering hydrology, hydrotechnical construction. *Contact information:* e-mail: acampos@utm.edu.ec

Junior Orlando Mendoza Alava — Associate Professor, Universidad Técnica de Manabí. *Research interests:* hydraulics, engineering hydrology. *Contact information:* e-mail: jmendoza7865@utm.edu.ec

Evgenii K. Sinichenko — Ph.D., Associate Professor of the Construction Department, Engineering Academy, Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University). *Research interests:* hydraulics, engineering hydrology. *Contact information:* e-mail: sinichenko_ek@pfur.ru

Iliia I. Gritsuk — Ph.D., Associate Professor of the Construction Department, Engineering Academy, Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University). Senior researcher of laboratory “Channel flow dynamics and ice thermal conditions”, Russian academy of Sciences Water Problems Institute. Associate Professor of the Hydraulic Department, Moscow Automobile and Road Construction State Technical University. *Research interests:* hydraulics, engineering hydrology. *Contact information:* e-mail: gritsuk_ii@pfur.ru

Научная статья

Влияние явления Эль-Ниньо на изменение климата эквадорского побережья

А.Ф. Кампос Седеньо¹, Д.О. Мендоза Алава¹, Е.К. Синиченко², И.И. Грицук^{2,3,4}

¹ Технический университет Манаби
Эквадор, 130105, Портовьехо, проспект Урбина и Че Гевары

² Российский университет дружбы народов
Российская Федерация, 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, 6

³ Институт водных проблем РАН
Российская Федерация, 119333, Москва, ул. Губкина, 3

⁴ Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет
Российская Федерация, 125319, Москва, Ленинградский проспект, 64

Климат на побережье Эквадора зависит главным образом от морских течений Гумбольдта и Эль-Ниньо, которые появляются в сухие и дождливые сезоны соответственно. Течение Гумбольдта отличается холодными водными массами, а Эль-Ниньо — теплыми. Присутствие течения Эль-Ниньо вызывает увеличение испарения океанских вод с последующим появлением сезона дождей. Существуют аномальные сезоны течения Эль-Ниньо, когда температура воды поднимается выше нормы (выше 25,5 °С) — это называется явлением Эль-Ниньо. Появление этого природного явления оказалось решающим в изменении климата побережья Эквадора. Чтобы получить информацию, необходимую для планирования, контроля и развития водных ресурсов Эквадора, в работе проводится временной анализ данных натуральных наблюдений за ежемесячными осадками в течение 55 лет (с 1963 по 2017 год). Используемые

сведения были получены Национальным институтом гидрологии и метеорологии Эквадора (INAMHI) на станции M005, расположенной в Ботаническом саду Технического университета Манаби в Портовьео. Исследование ежемесячных и ежегодных объемов осадков показало, что явления Эль-Ниньо, произошедшие в 1983, 1997 и 1998 годах, являлись решающими в увеличении объемов, уровнях интенсивности и временного распределения дождевых осадков. Однако в основном в феврале и марте концентрация осадков в течение месяца уменьшается, что приводит к увеличению дефицита воды, связанного с недостаточным количеством регулирующих емкостей (водохранилищ) по всей территории Эквадора.

Ключевые слова: гидрология, осадки, ежемесячное распределение, ежегодное распределение, изменение климата, явление Эль-Ниньо

Список литературы

- [1] Кампос А.Ф., Синиченко Е.К. Характеристики малых речных систем и водные ресурсы гидрографической демаркации Манаби, перспективы развития: монография. М.: РУДН, 2017. 241 с.
- [2] Исмаилов Г.Х., Перминов А.В. Мировой водный баланс и водные ресурсы земли, водный кадастр и мониторинг водных объектов: учебник для вузов. М.: Изд-во ФГБОУ МГУП, 2013. 324 с.
- [3] Valinova V.S. Coeficiente de variación y coeficiente de determinación. 2016. URL: <http://universidadnacionaldehidrologia.com/estadistica/coeficiente-variacion/> (дата обращения: 20.04.2018).
- [4] Plan Integral de Desarrollo de los Recursos Hídricos de la Provincia de Manabí (PHIMA) / Centro de Rehabilitación de Manabí. Manabí — Ecuador, 1989.
- [5] Chereque Morán, W. Hidrología para estudiantes de ingeniería civil. Lima, 1989. 236 p.
- [6] Comisión Mixta de Cooperación Amazónica — Ecuatoriano — Colombiana. Plan de Ordenamiento y Manejo de las Cuencas de los Ríos San Miguel y Putumayo. Washington, D.C.: Secretaria ejecutiva para asuntos económicos y sociales, 1987.
- [7] Cuenca N. Gestion de Recursos Hídricos en el Ecuador. 2008. URL: <http://memorias.utpl.edu.ec/sites/default/files/documentacion/periodismo2013/utpl-Gestion-Recursos-Hidricos-Ecuador.pdf>
- [8] Instituto Nacional de Hidrología y Meteorología. Anuarios Meteorológicos / Instituto Nacional de Hidrología y Meteorología. 2015. URL: <http://186.42.174.231/index.php/clima/anuarios-meteorologicos>
- [9] Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología del Ecuador. Hidrología y meteorología / Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología del Ecuador. 2015. URL: <http://www.serviciometeorologico.gob.ec/>
- [10] Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Portoviejo. Plan de desarrollo y ordenamiento territorial del cantón Portoviejo. GAD Portoviejo, 2011. Pp. 7–12.

История статьи:

Дата поступления в редакцию: 08 Мая 2018

Дата поступления доработанного текста: 09 сентября 2018

Дата принятия к печати: 28 сентября 2018

Для цитирования:

Campos Cedeno A.F., Mendoza Alava J.O., Sinichenko E.K., Gritsuk I.I. Influence of the El Niño phenomena on the climate change of the Ecuadorian coast (Влияние явления Эль-Ниньо на изменение климата эквадорского побережья) // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Инженерные исследования. 2018. Т. 19. № 4. С. 513–523. DOI 10.22363/2312-8143-2018-19-4-513-523

Сведения об авторах:

Кампос Седеньо Антонио Фермин — кандидат технических наук, доцент Технического университета Манаби (Эквадор). *Область научных интересов:* гидравлика, инженерная гидрология, гидротехнические сооружения. *Контактная информация:* e-mail: acampos@utm.edu.ec

Мендоза Алава Джуниор Орландо — преподаватель Технического университета Манаби (Эквадор). *Область научных интересов:* гидравлика, инженерная гидрология. *Контактная информация:* e-mail: jmendoza7865@utm.edu.ec

Синиченко Евгений Константинович — кандидат технических наук, доцент департамента строительства Инженерной академии, Российский университет дружбы народов. *Область научных интересов:* гидравлика, инженерная гидрология. *Контактная информация:* e-mail: sinichenko_ek@pfur.ru

Грицук Илья Игоревич — кандидат технических наук, доцент департамента строительства Инженерной академии, Российский университет дружбы народов. Старший научный сотрудник лаборатории динамики русловых потоков и ледотермики, Институт водных проблем РАН. Доцент кафедры гидравлики, Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет. *Область научных интересов:* гидравлика, инженерная гидрология. *Контактная информация:* e-mail: gritsuk_ii@pfur.ru



Scientific article

DOI 10.22363/2312-8143-2018-19-4-524-536

UDC 528.48

Modern topographic devices and electromagnetic waves: impact on accuracy of measurements

Léopold Degbegnon, Médard C.J. De Souza

University of Abomey-Calavi
01 BP 526 Cotonou, Bénin

Abstract. Precision topographic work is done by the means of classical instruments such as high-precision levels, theodolites and distance-meters. This method gives accuracy results of ± 2 mm in altimetry and better than ± 5 mm in planimetry, but it requires a lot of expenditures and a long time of execution and more staff. Nowadays, the constellation of the GNSS satellite positioning system and the improvements to electronic tachymeters can provide solutions to gaps in auscultation using conventional measurements. However, these methods also present their weaknesses, resulting by this way from their uses under the high voltage lines. The study of the influence of electromagnetic waves on high-voltage lines on topographic devices allows observations made with a GNSS receiver to be made from an electronic station or total station or with the aid of optical-mechanical theodolite to analyse and interpret the quality of the data obtained on the ground in the Maria Gléta zones in the municipality of Abomey-Calavi and Araromi in the municipality of Sakété. This makes it possible to present the effects of high voltage cables on these measurements and the determinations made in topometry. Very important on measurements at the GNSS receiver and at the total station, the actions of the electromagnetic waves evolve with the variation of the temperature.

Keywords: GNSS receiver, electromagnetic waves, satellite positioning

Introduction

Since the 1950s, the evolution of technology has led to the creation of Electronic Distance Measurement Devices, also known as Instrument of Electronic Measurement of Lengths (IMEL) and electronic tachymeters called total stations. The latter make possible to measure both the distances and the angles, whereas previously the measurement of distances was done by the means of graduated ribbons. The advent of these instruments revolutionized geomatics in general and in a particular way, topometry. It set the way for the introduction of information technology in this field, which is now invested by information and communication technologies [1].

Thus, digital systems such as motorized electronic tachometers and sometimes remote controlled and satellite tracking and positioning are nowadays increasingly used by surveyors-topographers. High voltage lines are suspected of generating electromagnetic waves with adverse effects on the proper functioning of these devices. These adverse effects

are caused by the magnetic field they produced. Indeed, the connection of different cable sections or a cable to electronic devices is tricky. For this reason, the general objective of this study is to check and show that the electromagnetic waves affect the topometric electronic devices and their action taints error measurements.

Specifically, we:

- identify the type of error;
- determine the value of the error;
- interpret the results by identifying the precautions to be taken.

After a general overview of the high-voltage power lines of Maria Gléta and Araromi, where the measurements have taken place, this study will exhibit the characteristics of the instruments and methods used to get to the results and their interpretation.

Framework

In the framework of the supply of electric power, the Electricity Community of Benin (CEB), an inter-state institution between Benin and Togo, has set up electrical installations. Some of these installations produce energy while others relay the energy produced by another power plant or purchased from energy producing countries such as Ghana, Nigeria and Côte d’Ivoire. The energy produced in this way is transported by high-voltage (HV) lines to the CEB facilities from which it is supplied to the Benin Electric Power Company (Societe Beninoise d’ Energie Electrique — SBEE), whose main function is the distribution of electrical energy in Benin household. These high-voltage power lines generate a corridor named the public domain of HV lines, whose 52 meters right-of-way is set up so as to protect populations from radiation that may come directly from the waves created by electromagnetic fields.



Figure 1. HV line transporting the energy of the Maria Gléta power plant

Source: Agbessi Allen K. Marc.

Indeed, high-voltage electrical installations emit electromagnetic waves from which they generate electric and magnetic fields in a given perimeter. For that reason, living under or near a high-voltage power line can constitute a serious health hazard for residents (figure 1): this is confirmed by the epidemiological study carried out on 60,000 children by Gérald Draper, research director at Oxford University, from 1997 to 2001, and made available to the public in 2005, finding that the risk of leukaemia is 69% higher than the average if one lives within 200 meters from a high voltage line and 23% higher if the distance is between 200 and 600 meters. However, urbanization, one of the consequences of population growth, has now included high-tension lines in urban centers or in the areas undergoing an urbanization process. This is the case of the Benin localities of Maria Gléta where there is a power station and Araromi in the municipality of Sakété where facilities relay the electric power supplied by Nigeria. The power line “Vèdoko — Maria Gléta” in Abomey-Calavi on a distance of about 3 km 100 m from the crossroads Gbègnigan to Maria Gléta and the “Araromi — Ilaje — West” power line to Araromi on a linear line about 1 km 200 m were the subject of this study on the effects of lines on topographic devices. Maria Gléta is a power station located in the municipality of Abomey-Calavi, located in the north-western part of Cotonou, the economic capital of Benin. Araromi is a locality of Sakété municipality, located more in the eastern and northern part of Porto-Novo town, the political capital of Benin. The choice of these two different lines located in various departments was carried out in order to compare the results.

Materials

The present study of the influence of electromagnetic waves of high voltage cables on topographic devices has evaluated the accuracy of the measurements made from various topometric instruments by determining the difference between the different results obtained from the following equipments that was used.

GNSS CHC X 91 receiver. The GNSS receiver is a device that uses satellite signals from American Global positioning systems GPS and Russia GLONASS to calculate its position in X, Y and Z coordinates in the World Geodesic System WGS 84. As for topographic measurements, it operates in couple made of a base and a mobile receiver attached to a radio communicating rod. Figure 2 shows the CHC X91 GNSS receiver that was used to perform the scaling points.

The cost of GPS positioning is closely related to the technique used, which in turn depends primarily on the level of accuracy required. The two main variables that influence costs for the same technique are the time required for each location and the cost of the necessary receivers. As a general rule, the shorter the period of observation required at each point, the less costly the survey will be [2].

