

ЗЕМЛЯ И

№ 6 (336)
НОЯБРЬ-ДЕКАБРЬ, 2020

космонавтика
астрономия
геофизика

ISSN 0044-3948

ВСЕЛЕННАЯ

Нам 55 лет!

ШКОЛА. ЛЕТО. КОСМОС

ФЕНОМЕН АТАНАСИУСА КИРХЕРА

ПРОСТЕЙШАЯ ФОТОННАЯ РАКЕТА

КОСМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЛЕСОВ
ЭМИССИЯ МЕТАНА
И ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА В АРКТИКЕ
СЛЕДЫ ДРЕВНИХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ
НА ВЕЛИКОМ ШЕЛКОВОМ ПУТИ

НАУЧНО-ПОПУЛЯРНЫЕ ЖУРНАЛЫ ТЕПЕРЬ ДОСТУПНЫ ВСЕМ



Уважаемые коллеги!

Открыта подписка для физических лиц
на номера 2021г. научно-популярных журналов
«Земля и Вселенная», «Природа»,
«Энергия: экономика, техника, экология»

Журнал «Земля и Вселенная»

Стоимость годового комплекта (6 номеров) 1560 руб.

Редакция журнала

Тел.: +7 (495) 276-77-35 (доб. 42-31)

E-mail: zevs@naukaran.com

Шубинский пер., д. 6, стр. 1

Журнал «Природа»

Стоимость годового комплекта (12 номеров) 3600 руб.

Редакция журнала

Тел.: +7 (495) 276-77-35 (доб. 41-71)

E-mail: priroda@naukaran.com

Шубинский пер., д. 6, стр. 1

Журнал «Энергия: экономика, техника, экология»

Стоимость годового комплекта (12 номеров) 3600 руб.

Редакция журнала

Тел.: +7 (495) 362-07-82

E-mail: energy@iht.mpei.ac.ru

ул. Красноказарменная, 17а

Журналы также можно приобрести в розницу в сети
магазинов «Академкнига» по следующим ценам:

«Земля и Вселенная» – 280 руб.

«Природа» – 320 руб.

«Энергия: экономика, техника, экология» – 320 руб.

реклама

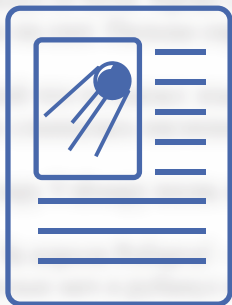


Издательство “Наука” оказывает услуги:

- СОЗДАНИЕ ОРИГИНАЛ-МАКЕТА
 - редактирование
 - вёрстка
 - изготовление рисунков
- ХУДОЖЕСТВЕННОЕ ОФОРМЛЕНИЕ
- ВСЁ КОМПЛЕКС ПОЛИГРАФИЧЕСКИХ УСЛУГ
- РАСПРОСТРАНЕНИЕ В РОЗНИЧНОЙ СЕТИ “АКАДЕМКНИГА”

Высокопрофессиональные специалисты “Науки”
готовы к сотрудничеству

naukapublishers.ru



НАУКА

www.libnauka.ru

*Добро пожаловать
в электронную библиотечную систему
Издательства «Наука»!*

Электронная библиотечная система Издательства «Наука» – это простой и удобный доступ к огромной коллекции статей и книг, входящих в портфолио «Науки»

Электронная библиотечная система это:

- научная, научно-популярная и классическая литература, от статей до монографий
- оперативное обновление новинок благодаря тесной интеграции с редакционно-издательской системой «Науки»
- разветвленный тематический каталог
- простая и эффективная система поиска
- интуитивная и простая система оформления заказа и подписок
- прозрачная система статистики
- надежность доступа и стабильность работы

Реклама

Присоединяйтесь к миру «Науки»!