Electronic Tachometer (Total Station) LEICA TS06. The electronic tachometer, also called total station as shown in figure 3, consists of an electronic theodolite and a coaxial distance meter. It measures angles and distances using a precision laser beam. A total station is also equipped with computers and memories useful for executing programs, for recording the measurements and for determining the coordinates of the points detected. It works with a reflector to measure distances and can take a reading in less than 5 seconds while measuring a distance of several kilometers.

WILD T2 optico-mechanical theodolite. The theodolite is an instrument for measuring angles and indirect distance measurement consisting essentially of three concurrent axes and two goniometers simply called circles, one of which is horizontal and the other vertical and serves to measure the vertical angles.

Thermometer. The thermometer is the instrument used to measure ambient temperature during operations.



Figure 2. Base and radio as well as the mobile of the receiver GNSS CHC X 91

Source: Adomahou Serge.



Figure 3. Surveying with the total station LEICA TS06

Source: Adomahou Serge.

Processes and methods

1. Setting up of a polygonal canvas constituted of 55 vertices (sealed points) at Abomey-Calavi and 44 points at Sakété.
2. Repeated measurements in planimetry and altimetry with the different devices while raising the ambient temperature and operating time.
3. Numerical processing of data and calculation of deviations.
4. Account of facts or significant actions occurred in the course of operations.
5. Drafting of the daily reports of the work carried out.

The methods used for these measurements are:

- with the GNSS receiver, the real-time kinematic mode;
- with the total station, the radiation with reference collected each time on the previous point;
- with the optico-mechanical theodolite, the procedure with the double-turning method.

The Real Time Kinematic (RTK) mode is the most interesting mode for the automation of construction sites. Indeed, it permits to obtain precisions of the order of a few centimeters on the position at a quite sufficient rate [3].

A total station is an electronic theodolite coupled to an IMEL and having a system for recording and/or transferring information. Whereas the “optico-mechanical” theodolite brings together all “mechanical” reading devices by vernier graduated in comparison with “optico-electronic” devices, also called stations, which are read on a digital display and which often incorporate an electronic distance measuring device. The angle measurement by double turning is a manipulation consisting of a simultaneous half-turn of the bezel and the alidade. This technique of measurement makes it possible to eliminate certain systematic errors and to limit the errors of reading [4].

Results and discussion

Curves of the deviations from 0 between the planimetric coordinates obtained with the different devices.

Histograms of the means of the deviations in X and Y obtained with the data of the devices taken two by two.

The variations in the deviations obtained in figures 1, 2, 3 and 4 show that the closer we get to the power plant, the more the deviations observed on the data from the GNSS receiver and the total station increase. As a result, the influence of HV electrical lines on electronic devices intensify as the power plant approaches.

However, figures 5 and 6 showing the histogram of the average on X and Y deviations of the devices taken in pairs demonstrate that the deviation observed on the x-axis is higher than the ones of the y-axis. We then deduce that the electromagnetic loads of HV electric cables influence the x-axis more than the y-axis.

Tables 1 and 2 show that on both sites the amplitudes of the x-axis and y-axis deviations between the GNSS receiver and the total station are higher than those between the total station and the theodolite, which are in fact higher than those GNSS and theodolite. We therefore deduce that the coordinates obtained in X and Y with the total station are less

precise than those provided by the GNSS receiver, which are also less precise than those obtained from the surveys of the theodolite.

The amplitudes of the x-axes or y-axes are more important in Abomey-Calavi than in Sakété. This could be explained by the value of the intensity of the electromagnetic field created at this HV line.

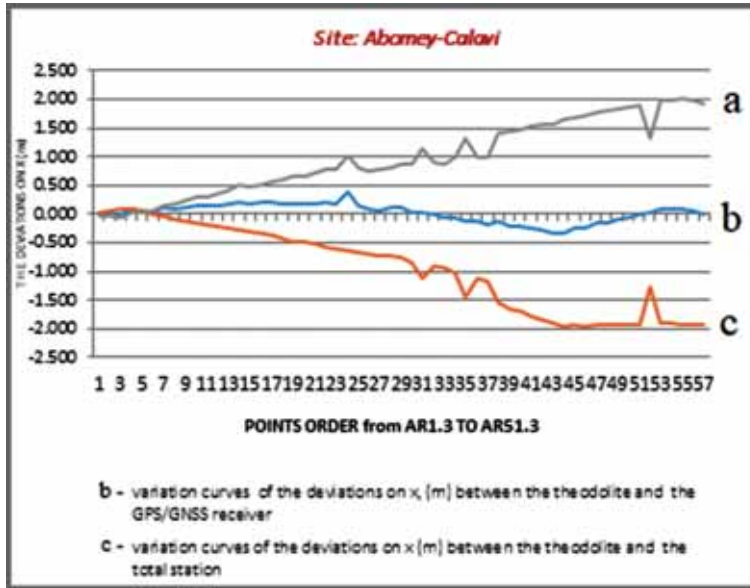


Figure 4. Variation of the abscissas between the coordinates obtained by reading with the devices taken two by two on the first site located at Maria Gléta (municipality of Abomey-Calavi)

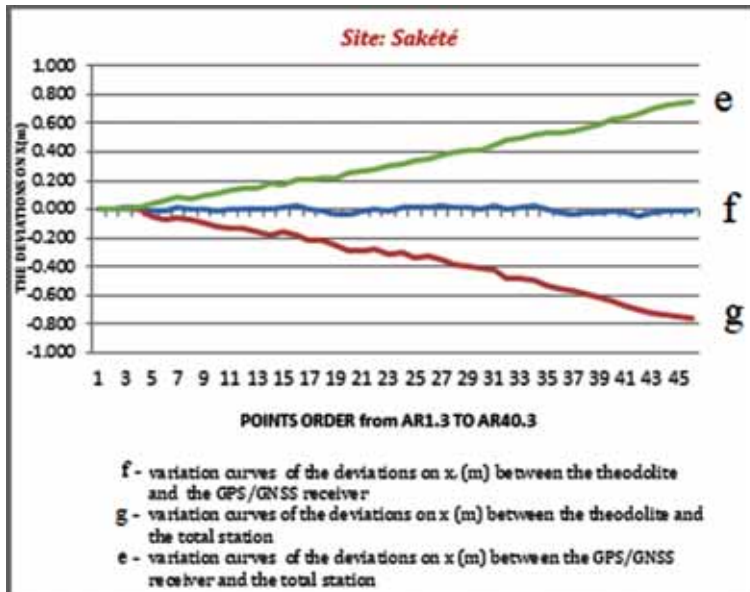


Figure 5. Variation of the abscissa between the coordinates obtained by reading with the devices taken two by two on the second site located at Araromi (Sakété municipality)

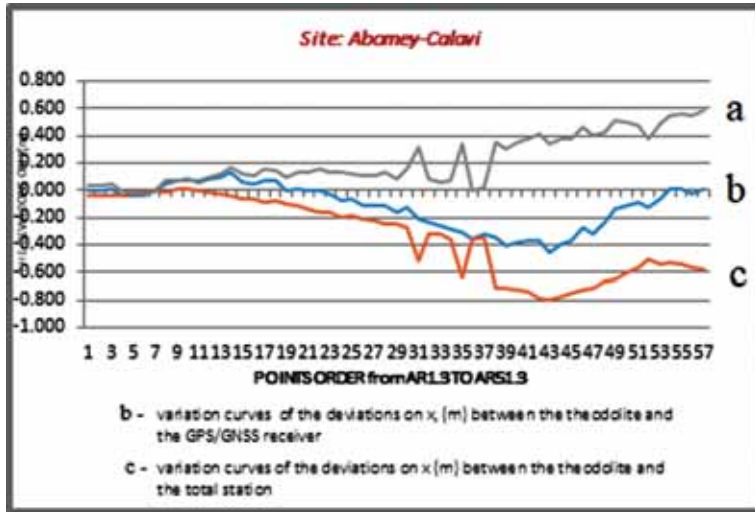


Figure 6. Variation of the deviations on the ordinate between the coordinates obtained by reading with the apparatus taken two by two on the first site located at Maria Gléta (Abomey-Calavi municipality)

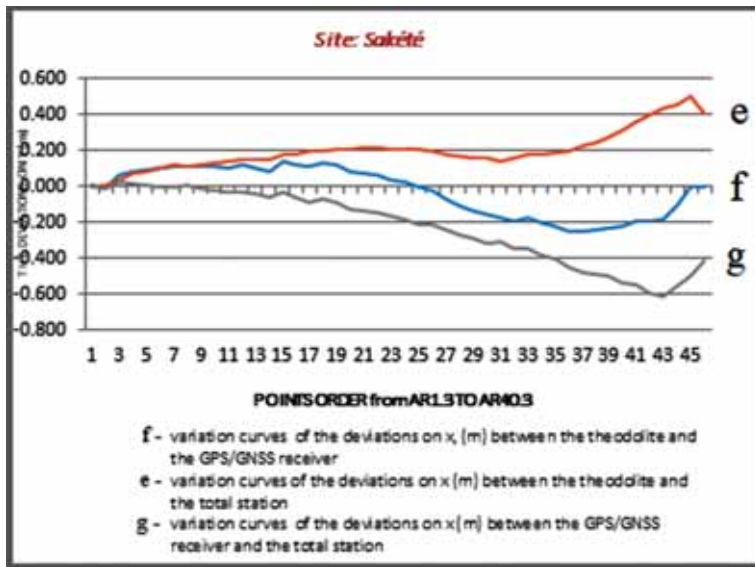


Figure 7. Variation of the deviations on the ordinate between the coordinates obtained by reading with the apparatus taken two by two on the second site located at Araromi (Sakété municipality)

Table 1

Extrema and amplitudes of the deviations in terms of coordinates obtained from the two by two compared devices on the first site of Maria Gléta at Abomey-Calavi

Site	Abomey-Calavi					
	GNSS-Theo*		ST-Theo		GNSS-ST	
Devices	X	Y	X	Y	X	Y
Variation of the deviation (m)	-0.348 to 0.381	-0.460 to 0.125	-1.928 to 0.084	-0.799 to 0.005	0.019 to 2.008	-0.025 to 0.586
Amplitude(m)	0.729	0.585	2.012	0.804	1.989	0.611

* Theo: theodolite.

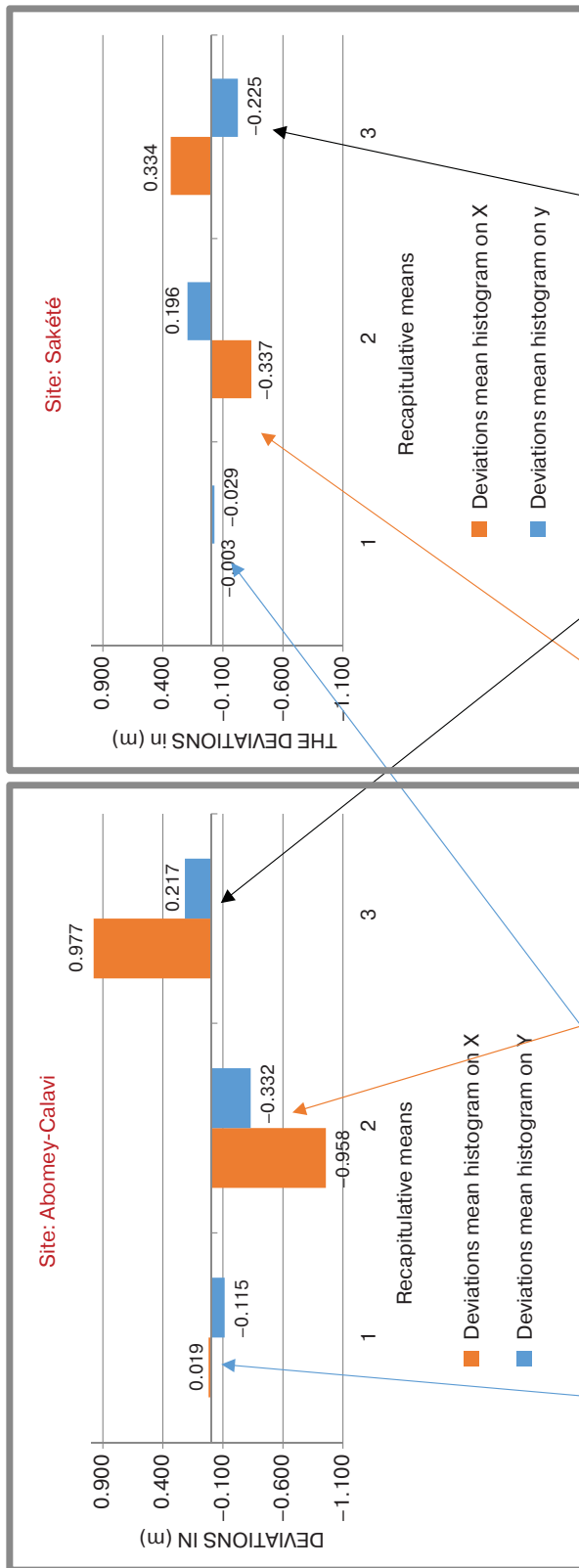


Figure 8. Evolution of the mean of the deviations in coordinates obtained by reading with the devices taken in pairs on the first site located at Maria Gléta (Abomey-Calavi municipality)