ЗЕМЛЯ И

№6 (336)
НОЯБРЬ-ДЕКАБРЬ, 2020

ISSN 0044-3948

космонавтика
астрономия
геофизика

ВСЕЛЕННАЯ

Научно-популярный журнал
Российской академии наук
Издается под руководством
Президиума РАН
Выходит с января 1965 года
6 раз в год
«Наука»
Москва

В НОМЕРЕ:

Колонка главного редактора	3
БАРТАЛЁВ С.А., СТЫЦЕНКО Ф.В. Космические исследования лесов	5
ЛУКИНА Н.В. Глобальные вызовы, леса и дистанционное зондирование Земли	18
ЛОБКОВСКИЙ Л.И. Сейсмогенно-триггерная гипотеза усиления эмиссии метана и изменения климата в Арктике	27
КОРЖЕНКОВ А.М., АНАРБАЕВ А.А., УСМАНОВА М.Т., ЗАХИДОВ Т.К., МАКСУДОВ Ф.А., САИДОВ М.М., КУБАЕВ С.Ш., НАСРИДДИНОВ Ш.Н., РОДИНА С.Н., ВАРДАНЯН А.А. Сейсмические деформации в древнем поселении Кыркхуджра, расположенном на Великом Шелковом пути в Папском районе Узбекистана	37
Новости науки	
АНАНЬЕВА В.И. Второй «Лунный корабль» продолжает полет	60
Образование	
ХОХЛОВ А.В. Школа. Лето. Космос	64
ШУБИН П.С. Летняя космическая школа – 2020	69
ГОЛОВАНОВА А.В., МАГАРЯН К.А., НАУМОВ А.В. Викторина юных физиков Отделения физических наук РАН. Часть 2. Задачи	72
Люди науки	
ИОГАНСОН Л.И. Феномен Атанасиуса Кирхера (1602–1680)	75
Гипотезы, дискуссии, предложения	
АЛЕКСАНДРОВ Е.Б. Фотонная ракета: фантазии физическая реальность	89
Любительская астрономия	
СОЛОМОНОВ Ю.В. «Небесная Франция»	94
Литературный космос	
АРБИТМАН Р.Э. Прогрессор Стругацкий – в настоящем и будущем	96
In Memoriam	
Михаил Игоревич Панасюк (14.08.1945–03.11.2020)	98
Образование	
Викторина юных физиков Отделения физических наук РАН. Часть 2. Решения	99
Указатель статей и заметок, опубликованных в 2020 году	106
Table of Content and Selected Abstracts	109

На стр. 1 обложки:

Арктика из космоса. Мозаика изображений, полученных по данным спектрометра MODIS на борту спутника *Terra* (NASA) с 12 сентября по 12 ноября 2020 г. с помощью сервиса *Worldview* (NASA) <https://worldview.earthdata.nasa.gov/>

Earth&Universe: Astronomy, Geophysics, Cosmonautics
Bimonthly popular scientific magazine of the Russian Academy of Sciences & NAUKA Publishing.
Founded 1965.

Published by NAUKA Publishing, Profsoyuznaya Str., 90, 117997, Moscow, Russia.

Редакционная коллегия:

главный редактор
академик Л.М. ЗЕЛЁНЫЙ,
летчик-космонавт
П.В. ВИНОГРАДОВ,
зам. главного редактора
кандидат филолог. наук
О.В. ЗАКУТНЯЯ,
доктор исторических наук
К.В. ИВАНОВ,
летчик-космонавт
А.Ю. КАЛЕРИ,
зам. главного редактора
академик В.М. КОТЛЯКОВ,
кандидат физ.-мат. наук
О.Ю. ЛАВРОВА,
доктор физ.-мат. наук
А.А. ЛУТОВИНОВ,
зам. главного редактора
доктор физ.-мат. наук
О.Ю. МАЛКОВ,
доктор физ.-мат. наук
И.Г. МИТРОФАНОВ,
академик И.И. МОХОВ,
член-корр. РАН
И.Д. НОВИКОВ,
доктор физ.-мат. наук
С.П. ПЕРОВ,
доктор физ.-мат. наук
К.А. ПОСТНОВ,
доктор физ.-мат. наук
М.В. РОДКИН,
научный директор
Московского планетария
Ф.Б. РУБЛЁВА,
член-корр. РАН
А.Л. СОБИСЕВИЧ,
член-корр. РАН
В.А. СОЛОВЬЁВ,
академик
А.М. ЧЕРЕПАЩУК,
доктор физ.-мат. наук
В.В. ШЕВЧЕНКО,
член-корр. РАН
Б.М. ШУСТОВ