GNSS receiver and wild T2 theodolite

Total station and wild T2 theodolite

Figure 9. Evolution of the mean of the deviations with the devices taken in pairs on the first site located in Araromi (Sakété municipality)

GNSS receiver and total station

Table 2

Extrema and amplitudes of the deviations in terms of coordinates obtained from the two by two compared devices on the second site Araromi site at Sakété

Site	Sakété					
	GNSS-Theo		ST-Theo		GNSS-ST	
Devices	X	Y	X	Y	X	Y
Coordinates	X	Y	X	Y	X	Y
Variation of deviations (m)	-0.765 to 0.006	-0.253 to 0.141	-0.765 to 0.006	-0.001 to 0.497	-0.002 to 0.753	-0.612 to 0.026
Amplitude(m)	0.771	0.394	0.771	0.498	0.755	0.638

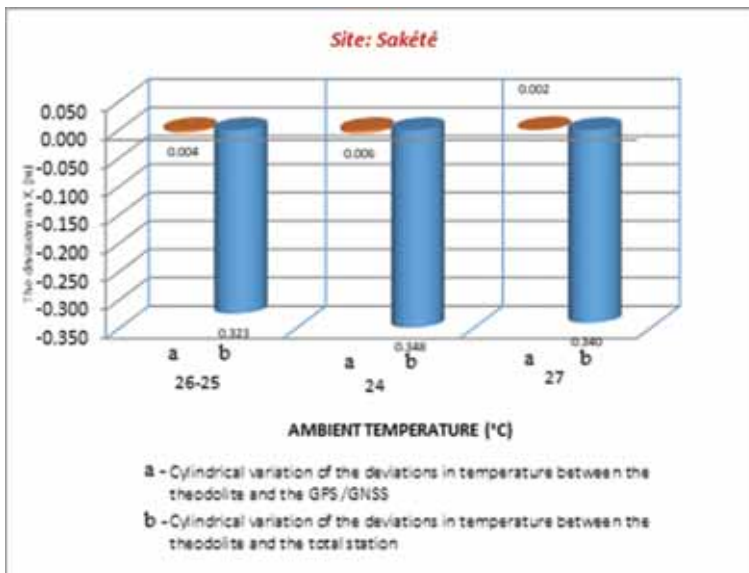
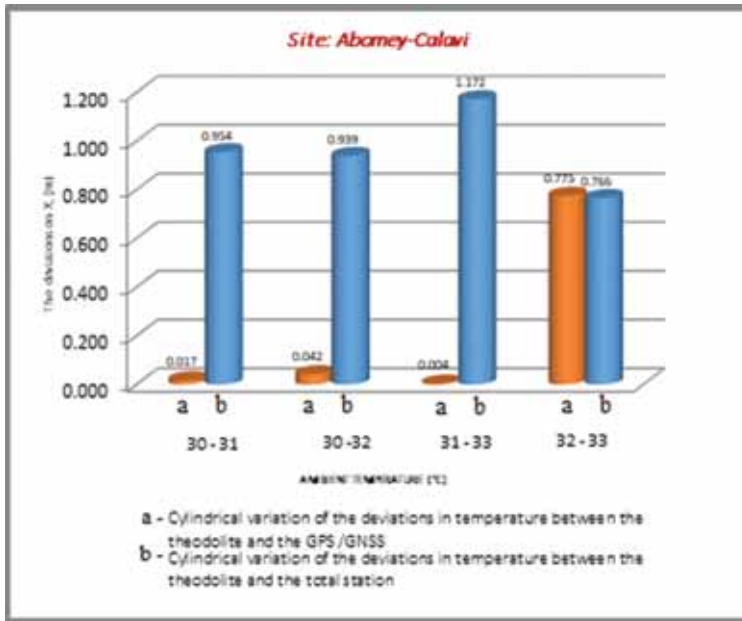


Figure 10. Variations of the mean of the deviations of the tests on X according to the temperature

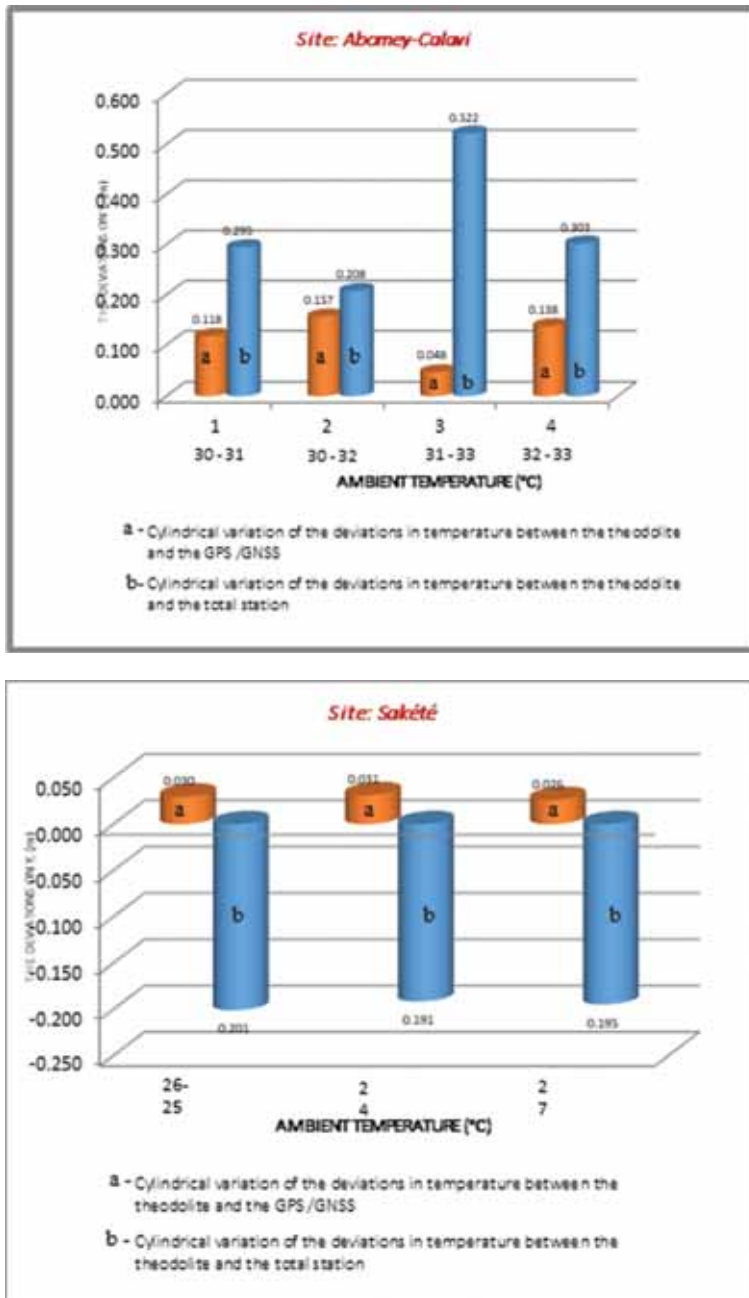


Figure 11. Variations of the mean of the deviation of the tests on Y according to the temperature

The figure 10 on one hand and 11 on the other hand present on X and Y of the deviations of the various tests on the GNSS receiver and the total station according to the temperature compared to the results obtained with the theodolite. Thus, under the same temperature conditions, the difference obtained with the coordinates resulting from the total station is much greater than the one observed with the coordinates generated by the GNSS receiver. This means that the measurements made with the total station under the HV

lines are less accurate than those obtained with the GNSS receiver because the electromagnetic waves considerably influence the total station. Then for large-scale works requiring a limited time of execution, the GNSS receiver could be used at a temperature below 27 °C. In addition, the more we set stations with the electronic tachometer, the greater the gap is.

It is therefore clear that the electromagnetic waves of high-voltage power lines affect the accuracy of measurements made with topographical devices such as the GNSS receiver and the total station. Then the most suitable device for work under the high voltage lines is the optical-mechanical theodolite because it does not produce an electromagnetic field that could interfere with the one of the cables in such a way that the deviation on the measurements carried out with it is minimal. Of course, GNSS can be used by choosing the suitable moment.

Conclusion

The advent of modern devices brings more precision and speed in the execution of topographical works [5]. However, the use of these electronic devices is conditioned by the environment. This is the result of given study on the influence of electromagnetic waves of high-voltage cables on topographical devices. Thus, the use of devices such as GNSS receivers and the electronic tachometer in an environment where electromagnetic waves are important should be discouraged for precision work. In case of exceptional circumstances, the GNSS receiver can be used at times when the ambient temperature is less than 27 °C to lessen this influence and to reduce the resulting errors.

References

- [1] Degbegnon L. History of the topography in Benin: the outsets of the topography and its realizations in Dahomey (1850 to 1955). *Structural mechanics of engineering constructions and buildings*, 2014, (1), 78–84.
- [2] Henry J.B. *Course of Topography and General Topometry. Chapter 3*. School and Observatory of Earth Sciences of the University Louis Pasteur of Strasbourg.
- [3] Durand S. *Improving accuracy of real-time differential localization by phase measurement of GNSS systems: detailed study of observation equations and the problem of solving ambiguities*. Doctoral Thesis of the Observatory of Paris in gravitational systems dynamics. 2003, 249.
- [4] Milles S., Lagofun J. *Topographie et Topométrie modernes. Vol. 1. Measurement and Representation Techniques*. EYROLLES Publ., 1999, 540.
- [5] Brabant M. *Maîtriser la Topographie: Des observations au plan*. Second edition. EYROLLES, 2003, 542.

© Degbegnon L., De Souza M.C.J., 2018



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

Article history:

Received: August 02, 2018

Revised: October 28, 2018

Accepted: November 20, 2018

For citation:

Degbegnon L., De Souza M.C.J. (2018). Modern topographic devices and electromagnetic waves: impact on accuracy of measurements. *RUDN Journal of Engineering Researches*, 19(4), 524–536. DOI 10.22363/2312-8143-2018-19-4-524-536

Bio Notes:

Léopold Degbegnon — Doctor-Engineer in Geodesy, Department of Civil Engineering of Abomey-Calavi Polytechnic, Abomey-Calavi University, Benin. *Research interests*: electromagnetic waves, satellite positioning. *Contact information*: e-mail: leopolddegbegnon@yahoo.fr

Médard C.J. De Souza — Geometer Engineer, Department of Civil Engineering of Abomey-Calavi Polytechnic, Abomey-Calavi University, Benin. *Research interests*: electromagnetic waves, satellite positioning. *Contact information*: e-mail: meldjulio@gmail.com

Научная статья

Влияние электромагнитных волн на точность измерений современных топографических устройств

Л. Дегбегнон, М.С.Ж. Де Соуза

Университет Абомей-Калави, Бенин
01 BP 526 Cotonou, Bénin

Точные топографические работы выполняются посредством таких классических инструментов, как высокоточный уровень, угломер и дальномер. С их помощью можно получить результаты с точностью до ± 2 мм при измерении высот (альтиметрии) и до ± 5 при измерении площадей (планиметрии). Но этот способ является затратным с точки зрения финансов, времени и количества персонала. Сегодня система спутниковой навигации ГНСС совместно с усовершенствованными моделями электронных тахиметров может решить проблему устранения пробелов при измерении территорий стандартными методами. Тем не менее и данные методы не являются совершенными, имея сбои в работе при использовании под высоковольтными сетями. Изучение влияния электромагнитных волн высоковольтных линий на топографические устройства позволяет проводить наблюдения при помощи спутникового приемника (GNSS-приемник) и электростанции, общей станции (total station) или при помощи оптико-механического теодолита с целью интерпретации и анализа качества данных, полученных на земле в зонах Мария Глета (Maria Gléta) муниципалитета Абомей-Калави (Abomey-Calavi) и Арароми (Araromi) муниципалитета Сакете (Sakété). В результате можно определить степень влияния высоковольтных кабелей на качество выполняемых в топометрии измерений. При проведении измерений GNSS-приемником и общей станцией (total station) важно учитывать, что активность электромагнитных волн зависит от изменения температур.

Ключевые слова: GNSS-приемник, электромагнитные волны, спутниковая навигация

Список литературы

- [1] *Degbegnon L.* History of the topography in Benin: the outsets of the topography and its realizations in Dahomey (1850 to 1955) // *Строительная механика инженерных конструкций и сооружений.* 2014. № 1. С. 78—84.
- [2] *Henry J.B.* Course of Topography and General Topometry. Chapter 3. School and Observatory of Earth Sciences of the University Louis Pasteur of Strasbourg.
- [3] *Durand S.* Improving accuracy of real-time differential localization by phase measurement of GNSS systems: detailed study of observation equations and the problem of solving ambiguities. Doctoral Thesis of the Observatory of Paris in gravitational systems dynamics. 2003. 249 p.
- [4] *Milles S., Lagofun J.* Topographie et Topométrie modernes. Vol. 1. Measurement and Representation Techniques). EYROLLES Publ., 1999. 540 p.
- [5] *Brabant M.* Maîtriser la Topographie: Des observations au plan. Second edition. EYROLLES Publ., 2003. 542 p.

История статьи:

Дата поступления в редакцию: 02 августа 2018

Дата поступления доработанного текста: 28 октября 2018

Дата принятия к печати: 20 ноября 2018

Для цитирования:

Degbegnon L., De Souza M.C.J. Modern topographic devices and electromagnetic waves: impact on accuracy of measurements (Влияние электромагнитных волн на точность измерений современных топографических устройств) // *Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Инженерные исследования.* 2018. Т. 19. № 4. С. 524—536. DOI 10.22363/2312-8143-2018-19-4-524-536

Сведения об авторах:

Дегбенон Леопольд — кандидат технических наук, профессор кафедры гражданского строительства, Университет Абомей-Калави (Бенин). *Область научных интересов:* электромагнитные волны, спутниковая навигация. *Контактная информация:* e-mail: leopolddegbeignon@yahoo.fr

Де Суза Медард С.Ж. — инженер-геодезист кафедры гражданского строительства, Университет Абомей-Калави (Бенин). *Область научных интересов:* электромагнитные волны, спутниковая навигация. *Контактная информация:* e-mail: meldjulio@gmail.com



Scientific article

DOI 10.22363/2312-8143-2018-19-4-537-551

UDC 552.08+552.12

Mineral composition, textures and gold habit of the Hamama mineralizations (Central Eastern Desert of Egypt)

Abdelhalim S. Mahmoud^{1,2}, Viktor V. Dyakonov¹,
Maher I. Dawoud³, Alexander E. Kotelnikov⁴

¹ Sergo Ordzhonikidze Russian State Geological Prospecting University (MGRI-RSGPU)
23 Miklukho-Maklaya St., Moscow, 117997, Russian Federation

² Fayoum University
Fayoum City, 63514, Egypt

³ Minufiya University

Gamal Abdel Nasser St., Shebin El Koum, 32511, Egypt

⁴ Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University)
6 Miklukho-Maklaya St., Moscow, 117198, Russian Federation

Abstract. Mineralization in the Hamama area exists mainly as quartz-carbonate veins, extending along the contact between the footwall volcanics (basalt, dacite, and rhyolite) and the hanging wall volcanoclastics (laminated, massive and lapilli tuffs with minor breccia). Also, mineralization was recorded as low mineralized cavity filling dolomitic veins occupying NW-SE faults in the basalt. The principal mineralization is represented by a mineral association — quartz + dolomite + calcite + pyrite + chalcopyrite + sphalerite with varying amounts of barite, cinnabar, and galena. It is suggested that these carbonates are post-tectonic low-temperature hydrothermal solution (exhalations) filling fault zones. The injected mineralized carbonate solution dissolved the silicate minerals along contacts. This fault system was caused by the group of porphyritic rhyolite dykes extending NE-SW. The carbonates then were subjected to diagenetic processes after their formation resulted in the formation of some secondary sedimentary textures (for example spherulitic, colloform and cockade textures) and dolomitization. The mineralized carbonates are rich in Zn, Cu, and occasionally Pb and Sb. The cavity filling dolomitic veins within basalt show low concentration of ore minerals. The pyrite was crystallized in four phases; the first phase is well-developed pyrite that was formed from the primary hydrothermal solution. The role of bacterial action is obvious in the formation of a second phase framboidal pyrite. The third phase represented by atoll structures formed by diagenetic reworking of the framboidal pyrite. The last phase of pyrite crystallization appears as fine skeletal grains mostly attached to sericite alteration of altered volcanics. The gold and silver are concentrated mainly in the upper iron cap. Secondary supergene enrichment of gold in the oxidation zone, especially in Hamama western zone, is indicated by the reprecipitation of gold as thin filaments or rounded nano-grains along cracks of the oxidized pyrite or at the periphery of the pyrite relicts.

Keywords: Hamama, quartz-carbonate veins, hydrothermal, framboids, supergene enrichment

Introduction

The basement complex of the Central Eastern Desert of Egypt shows strong NW-SE structural trend expressed in steeply dipping ductile-brittle shear zones and dissected by

ENE deep-seated faults [1–3]. These shear zones are host to numerous types mineralizations. Hamama is an obvious example for these fault-related mineralizations. A particular exploration challenge of the Hamama district is that it is largely affected by folding, thrusting and a later post-tectonic brittle evolution.

Although the Hamama area is considered one of the prospective areas of gold mineralizations in Egypt, however, it is little studied. The first systematic geological studies were carried out in 1977 by a team of the Egyptian Geological Survey with experts from the USSR [4]. They classified the gold-bearing ore bodies into quartz and carbonate veins and zones of hydrothermally altered rocks. Stern and Gwinn [5] through isotopic analyses explained the origin of the intrusive carbonates of the Central Eastern Desert and Sudan as a mix of recombined sedimentary carbonates and mantle fluids. Abd El-Rahman [6] argue that Hamama Zn–Cu–Ag–Au volcanic massive sulphides (VMS) that was formed through a limited rifting of an intra-oceanic island arc, the low-temperature nature of the hydrothermal system and these deposits were affected by supergene processes, which led to the widespread occurrence of secondary copper minerals and gold enrichment relative to the leached base metals, especially Zn.

The exploration team from the Geological Survey Authority [4] recommended in his report to perform additional study for the deep ore interval. Consequently, in the late 1980s, Minex Minerals Egypt drilled about 40 holes but drilling cores were not reserved. Then in 2011, Alexander Nubia commenced primary exploration drilling on the prospect, showed the existence of strong magnetic anomalies below the gossan zones. In 2015, the company name was changed to Aton Resources Inc. and still working in the site. We summarized the results of mining works in the area from the published releases in the following points:

- Hamama mineralized horizon is divided into three main zones — Hamama West, Hamama Central and Hamama East;
- the Western VMS zone is main VMS horizon traced on surface over 3,000 m but extensions along the same stratigraphic horizon extend this to about 4.5 km;
- the Western VMS zone is steeply dipping and overturned;
- Hamama West encountered as excellent gold-silver mineralization of both the near surface Gold-Oxide Cap (the highest grade gold results found on the concession) and the deeper sulphide mineralization to host a significant resource;
- drilling at Hamama intersected high-grade semi-massive and massive volcanogenic sulphide mineralization (deep trench 68 meters in the Western VMS zone gave grading 3.07 g/t gold and 38.1 g/t silver), this contains a broad zone of VMS gossan with high-grade gold and silver (an oxidized “gold cap”) above a primary zinc-gold-silver-rich exhalite horizon, and an extensive mineralized footwall stringer and breccia zone;
- the Gold Cap extends 650 meters along strike and averages 43.8 meters wide grading 2.05 g/t gold and 44.7 g/t silver;
- VMS presents as a carbonate gossan, up to 20 m thick over the northeastern portion and to the southwest it is seen at surface as an iron-rich gossan, up to a few meters thick;
- size and width of exhalite zone indicative of a large VMS system.

Geological setting

Hamama area is located in the central part of the Eastern Desert of Egypt, its area is determined by the coordinates 26° 19'–26° 23' N and 33° 17'–33° 23' E (figure 1). The stratigraphic section of the ore interval and its bounding units comprises from youngest to oldest (figure 1): (1) quartz-carbonate veins (youngest), (2) post-tectonic dykes, (3) post-tectonic monzogranite, (4) post-tectonic gabbro, (5) syntectonic granitoids, (6) felsic volcanics, (7) volcanoclastic rocks, (8) porphyritic ferruginous basalt, (9) basalt with pillow lava (oldest). Mineralization in the Hamama area belongs to the quartz-carbonate-vein type deposit in greenstone rocks (figure 2, a, b). This type is commonly found in deformed greenstone belts of all ages, especially with tholeiitic basalts [7]. Each rock type will be discussed briefly in the following.

Volcanogenic facies. Volcanics and their related tuffs represent the main rock units which occupy the largest area, not only in this region but also in the Central Eastern Desert. This facies is called the greenstone belt and extends NW-SE. It consists of five types of rocks: 1 – basalt with pillow lava; 2 – porphyritic ferruginous basalt; 3 – acidic and intermediate volcanics, predominantly rhyolite, with few dacite and andesite; 4 – acidic and medium lamellar, lapilli and massive tuffs, intercalated with banded iron formation (BIF); 5 – volcanic breccia.

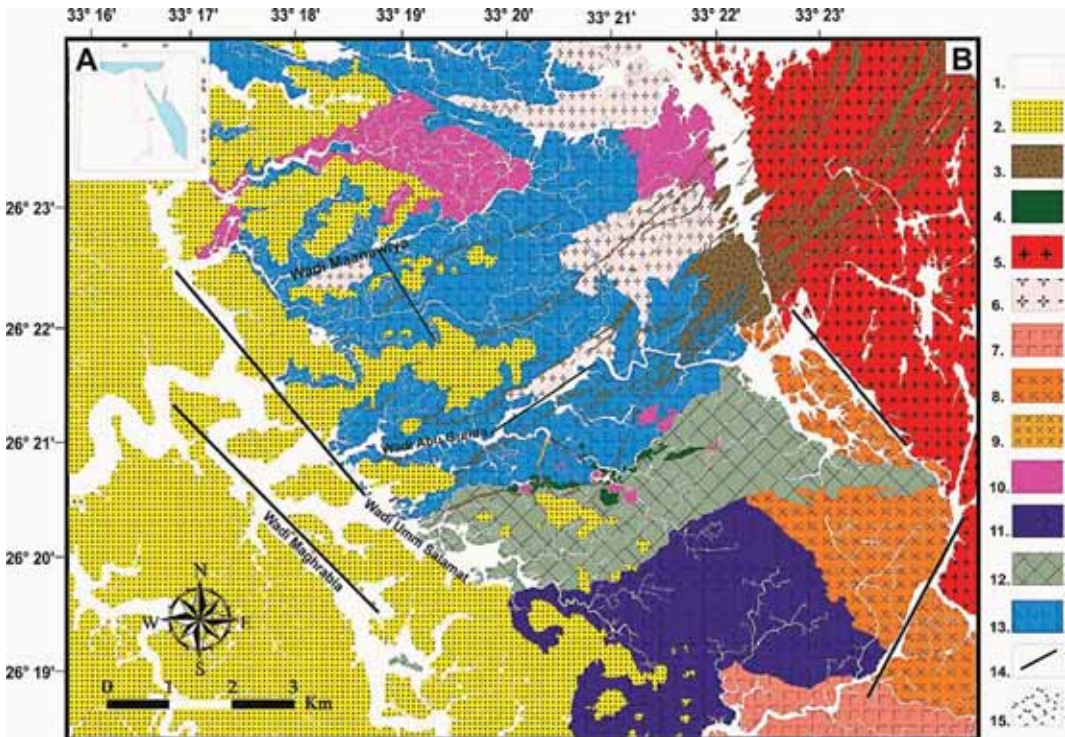


Figure 1. A – location map, B – geological map of the Hamama area, CED, Egypt:
 1 – wadi deposits; 2 – sandstone; 3 – rhyolite dykes; 4 – quartz-carbonate ore; 5 – monzogranite;
 6 – tonalite – trondhjemite; 7 – gabbro; 8 – granodiorite; 9 – quartz diorite;
 10 – acidic and intermediate volcanic; 11 – porphyritic ferruginous basalt; 12 – tuffs with banded iron formation;
 13 – basalt with pillow lava; 14 – fault; 15 – alteration Zone

Granitoids. It is divided into two types: 1 — syntectonic granitoids (older granites), it consist of three different types of granitic rocks: granodiorite pluton, tonalite-trondjemite pluton and small dyke-like quartz diorite pluton; 2 — post-tectonic monzogranite pluton with an ellipsoidal shape, its axis shows a NW-SE direction.

Gabbro. Large post-tectonic (younger gabbro) gabbro pluton occupies the southeastern part of the region and extends further.

Post-tectonic dykes. Two groups of dykes were recognized in the Hamama area; the majority belongs to the first group (felsic dykes), which corresponds to the composition of rhyolite and dacite, and the second group (mafic dykes) includes basalt, basaltic andesite and andesite. The first type forms a swarm of rhyolite dykes with an orthophilic structure. It originates from the monzogranite pluton and extends up to 15 km in the south-west direction in a radiation pattern, cutting all the above-mentioned rocks, including granitoids and a green stone belt. It is suggested that, this swarm of dykes was introduced in the post-collision, destructive boundary of slabs during stretching periods.