Editorial Board:

Editor-in-chief
Acad. Dr. Lev M. ZELENYI
Acad. Dr. Anatoly M. CHEREPASCHUK
Dr. Konstantin V. IVANOV
Pilot-cosmonaut Alexander Yu. KALERI
Deputy Editor-in-chief
Acad. Dr. Vladimir M. KOTLYAKOV
Dr. Olga Yu. LAVROVA
Dr. Alexander A. LUTOVINOV
Deputy Editor-in-chief
Dr. Oleg Yu. MALKOV
Dr. Igor G. MITROFANOV
Acad. Dr. Igor I. MOKHOV
RAS Corr. Member Dr. Igor D. NOVIKOV
Dr. Stanislav P. PEROV
Dr. Konstantin A. POSTNOV
Dr. Mikhail V. RODKIN
Faina B. RUBLEVA
Dr. Vladislav V. SHEVCHENKO
RAS Corr. Member Dr. Boris M. SHUSTOV
RAS Corr. Member Dr. Alexey L. SOBISEVICH
RAS Corr. Member Dr. Vladimir A. SOLOVYEV
Pilot-cosmonaut Pavel V. VINOGRADOV
Deputy Editor-in-chief
Dr. Olga V. ZAKUTNYAYA

Колонка главного редактора

Дорогие читатели, коллеги, друзья!

«Земля в иллюминаторе, Земля в иллюминаторе...» Все, наверное, помнят эту изрядно поднадоевшую песню группы «Земляне» (Роскосмос почему-то считает невозможным обойтись без нее на каждом праздновании Дня космонавтики 12 апреля). Надо признаться, что из двух частей названия нашего журнала «Земля и Вселенная» мы традиционно уделяем основное внимание Вселенной: космологии, космогонии, астрофизике, физике Солнца, космическим проектам. Лежащий перед вами номер журнала, завершающий этот год, частично исправляет этот дисбаланс – основные статьи номера посвящены Земле, ее изучению с помощью космических и не только космических средств (а нашу планету во многих отношениях мы знаем хуже, чем далекий Марс).

В центре обсуждения – две статьи о «русском лесе» С.А. Барталёва и Ф.В. Стыщенко (ИКИ РАН) и Н.В. Лукиной (ЦЭПЛ РАН). Российские леса вместе с лесами Амазонки справедливо называют «легкими» планеты. Сейчас перед исследователями стоят вполне конкретные и нетривиальные задачи – понять, как можно количественно измерить ценность наших лесов и вклад, который они вносят в углеродный баланс Земли. Решить их без космических технологий невозможно.

Одной из научных сенсаций 2020 года стали результаты морских экспедиций на Восточно-Сибирском океаническом шельфе. Прямые *in situ* наблюдения метановых выбросов показали, каким хрупким является климатическое равновесие и как неустойчивы могут стать процессы, ведущие к изменению климата. В статье академика Л.И. Лобковского (ИО РАН) предложена оригинальная сейсмогенно-триггерная модель этих явлений.

Наконец, завершает «проблемную часть» журнала масштабная статья группы соавторов из России и Узбекистана, которая знакомит читателя с местом, отдаленным во времени и про-



странстве, – поселением Кыркхуджра, стоявшим на маршруте Великого Шелкового пути. Как показали комплексные исследования археологов и сейсмологов, многие века здесь процветала цивилизация, однако из-за землетрясений люди оставили это место. Подобные работы открывают перед нами многие исторические подробности и одновременно помогают оценить опасность такого рода природных бедствий сегодня.