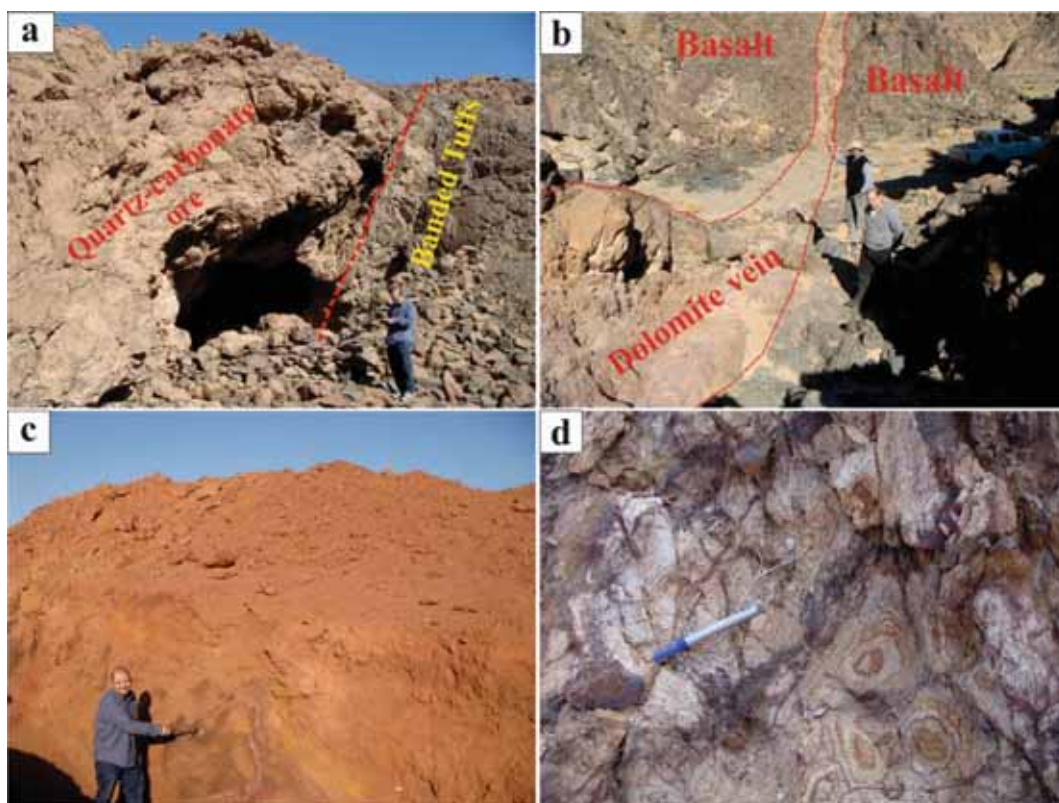


Figure 2. Different types of mineralization in Hamama area:

a — quartz carbonate body at the contact with tuffs; b — cavity filling dolomitic veins in basalt; c — upper oxidation zone (gossan); d — foot wall alteration zones in felsic volcanics

Fault-related mineralizations. Occur basically as mineralized quartz-carbonate body fills fault zone between the basalt and tuffs (figure 2, a), within basalts (figure 2, b), and appear as thick iron cap (gossan) on the upper section (figure 2, c).

Nubian sandstone. Completely cover the western part of the area with small bodies, cover the green stone belt. It has a major unconformity with underlying volcanics.

Ore mineralogy and fabrics

Ore petrographic and EDX analyses observations recorded in this paper were made on representative surface samples and diamond drill cores samples collected in the Hamama area. The ore interval was classified vertically into three parts as following.

Fresh ore under the oxidation zone

Sphalerite and pyrite represent the main metallic ore minerals in drill cores (figure 3). Mineralogically, the Hamama sulphide ores can be classified under two distinct sulphide assemblages: (1) pyrite-rich ores (pyrite + chalcopyrite + pyrohotite + covellite + arsenopyrite + galena) (figure 3, *a–f*) and (2) sphalerite-rich ores (sphalerite + galena + chalcopyrite + pyrite) (figure 3, *g–i*). The finally mentioned is recorded mainly in the samples from deep drill holes (> 50 m). The sulphides in the two assemblages show intimate intergrowth with quartz (figure 4, *b, f, h*). Galena and chalcopyrite is often found in the form of inclusions or replacement of sphalerite and pyrite or deposited on their outer rims (figure 3, *h*).

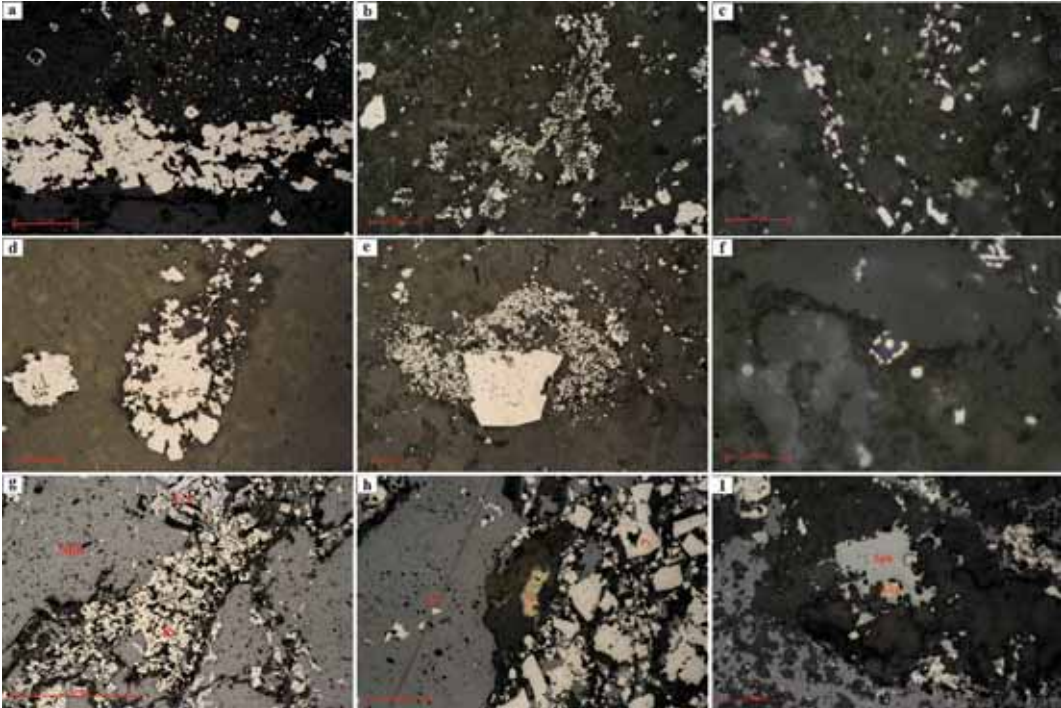


Figure 3. Photomicrographs of microfabrics in reflected light:

a — primary banding shown by alternating compositional layers of pyrite and carbonates; *b* — dendritic pyrite clusters within carbonates; *c* — fine skeletal grains of pyrite; *d* — atoll structure of recrystallized pyrite forming around a grain of spongy-textured pyrite; *e* — fine skeletal grains of pyrite corroding well-crystallized pyrite; *f* — atoll structure in fine skeletal chalcopyrite; *g* — ineral association of sphalerite, pyrite and galena; *h* — Rim of covellite around chalcopyrite (atoll-like) with pyrite-sphalerite (*right*) and sphalerite-pyrite (*left*) intergrowths; *i* — sphalerite replaced by chalcopyrite to form a metasomatic reaction edge texture

The sphalerite-rich ores comprise medium to coarse, irregular patches, often hosts varying concentrations of pyrite, galena and chalcopyrite (figure 3, *g, h*). Pyrohotite and

rutile (figure 4, *a, d*) are also found sporadically. Cinnabar intimately intergrown with native silver and tellurium, occur as fine inclusions in the pyrite, sphalerite and quartz (figure 4, *c*). Chalcopyrite occasionally form replacement rims around sphalerite (figure 3, *i*). Also, may act as filler between pyrite cubes and framboids (figure 4, *h*).

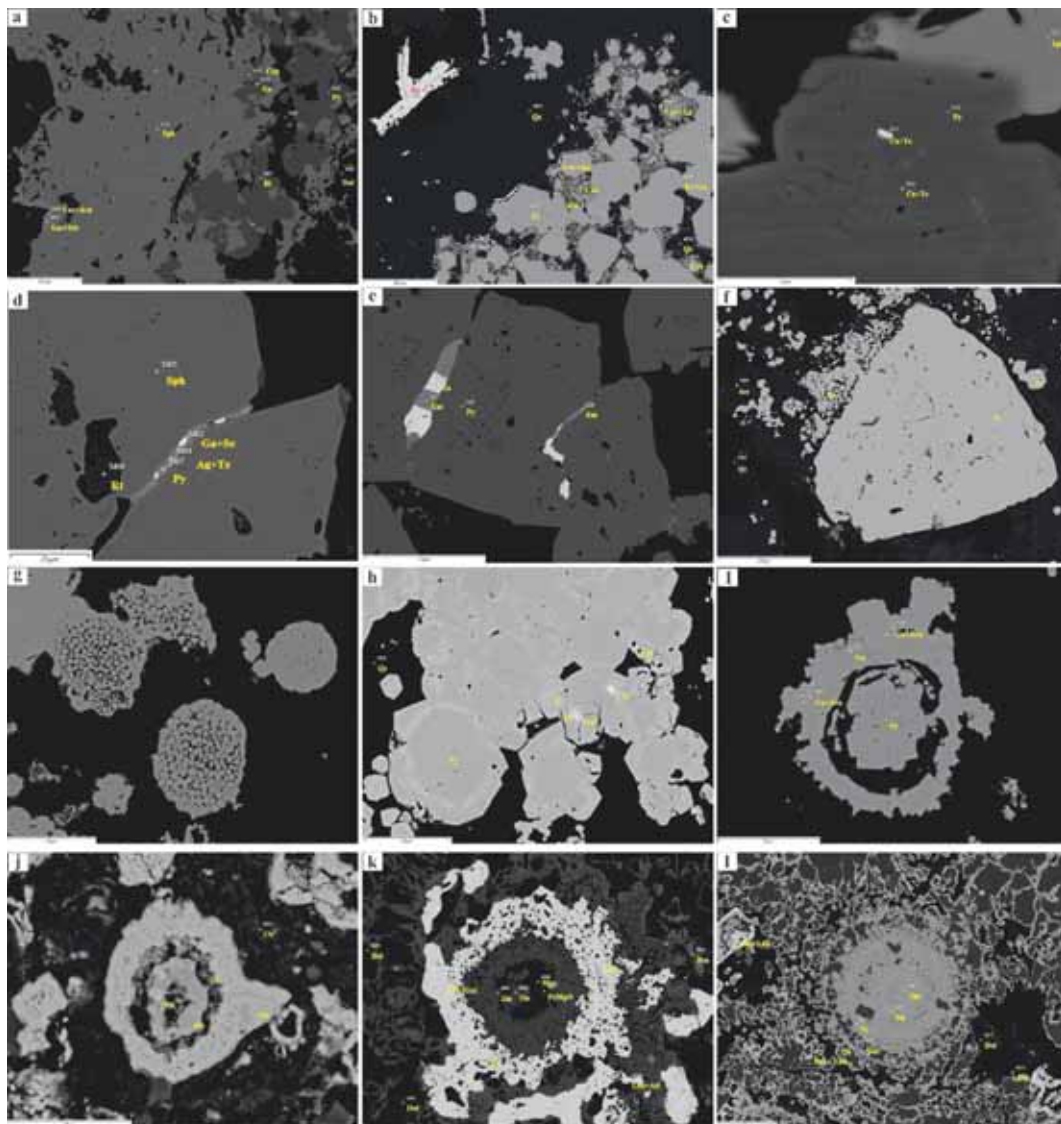


Figure 4. Backscattered electron micrographs of mineral associations and textures:

a — sphalerite porphyroblast in dolomite hosting inclusion of rutile, pyrite, chalcopyrite, and galena, and outer coating of acanthite (Ag₂S), stibnite (Sb₂S₃) and enargite (Cu₃AsS₄); *b* — silver coatings on well-crystallized pyrite and flake of barite; *c* — fine inclusion of Te-rich cinnabar in pyrite; *d* — precipitation of galena, pyrite and Ag at the boundary between sphalerite grains, note the inclusion of rutile in sphalerite; *e* — galena and enargite crystallized at the boundaries between pyrite grains; *f* — fine and coarse generations of pyrite, note the fine skeletal grains are restricted to feldspar; *g* — pyrite framboids welded with chalcopyrite; *h* — pyrite framboids with different degrees of compactness; *i* — framboidal Py-I, overgrown by atoll-like Py-II; *j* — spherulite with successive layers of clay minerals and hematite; *k* — spherulite with core of dolomite followed by zincite (ZnO) then litharge (PbO) and outer rim of hematite and dolomite; *l* — spherulite with a large core of zincite and successive layers of dolomite and zincite

Accessory amounts of rutile and covellite are disseminated within pyrite. Covellite forms as replacement rim and fillings in chalcopyrite (figure 3, *h*). Pyrite-dominated ores exhibit well developed bands with carbonate in places (figure 3, *a*), comprising medium to coarse idiomorphic pyrite aggregates interlayered with minor sphalerite, magnetite and galena.

Non-metallic minerals consist mainly of quartz, dolomite (the main carbonate mineral) and calcite with little amounts of K-feldspar, clay minerals and barite (figure 5). In most of the core samples carbonates exist in the form of veins of calcite and dolomite that cut the silicate groundmass (figure 5, *h, i*) and the older carbonate matrix. In many thin polished sections, were observed dissolution of silicates (quartz and tuffs) by later carbonates solution (figure 5, *f*). Also, hydrothermal solution forms a reaction rim with carbonates and silicates in cavities (figure 5, *e*).

Four pyrite generations are texturally associated with the quartz-carbonate mixture, arranged from oldest to youngest as following.

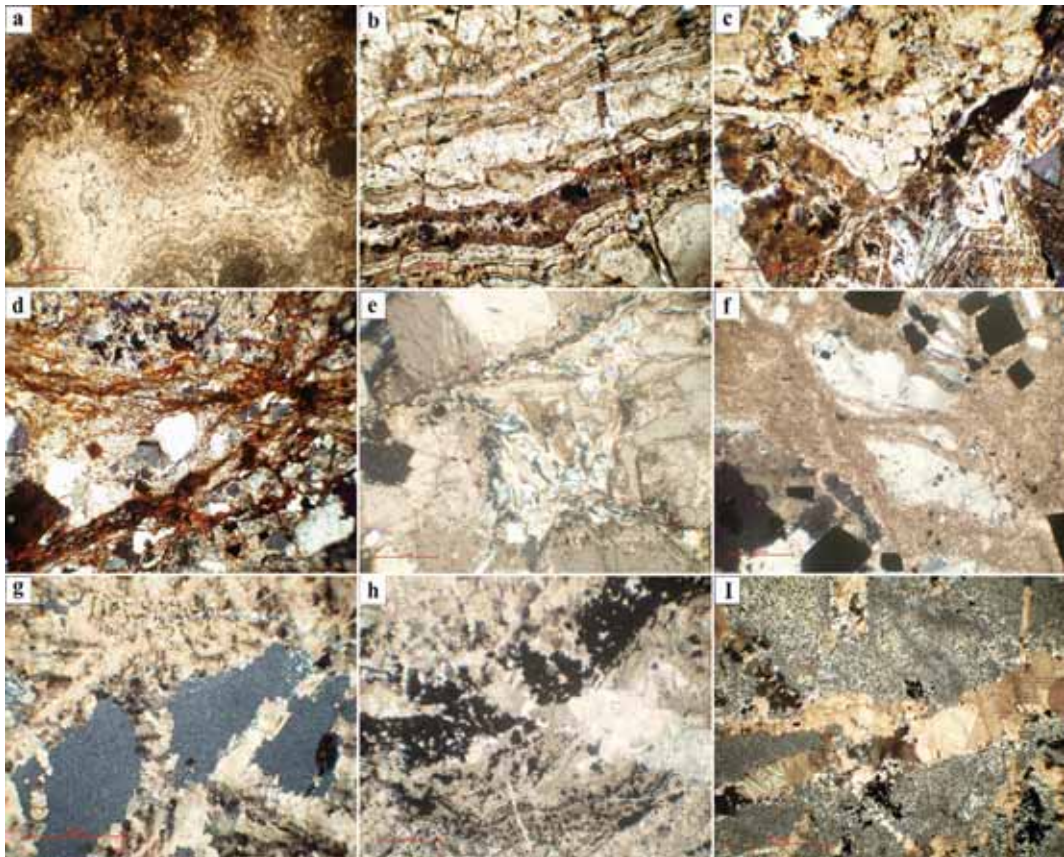


Figure 5. Photomicrographs in transmitted light:

a — dolomitic spherulites with oxidized sulphide lamella and quartz in cores; *b* — colloform texture formed by bands of carbonates, clay minerals and iron oxides; *c* — dolomite rhombs with colloform bands; *d* — veins of hydrothermal solution going between quartz and carbonates; *e* — reaction rim of hydrothermal solution with calcite in basalt; *f* — dissolution of quartz by carbonate solution; *g* — carbonate filling interspaces between amorphous silica; *h* — secondary calcite vein cutting a pyrite vein and the dolomitic ground mass; *i* — a set of calcite veins cutting a mat of fine quartz grains

Coarse well-developed pyrite (Py-I)

This phase was formed early from a low temperature hydrothermal solution so they are mostly cracked along cleavage planes. They are found as pyrite porphyroblasts, up to 500 mm, commonly retain their idiomorphic shape (figure 3, *e*; 5, *f*). Occasionally, they host fine to medium blebs of the matrix sulphides, mostly galena and sphalerite.

Framboidal pyrite (Py-II)

It is a distinctive phase (figure 4, *g*, *h*), with individual framboids range in diameter 5–50 Micron (mostly >20 Micron) while composite framboid exceeds 200 Micron. The individual framboid is composed of micro-sized pyrite cubes. The framboidal pyrites show different nucleation density where the weak dense framboid is filled by later diagenetic pyrite and chalcopyrite cementation between crystallites (figure 4, *h*). Framboidal pyrite is abundant in many polished sections especially in pyrite-rich assemblage. It contains fine impurities of galena, acanthite, stibnite, chalcopyrite, Te and native silver. Commonly, framboidal pyrite indicates bacterial origin in reducing environments passing through various iron–sulfur compounds [8–16]. Donald and Southam [17] report FeS precipitating upon bacterial cell walls, and Pósfai et al. [18] show it forming within cells of normal sized bacteria. It is proposed that pyrite framboids precipitate rapidly in aqueous solutions, when the precursors to pyrite formation, iron monosulphides, become supersaturated, i.e. sulphide production less than iron supply [15; 19]. Generally, framboidal pyrites have low gold contents but the bacterial action mechanism may play a role in deposition of gold nanoparticles [20].

Atoll structures of pyrite (Py-III)

Pyrite atoll structures are thin rings of pyrite or chalcopyrite around a coarse nucleus of gangue minerals mainly carbonates and quartz (figure 3, *d*, *f*; 4, *i*). Atoll pyrite is largely associated with carbonates than quartz which indicate that their formation was associated with the injection of the carbonate solution. England and Ostwald [21] proposed that the atoll structures are derived from framboidal pyrite, through diagenetic transformation of framboidal. Atolls host fine impurities of galena and acanthite (figure 4, *i*).

Fine skeletal pyrite (Py-IV)

This latest generation of pyrite (figure 3, *c*, *e*; 4, *f*) is restricted mainly to sericite alteration product of feldspars which indicate that they were formed during the alteration stage. The solution forming the fine skeletal pyrites corroded the euhedral primary pyrites forming corrosion vacancies in its rim (figure 3, *f*). Some of these fine idiomorphic pyrite grains exhibit zoned growth.

Weakly oxidized ore

The ore body on the surface was exposed to weathering with different degrees resulting in the destruction of the original textures and minerals of the primary ore. Because pyrite is more resistant to weathering, it left some relicts with oxidized rim of hematite (figure 6, *a*).

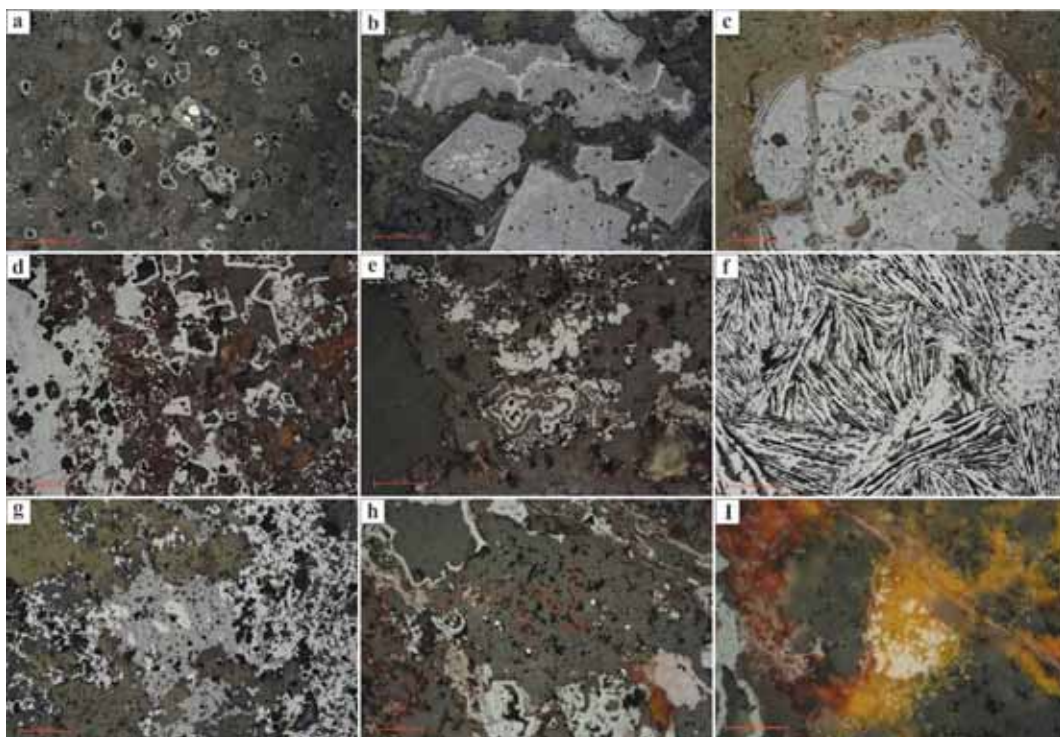


Figure 6. Photomicrographs in reflected light:

a — oxidized sulphides with relict of pyrite with a rim of hematite reserving pyrite cubic shape; *b* — colloform texture formed by bands of goethite and hematite and euhedral cubes of oxidized pyrite; *c* — zoned iron oxides and hydroxides due to long term infiltration of fluid along the fracture of pyrites; *d* — intensively oxidized ore forming with outer rims of oxidized pyrite in a mixture of iron oxides, clay minerals and carbonates; *e* — oxidized framboidal pyrite and some of them surrounded by colloform hematite; *f* — specular hematite; *g* — intergrowth of hematite and goethite in quartz carbonate matrix; *h* — fine pyrite relicts in oxidized sulphides; *i* — pyrite mixed with hematite, limonite and goethite

The carbonates with their ore minerals were subjected to diagenetic processes after their formation resulted in the formation of some secondary sedimentary textures. The most prominent diagenetic textures include spherulitic (figure 4, *l*; 5, *a*), colloform (figure 5, *b*; 6, *b*) and cockade textures (figure 4, *g*, *k*). Also, almost calcite was converted into dolomite by dolomitization. Coarse (up to 20 mm) zoned dolomite rhombs were observed (figure 5, *c*) in the core of dolomitic veins in basalt (figure 2, *b*).

Pyrite was oxidized into iron oxides and hydroxides as hematite, goethite and limonite with preserving its original cubic shape (figure 6, *a*, *b*, *c*, *d*). Sphalerite converted into zinc oxides, hydroxides and metal salts that are hard to identify microscopically. A prominent feature of this type is the presence of excellent colloidal masses of rhythmically layered to concentric structure. Some are composed of carbonates (dolomite) and oxidized pyrite (hematite) and outer rim of litharge (figure 4, *k*) while other spheroids consist of alternative shells of oxidized sphalerite (zincite) with dolomite and a center consisting of gangue material (figure 4, *l*). It is proposed that these structures were formed by relatively rapid crystallization of a low temperature sulfide gel (colloidal dispersion). Another distinctive feature was observed where the oxidized euhedral pyrite cubes were opened after oxidation and filled with single and composite spheroidal bacterial units. Barite is a common accessory phase especially in the partially oxidized ore. Often it contains

inclusions of acanthite. The abundance of barite fragments within these samples makes the identification of precious metal grains extremely difficult due to their similar electronic reflectivity. There are strong relation between the abundance of silver and barite.

Intensively oxidized ore (gossans) and gold habit

Although gold was detected by ICP-MS analysis with considerable amounts in massive sulphide ore, no obvious gold grains were observed in the studied sections from drill holes. The main reason is that gold is distributed and combined in the lattice of the pyrite and other sulphide minerals as micron size inclusions. As shown in the geochemical map (figure 7, *f*), there are nano-particles of gold distributed all over the scanned area of the oxidized pyrite grain. These nano-particles were trapped along fractures (figure 7, *c*), between oxidation zones (figure 7, *b*), and cavities (figure 7, *f*) or precipitated along the boundary between relict cores of pyrite and the oxidation rim (figure 7, *d, e*).