Кстати, о природных бедствиях. Немалое влияние если не на Землю в целом, то на нашу жизнь на Земле в этом году оказал коронавирус. Так получилось, что эту редакторскую колонку я пишу, находясь на коронавирусном карантине, что кроме многих очевидных неудобств дает и определенные интересные возможности. В это же время в середине ноября в ИКИ РАН открылась традиционная, уже восемнадцатая, Всероссийская открытая конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса».

В предыдущие годы – хотя обычно я всегда кратко выступал на открытии конференции с приветственным словом участникам, – времени всерьез участвовать в заседаниях, как правило, не находилось. В этот раз «самоизоляция» помогла – я услышал множество чрезвычайно интересных докладов. Думаю, в следующем году читатели журнала будут иметь возможность прочитать ста-

ты о тех работах и результатах, о которых говорили на этой конференции.

Дистанционное зондирование Земли (ДЗЗ) с помощью различных космических средств уже стало мощным инструментом для решения самых различных практических задач и организации многих полезных и все более востребуемых сервисов. Мы вступаем в эпоху работы с очень большими данными, которые ежедневно поставляют многочисленные спутники ДЗЗ, и уже сейчас можем использовать их для лучшего понимания нашей планеты. Об этом, в частности, говорилось в докладах НИЦ «Планета» Росгидромета, которые описывали возможности комплексного анализа гидрометеорологической обстановки, а также ИКИ РАН. В ИКИ в последние десятилетия было создано множество тематических продуктов – информационных систем, позволяющих строить постоянно обновляющиеся карты лесов России, оценивать состояние сельскохозяйственных посевов, вести мониторинг лесных пожаров и их последствий. Более 100 научно-исследовательских институтов и вузов уже активно пользуются предлагаемыми возможностями центров коллективного пользования, созданных в этих (и других) организациях.

Цифровая трансформация общества, к которой нас все чаще усиленно призывает руководство страны, на мой взгляд, уже нашла видимое воплощение именно в этой области. Надо полагать – если не случится глобальной катастрофы – что в ближайшем будущем наши возможности станут еще больше. Мы, безусловно, постараемся держать Вас в курсе новых прорывных работ в этой области, хотя уговорить активно работающих ученых написать даже краткую популярную статью о своей работе – задача непростая, требующая от сотрудников журнала и настойчивости и дипломатичности (в нашей редакции лучше всего это, пожалуй, получается у С.А. Герасютина, самого многоопытного редактора). И, конечно, мы очень признательны нашим авторам, совершенно бескорыстно рассказывающим нам об увлекательных результатах своих научных поисков.

Одним из замечательных популяризаторов науки и постоянным автором «ЗиВ» был Михаил Игоревич Панасюк. Многие читатели наверняка знают не только его статьи и выступления, но и прекрасные научно-популярные книги, посвященные его любимой теме – космическим лучам. К сожалению, в начале ноября мы узнали, что Михаил Игоревич ушел из жизни. Новость трагическая и для большинства из нас совершенно неожиданная. М.И. Панасюк, многолетний директор Научно-исследовательского института ядерной физики им. Д.В. Скобельцына МГУ им. М.В. Ломоносова, яркий и очень талантливый ученый и человек. Для меня это еще и личная потеря – я много работал с Михаилом Игоревичем и дружил с ним.

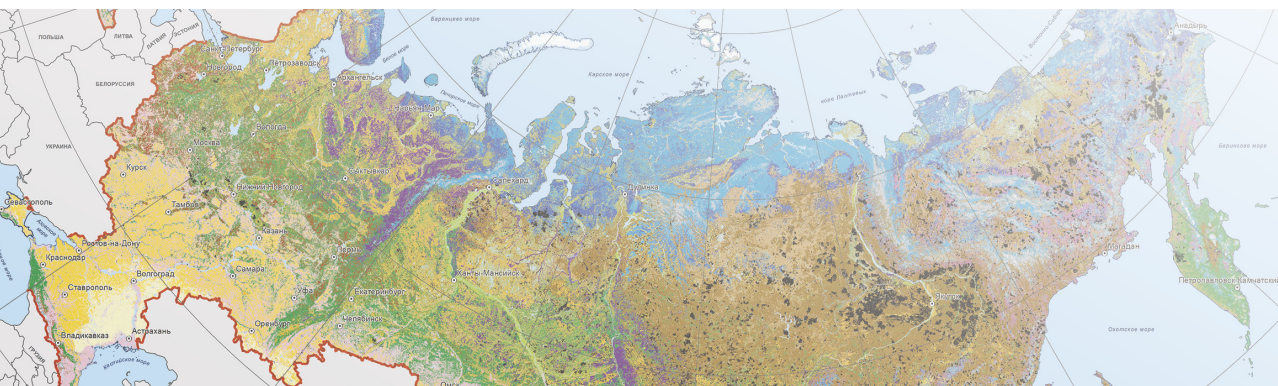
Однако, заключая эту колонку, я все же хочу поздравить читателей с наступающим Новым годом. Пусть этот, уже почти прошедший, високосный 2020 год со всеми своими напастями и горестями останется позади, а новый – порадует нас встречами с друзьями и коллегами уже в реальном, а не виртуальном пространстве. Ведь, вспоминая слова человека, который одним из первых увидел Землю как одно целое, – Антуана де Сент-Экзюпери, «ничего нет в мире драгоценнее уз, соединяющих человека с человеком»* – и имел он тогда в виду вовсе не Интернет.

*Главный редактор журнала
«Земля и Вселенная»
академик Лев Матвеевич Зелёный*

* А. де Сент-Экзюпери «Планета людей», пер. Н. Галь

От редакции: во время работы над номером пришли печальные известия о том, что из жизни ушли замечательные ученые академик **Э.М. Галимов** (20.07.1936–23.11.2020) и академик **В.Е. Фортгов** (23.01.1946–29.11.2020). Выражаем глубокие соболезнования родным и близким.

КОСМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЛЕСОВ



БАРТАЛЁВ Сергей Александрович,

доктор технических наук

СТЫЦЕНКО Федор Викторович,

кандидат технических наук

Институт космических исследований РАН

DOI: 10.7868/50044394820060018

Леса – наиболее распространенный тип наземных экосистем планеты. Занимая около 1/3 поверхности суши Земли, они синтезируют почти 2/3 массы ее органических веществ, являются важнейшим регулятором глобальных биохимических и биофизических процессов, включая циклы углерода и воды, поддерживают кислородный и энергетический баланс. Каково же состояние лесов планеты? Сколько их и где они произрастают, каковы их породный состав и продуктивность, как быстро они меняются и в какой мере способны сейчас – и смогут ли в будущем – выполнять свои функции регулятора климата и круговорота воды, среды обитания многочисленных растений и животных, фактора здоровья людей, наконец, источника древесных ресурсов? Каков масштаб влияния антропогенных (т. е. порожденных человеком) факторов на лесной покров Земли и ведут ли они к его деградации?

Многими из перечисленных выше вопросов сегодня задаются не только лесоводы и географы, правительственные и международные структуры, природоохранные организации, но и крупный бизнес. Так, согласно оценке экспертов Boston Consulting Group¹, стоимость лесов нашей страны

составляет как минимум 4 трлн долларов и превосходит стоимость всей российской нефти. При этом основная часть этой стоимости приходится не на древесные ресурсы, а на выполнение лесами функций аккумуляции углерода и регулирования меняющегося климата. С учетом справедливого стереотипа восприятия России как крупнейшей лесной державы, эти оценки могут породить ожидания существенных экономических выгод для

¹ <https://www.bcg.com/publications/2020/the-staggering-value-of-forests-and-how-to-save-them>

нашей страны в свете перспектив введения трансграничного углеродного налога, активно обсуждаемого правительствами стран и экспертами на различных международных «площадках», в том числе действующих под эгидой Организации Объединенных наций.