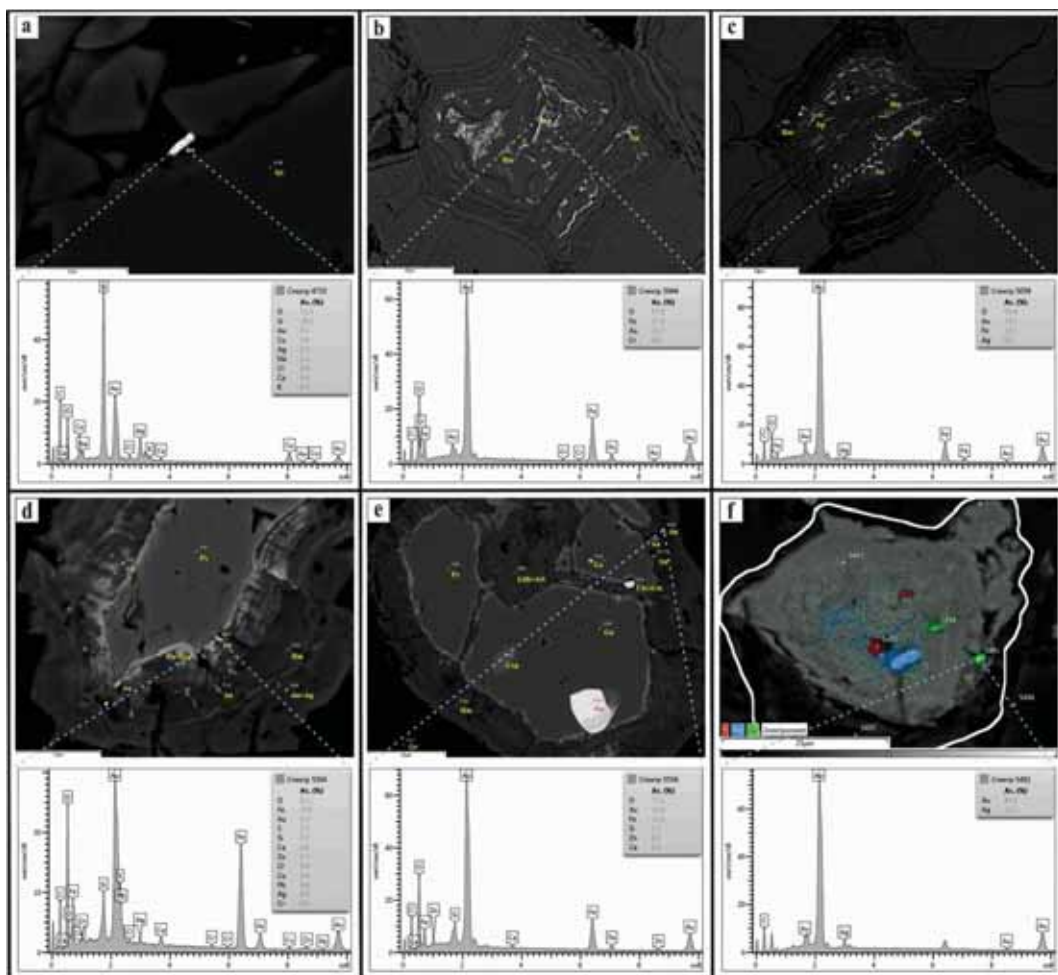


Figure 7. Backscattered electron micrographs and EDX analyses for gold in the oxidation zone:
a — gold flake between quartz grains; *b, c* — thin filaments of gold in cracks and oxidation layers’;
d, e — fine grains of gold along the boundary between pyrite relict core and oxidation layers; *f* — geochemical distribution of elements Au, Hg and S in oxidized pyrite

The significant feature of the iron cap is that it contains abundant gold grains and flakes. Gold is related to the oxidized pyrite or fine goethite layers forming rich clusters seem to be rich in Au and Ag. Native gold appear as thin filaments (0.5 μm width and up to 25 μm length) or very fine rounded grains; their grain size ranges from 2 to 10 μm . They always appear in voids between layers or intergrowth between two successive layers (figure 7, *b*). Gold grains found in samples composed of a fine goethite matrix appear related to shrinkage cracks, mixed with barite grains (figure 2). EDX analyses don't show the real composition of gold grains due to its small sizes; hence the given spectrum is disturbed by adjacent mineral composition. Common impurities in gold such as Ag, Cu, and Zn appear only in trace amounts.

All primary ore minerals are altered except few fine relicts of pyrite and chalcopyrite. All metals are mobilized in primary sulphide minerals and redistributed in another forms at different depths. For example, copper minerals precipitate at the reactive redox boundary between massive sulphides ore and downward penetrate fluids producing significant supergene enrichment “blanket” zone. The enrichment zone is overlain by an intensely altered and leached Fe oxide-rich gossans (the remains of the original massive sulfide). The overall mineral assemblage of the oxidization zone can be described as a hematite-limonite-goethite-quartz assemblage bearing Au—Ag with abundant barite as gangue mineral. Abundance of hematite compared with goethite and limonite is variable but generally hematite is much more than goethite and limonite. Clay minerals occur in between layers of botryoidal aggregates.

Botryoidal aggregates of successive layers of hematite and often clay minerals developed over cores of gangue minerals and infilling voids (figure 4, *g*). The outer rim of these aggregates is always hematite probably due to dehydration (aging) from goethitic phases [22].

Alteration zones and quartz veins

Footwall volcanics were affected by different types of alteration. They include sericitization, silicification, and ferrugination. The original silicate minerals completely altered to a mixture of clay mineral, talc and chlorite and stained with iron oxide solution (figure 5, *d*). Acidic and intermediate volcanics were more acceptable to hydrothermal alteration that appears as replacement of primary igneous glass and minerals with alteration minerals stable at the conditions of alteration, generally in low temperate range characteristic of this type (150–400 °C). It is worth to mention that the altered felsic volcanics contain considerable amounts of monazite, zircon and rutile. The percolation of hydrothermal solutions between grains left a set of veins and channels filled with iron oxides, sericite and carbonates. The alteration minerals recorded include fine mica, clay minerals, quartz, chlorite, serpentine, carbonates, talc, kaolinite, pyrite and iron oxides. Weak alteration of some of the minerals or ground mass in the volcanic host rocks, produce an earthy aspect to the overall rock. Alteration of the glassy ground mass or fine grains is particularly susceptible producing massively silicified matrix with chlorite and sericite. At high alteration intensity, rocks may be pervasively altered, in which virtually all primary phases in the rock are altered to new hydrothermal minerals.

Infrequently volcanics contain porous quartz barite veins with specular hematite (specularite) formed by hot solutions. The specularite is primary in origin and the veins containing it represent genetically the last phase of volcanic activity.

Conclusions

Hamama mineralization found as quartz-carbonate veins hosted in the contact of bimodal volcanic sequence and its tuffs.

The carbonates were injected as a late hydrothermal solution into the NW-SE fault zones in basalts and in their contact with volcanoclastic succession.

Carbonates with their ore lode were subjected to diagenetic processes expressed by colloform, cockade, and spherulitic textures.

Multiple generations of pyrite have been documented in both the deep sulphide ore from drill-holes and surface exposed ore. They are primary well crystallized pyrite, framboidal pyrite formed by bacterial action in reducing environment, atoll structures by reworking of framboids, and fine skeletal pyrite related to later sericite alteration of volcanic rocks.

Intensive alteration of the ore body by the supergene fluids redistributed gold and base metals in the iron cap zone significant supergene enrichment zone with Zn, Cu, Ag, Au, and Hg. In the primary ore gold is incorporated to the crystal lattice of sulphide minerals which represent a big challenge for its extraction.

Acknowledgements

We would like to express our deepest sincere gratitude to Mr. Javier Orduña, Exploration Manager, “Aton Resources” and all the staff of Hamama camp for providing accommodation and drill core samples during the course of the field trip. Also grateful to the laboratories of Saint Petersburg University, especially Dr. Mohamed Ghoneim for his kind and gentle treatment and some facilities throughout the sem work. The authors also wish to express their thanks to Prof. Vladimir Alexandrovich Utenkov, Head of the Mineralogy and Petrography Laboratory, Russian State Geological Prospecting University for his valuable help.

References

- [1] Bennett J., Mosley P. Tiered-tectonics and evolution, Eastern Desert and Sinai, Egypt. *Colloquium on African geology*, 1987, 14, 79–82.
- [2] Garson M.S., Krs M. Geophysical and geological evidence of the relationship of Red Sea transverse tectonics to ancient fractures. *Geological Society of America Bulletin*, 1976, 87(2), 169–181.
- [3] Greiling R., Kröner A., El-Ramly M., Rashwan A. *Structural relationships between the southern and central parts of the Eastern Desert of Egypt: details of a fold and thrust belt. The Pan-African Belt of Northeast Africa and Adjacent Areas*. 1988, 121–146.
- [4] Abdel Nabi A., Aboul Wafa N., El Hawaary M., Sabet A. Results of prospecting for gold and rare metals in Wadis Safaga, El Barrud, El Marah and Hamama. *Internal Report of the Geological Survey of Egypt*, 1977, 24.
- [5] Stern R.J., Gwinn C.J. Origin of late Precambrian intrusive carbonates, Eastern Desert of Egypt and Sudan: C, O and Sr isotopic evidence. *Precambrian Research*, 1990, 46(3), 259–272.
- [6] Abd El-Rahman Y., Surour A.A., El-Manawi A.H.W., El-DougDoug A.-M.A., Omar S. Regional setting and characteristics of the Neoproterozoic Wadi Hamama Zn–Cu–Ag–Au prospect: evidence for an intra-oceanic island arc-hosted volcanogenic hydrothermal system. *International Journal of Earth Sciences*, 2015, 104(3), 625–644.

- [7] Dubé B., Gosselin P. Greenstone-hosted quartz-carbonate vein deposits. *Mineral Deposits of Canada: a synthesis of major deposit-types, district metallogeny, the evolution of geological provinces, and exploration methods*. Geological Association of Canada, Mineral Deposits Division, Special Publication, 2007, 5, 49–73.
- [8] Folk R.L. Nannobacteria and the formation of framboidal pyrite: textural evidence. *Journal of Earth System Science*, 2005, 114(3), 369–374.
- [9] Garcia-Guinea J., Martinez-Frias J., Gonzalez-Martin R., Zamora L. Framboidal pyrites in antique books. *Nature*, 1997, 388(6643), 631.
- [10] Love L. Early diagenetic iron sulphide in recent sediments of the Wash (England). *Sedimentology*, 1967, 9(4), 327–352.
- [11] Love L.G. Micro-organisms and the presence of syngenetic pyrite. *Quarterly Journal of the Geological Society*, 1957, 113(1–4), 429–440.
- [12] Love L.G. Biogenic primary sulfide of the Permian Kupferschiefer and Marl Slate. *Economic Geology*, 1962, 57(3), 350–366.
- [13] Love L.G., Al-Kaisy A.T., Brockley H. Mineral and organic material in matrices and coatings of framboidal pyrite from Pennsylvanian sediments, England. *Journal of Sedimentary Research*, 1984, 54(3).
- [14] Love L.G., Murray J. Biogenic pyrite in recent sediments of Christchurch Harbour, England. *American Journal of Science*, 1963, 261(5), 433–448.
- [15] Raiswell R. Pyrite texture, isotopic composition and the availability of iron. *American Journal of Science*, 1982, 282(8), 1244–1263.
- [16] Suits N.S., Wilkin R.T. Pyrite formation in the water column and sediments of a meromictic lake. *Geology*, 1998, 26(12), 1099–1102.
- [17] Donald R., Southam G. Low temperature anaerobic bacterial diagenesis of ferrous monosulfide to pyrite. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1999, 63(13), 2019–2023.
- [18] Pósfai M., Buseck P.R., Bazylinski D.A., Frankel R.B. Reaction sequence of iron sulfide minerals in bacteria and their use as biomarkers. *Science*, 1998, 280(5365), 880–883.
- [19] Passier H.F., Middelburg J.J., de Lange G.J., Böttcher M.E. Pyrite contents, microtextures, and sulfur isotopes in relation to formation of the youngest eastern Mediterranean sapropel. *Geology*, 1997, 25(6), 519–522.
- [20] Konishi Y., Tsukiyama T., Tachimim T., Saitoh N., Nomura T., Nagamine S. Microbial deposition of gold nanoparticles by the metal-reducing bacterium *Shewanella* algae. *Electrochimica Acta*, 2007, 53(1), 186–192.
- [21] England B., Ostwald J. Framboid-derived structures in some Tasman fold belt base-metal sulphide deposits, New South Wales, Australia. *Ore Geology Reviews*, 1993, 7(5), 381–412.
- [22] Capitán A., Nieto J.M., Sáez R., Almodóvar R. Caracterización textural y mineralógica del gossan de Filón Sur (Tharsis, Huelva). *Boletín de la Sociedad Española de Mineralogía*, 2003, (26), 45–58.

© Mahmoud A.S., Dyakonov V.V., Dawoud M.I., Kotelnikov A.E., 2018



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

Article history:

Received: September 05, 2018

Revised: October 27, 2018

Accepted: November 02, 2018

For citation:

Mahmoud A.S., Dyakonov V.V., Dawoud M.I., Kotelnikov A.E. (2018). Mineral composition, textures and gold habit of the Hamama mineralizations (Central Eastern Desert of Egypt). *RUDN Journal of Engineering Researches*, 19(4), 537–551. DOI 10.22363/2312-8143-2018-19-4-537-551

Bio Notes:

Abdelhalim S. Mahmoud — PhD student, Sergo Ordzhonikidze Russian State Geological Prospecting University (MGRI-RSGPU). Teaching assistant, Geology Department, Faculty of Science, Fayoum University. *Research interests:* mineralogy, petrology, geochemistry, and ore deposits. *Contact information:* e-mail: halim.geologist@mail.ru

Viktor V. Dyakonov — Doctor of Science in Geology, Professor, Head of Department of the general geology and geomapping, Sergo Ordzhonikidze Russian State Geological Prospecting University. *Research interests:* geology, mineral deposits, mineral exploration. *Contact information:* e-mail: mdf.rudn@mail.ru

Maher I. Dawoud — Professor, Professor of Mineralogy, Petrology, Geochemistry and Ore Deposits, Geology Department, Faculty of Science, Minufiya University. *Research interests:* mineralogy, petrology, and ore deposits. *Contact information:* e-mail: Dawoud_99@yahoo.com

Alexander E. Kotelnikov — PhD in Geology, Assistant Professor, Department of Mineral Developing and Oil & Gas Engineering, Engineering Academy, Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University). *Research interests:* geology, mineral deposits, mineral exploration, search of deposits. *Contact information:* e-mail: kotelnikov-ae@rudn.ru

Научная статья

**Минеральный состав, текстура и формы
золотой минерализации Хамама
(центральная часть Восточной пустыни Египта)**

А.Ш. Махмуд^{1,2}, В.В. Дьяконов¹, М.И. Давуд³, А.Е. Котельников⁴

¹ Российский государственный геологоразведочный университет им. С. Орджоникидзе
Российская Федерация, 117997, Москва, ул. Миклухо-Маклая, 23

² Университет Фаюма
Египет, 63514, Аль-Фаюм

³ Университет Менуфии
Египет, 32511, Аль-Минуфье

⁴ Российский университет дружбы народов
Российская Федерация, 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, 6

Минерализация в районе Хамама (Намата) представлена преимущественно в виде кварц-карбонатных жил, простирающихся вдоль контакта между лежачим боком вулканогенных пород (базальты, дациты и риолиты) и висячим блоком вулканогенно-осадочных пород (слоистые, массивные и лапиллиевые туфы с небольшим количеством брекчий). Также минерализация отмечена в виде слабо минерализованных доломитовых жил, заполняющих трещины северо-западного — южно-восточного простирания в базальтах. Основную минерализацию можно описать через минеральную ассоциацию — кварц + доломит + кальцит + пирит + халькопирит + сфалерит с различным количеством барита, киновари и галенита. Предположительно, эти карбонатные породы образовались из посттектонических низкотемпературных

гидротермальных растворов (эманации газа из магмы), заполняющих зоны разломов. Привносимые минерализованные карбонатные растворы преобразовали кремнистые породы вдоль контакта. Система разломов сформировалась за счет внедрения риолит-порфировых даек северо-восточного простирания. Карбонатные породы подверглись дигенетическим процессам, что привело к появлению некоторых вторичных осадочных текстур (например, сферолитовой, колломорфной и кокардовой) и доломитизации. Минерализованные карбонатные породы обогащены цинком, медью и реже свинцом и сурьмой. Доломитовые жилы, заполняющие трещины, обладают низким содержанием рудных минералов. Кристаллизация пирита — четырехфазная. Первая фаза — хорошо раскристаллизованный пирит, появившийся из первичного гидротермального раствора. Жизнедеятельность бактерий обусловила формирование второй фазы — фрамбоидного пирита. Третья фаза (с кольцеобразной структурой) образовалась за счет диагенетической перестройки фрамбоидного пирита. Последняя фаза кристаллизации пирита проявляется в виде тонкого скелетного зерна, главным образом прикрепленного к серицитизации измененных вулканических пород. Золото и серебро сконцентрированы в основном в верхней части «железной шляпы». Вторичное гипергенное обогащение золота в зоне окисления, особенно в западной зоне Хамама (Hamama), представлено переотложенным золотом в виде тонких нитеобразных или округлых нанозерен, расположенных вдоль трещин окисленного пирита или по периферии реликтов пирита.

Ключевые слова: Хамама, кварц-карбонатные жилы, гидротермальный, фрамбоиды, гипергенное обогащение

Список литературы

- [1] *Bennett J., Mosley P.* Tiered-tectonics and evolution, Eastern Desert and Sinai, Egypt // Colloquium on african geology. 1987. No. 14. Pp. 79–82.
- [2] *Garson M.S., Krs M.* Geophysical and geological evidence of the relationship of Red Sea transverse tectonics to ancient fractures // Geological Society of America Bulletin. 1976. Vol. 87. No. 2. Pp. 169–181.
- [3] *Greiling R., Kröner A., El-Ramly M., Rashwan A.* Structural relationships between the southern and central parts of the Eastern Desert of Egypt: details of a fold and thrust belt. The Pan-African Belt of Northeast Africa and Adjacent Areas. 1988. Pp. 121–146.
- [4] *Abdel Nabi A., Aboul Wafa N., El Hawaary M., Sabet A.* Results of prospecting for gold and rare metals in Wadis Safaga, El Barrud, El Marah and Hamama // Internal Report of the Geological Survey of Egypt. 1977. Vol. 24.
- [5] *Stern R.J., Gwinn C.J.* Origin of late Precambrian intrusive carbonates, Eastern Desert of Egypt and Sudan: C, O and Sr isotopic evidence // Precambrian Research. 1990. Vol. 46. No. 3. Pp. 259–272.
- [6] *Abd El-Rahman Y., Surour A.A., El-Manawi A.H.W., El-DougDoug A.-M.A., Omar S.* Regional setting and characteristics of the Neoproterozoic Wadi Hamama Zn–Cu–Ag–Au prospect: evidence for an intra-oceanic island arc-hosted volcanogenic hydrothermal system // International Journal of Earth Sciences. 2015. Vol. 104. No. 3. Pp. 625–644.
- [7] *Dubé B., Gosselin P.* Greenstone-hosted quartz-carbonate vein deposits. Mineral Deposits of Canada: a synthesis of major deposit-types, district metallogeny, the evolution of geological provinces, and exploration methods // Geological Association of Canada, Mineral Deposits Division, Special Publication. 2007. No. 5. Pp. 49–73.
- [8] *Folk R.L.* Nannobacteria and the formation of framboidal pyrite: Textural evidence // Journal of Earth System Science. 2005. Vol. 114. No. 3. Pp. 369–374.
- [9] *Garcia-Guinea J., Martinez-Frias J., Gonzalez-Martin R., Zamora L.* Framboidal pyrites in antique books. *Nature*. 1997. Vol. 388. No. 6643. P. 631.
- [10] *Love L.* Early diagenetic iron sulphide in recent sediments of the Wash (England) // Sedimentology. 1967. Vol. 9. No. 4. Pp. 327–352.
- [11] *Love L.G.* Micro-organisms and the presence of syngenetic pyrite // Quarterly Journal of the Geological Society. 1957. Vol. 113. No. 1–4. Pp. 429–440.

- [12] *Love L.G.* Biogenic primary sulfide of the Permian Kupferschiefer and Marl Slate // *Economic Geology.* 1962. Vol. 57. No. 3. Pp. 350—366.
- [13] *Love L.G., Al-Kaisy A.T., Brockley H.* Mineral and organic material in matrices and coatings of framboidal pyrite from Pennsylvanian sediments, England // *Journal of Sedimentary Research.* 1984. Vol. 54. No. 3.
- [14] *Love L.G., Murray J.* Biogenic pyrite in recent sediments of Christchurch Harbour, England // *American Journal of Science.* 1963. Vol. 261. No. 5. Pp. 433—448.
- [15] *Raiswell R.* Pyrite texture, isotopic composition and the availability of iron // *American Journal of Science.* 1982. Vol. 282. No. 8. Pp. 1244—1263.
- [16] *Suits N.S., Wilkin R.T.* Pyrite formation in the water column and sediments of a meromictic lake // *Geology.* 1998. Vol. 26. No. 12. Pp. 1099—1102.
- [17] *Donald R., Southam G.* Low temperature anaerobic bacterial diagenesis of ferrous monosulfide to pyrite // *Geochimica et Cosmochimica Acta.* 1999. Vol. 63. No. 13. Pp. 2019—2023.
- [18] *Pósfai M., Buseck P.R., Bazylinski D.A., Frankel R.B.* Reaction sequence of iron sulfide minerals in bacteria and their use as biomarkers // *Science.* 1998. Vol. 280. No. 5365. Pp. 880—883.
- [19] *Passier H.F., Middelburg J.J., de Lange G.J., Bottcher M.E.* Pyrite contents, microtextures, and sulfur isotopes in relation to formation of the youngest eastern Mediterranean sapropel // *Geology.* 1997. Vol. 25. No. 6. Pp. 519—522.
- [20] *Konishi Y., Tsukiyama T., Tachimim T., Saitoh N., Nomura T., Nagamine S.* Microbial deposition of gold nanoparticles by the metal-reducing bacterium *Shewanella algae* // *Electrochimica Acta.* 2007. Vol. 53. No. 1. Pp. 186—192.
- [21] *England B., Ostwald J.* Framboid-derived structures in some Tasman fold belt base-metal sulphide deposits, New South Wales, Australia // *Ore Geology Reviews.* 1993. Vol. 7. No. 5. Pp. 381—412.
- [22] *Capitán A., Nieto J.M., Sáez R., Almodóvar R.* Caracterización textural y mineralógica del gossan de Filón Sur (Tharsis, Huelva) // *Boletín de la Sociedad Española de Mineralogía.* 2003. No. 26. Pp. 45—58.

История статьи:

Дата поступления в редакцию: 05 сентября 2018

Дата поступления доработанного текста: 27 октября 2018

Дата принятия к печати: 02 ноября 2018

Для цитирования:

Mahmoud A.S., Dyakonov V.V., Dawoud M.I., Kotelnikov A.E. Mineral composition, textures and gold habit of the Hamama mineralizations (Central Eastern Desert of Egypt) (Минеральный состав, текстура и формы золотой минерализации Хамама (центральная часть Восточной пустыни Египта) // *Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Инженерные исследования.* 2018. Т. 19. № 4. С. 537—551. DOI 10.22363/2312-8143-2018-19-4-537-551

Сведения об авторах:

Махмуд Абделхалим — аспирант, Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе (МГРИ-РГГРУ). Ассистент кафедры геологии факультета естественных наук, Университет Фаюма (Египет). *Область научных интересов:* минералогия, петрология, геохимия, рудные месторождения. *Контактная информация:* e-mail: halim.geologist@mail.ru

Дьяконов Виктор Васильевич — доктор геолого-минералогических наук, профессор, заведующий кафедрой общей геологии и геокартирования, Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе (МГРИ-РГГРУ). *Область научных интересов:* геология, месторождения полезных ископаемых, поиски месторождений. *Контактная информация:* e-mail: mdv.rudn@mail.ru

Давуд Махер — профессор, профессор минералогии, петрологии и полезных ископаемых кафедры геологии факультета естественных наук, Университет Менуфии (Египет). *Область научных интересов*: минералогия, петрология, геохимия, полезные ископаемые. *Контактная информация*: e-mail: Dawoud_99@yahoo.com

Котельников Александр Евгеньевич — кандидат геолого-минералогических наук, доцент департамента недропользования и нефтегазового дела Инженерной академии, Российский университет дружбы народов (РУДН). *Область научных интересов*: геология, месторождения полезных ископаемых, поиски месторождений. *Контактная информация*: e-mail: kotelnikov-ae@rudn.ru

ф. СП-1

ФГУП «ПОЧТА РОССИИ»

АБОНЕМЕНТ на журнал

18230

(индекс издания)

ВЕСТНИК РУДН
Серия «Инженерные
исследования»

Количество
комплектов:

на 2019 год по месяцам

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

Куда

(почтовый индекс)

(адрес)

Кому

(фамилия, инициалы)

ДОСТАВОЧНАЯ КАРТОЧКА

2019

ПВ	место	литер

на журнал

18230

(индекс издания)

ВЕСТНИК РУДН

Серия «Инженерные исследования»

Стои- мость	подписки	_____ руб. ____ коп.	Количество комплектов:	
	переадресовки	_____ руб. ____ коп.		

на 2019 год по месяцам

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

Куда

(почтовый индекс)

(адрес)

Кому

(фамилия, инициалы)

Для заметок

ф. СП-1

ФГУП «ПОЧТА РОССИИ»

АБОНЕМЕНТ на журнал

--

(индекс издания)

ВЕСТНИК РУДН

Серия _____

Количество комплектов:

--

на 2019 год по месяцам

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

Куда

(почтовый индекс)

(адрес)

Кому

(фамилия, инициалы)

ДОСТАВОЧНАЯ КАРТОЧКА

на журнал

--

(индекс издания)

ПВ	место	литер

ВЕСТНИК РУДН

Серия _____

Стоимость	подписки	_____ руб. ____ коп.	Количество комплектов:	
	переадресовки	_____ руб. ____ коп.		

на 2019 год по месяцам

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

Куда

(почтовый индекс)

(адрес)

Кому

(фамилия, инициалы)