Этот вопрос в России находится в фокусе внимания первых лиц страны, Совета Федерации, а также крупного бизнеса, выступающего под эгидой Российского союза промышленников и предпринимателей. Тем не менее пока еще не удалось прийти к консенсусу о реальной способности лесов страны поглощать парниковые газы и аккумулировать в себе атмосферный углерод.

Одна из основных причин неопределенности состоит в том, что официальные оценки способности российских лесов поглощать парниковые газы носят весьма дискуссионный характер, так как получены на основе данных, которые не вызывают доверия. Дело в том, что лишь для 15% площади лесов России имеется относительно актуальная, т. е. собранная в последние 10 лет, информация, в то время как в среднем по стране давность последней актуализации такой информации приближается к 25 годам. По мнению одного из авторитетных отечественных ученых-лесоводов профессора А.З. Швиденко (Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН), последний относительно надежный учет лесов страны был выполнен в 1988 г., т. е. более 30 лет назад, а последующая актуализация этой информации носила «косметический» характер.

При этом леса – динамичная экосистема, они непрерывно меняются в больших масштабах в силу естествен-

ных процессов роста и сукцессионного развития, а также под влиянием природных и антропогенных деструктивных факторов. Леса ежегодно вырубаются и повреждаются пожарами, болезнями, насекомыми-вредителями, смерчами и ураганами, техногенными загрязнениями на площади, измеряемой миллионами (а в отдельные годы – десятками миллионов) гектар. В результате информация о лесах быстро «устаревает» и обновлять ее надо регулярно и часто.

Возможно ли в современных условиях регулярно и с достаточной частотой получать информацию о лесах, учитывая огромные и часто плохо доступные территории, на которых они произрастают? Ответ на этот вопрос и призвана дать настоящая статья, в заголовке которой вынесен сим-

биоз таких, на первый взгляд далеких друг от друга, сущностей, как «лес» и «космос».

Понимание того, что космические средства наблюдения способны регулярно и экономически эффективно получать информацию о лесах, пришло к ученым и специалистам лесного хозяйства практически сразу после начала космической деятельности и первыми запусками искусственных спутников Земли. В СССР исследования и разработки в области космических методов изучения лесов интенсивно развивались с начала 1970-х гг. при значительной поддержке государства и были преимущественно направлены на решение задач лесного хозяйства. Вплоть до окончания советского периода они велись достаточно успешно. В определенной мере этому способствовал тот факт, что в отечественной системе лесоустройства к тому времени

Лишь для 15% площади лесов России имеется относительно актуальная, т. е. собранная в последние 10 лет, информация, в то время как в среднем по стране давность последней актуализации такой информации приближается к 25 годам.

прочно укоренилось применение аэрофотосъемки, и материалы космической съемки часто достаточно просто встраивались в уже действующие технологические схемы выполнения лесочучетных работ без необходимости менять базовые методические принципы.

Но за прошедшее время техническая и методическая база космических исследований лесов претерпела значительное развитие. Если с начала 1970-х по конец 1990-х годов доступ к данным дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) был довольно ограничен и для их анализа преимущественно использовались методы визуального дешифрирования космических фотоснимков, то сегодня мы имеем гигантские объемы непрерывно поступающих и свободно распространяемых высококачественных данных спутниковых наблюдений, обработка которых немислима без автоматизированных технологий.

Сейчас технические возможности спутниковых систем ДЗЗ позволяют проводить глобальные и непрерывные наблюдения лесов в широких диапазонах длин волн электромагнитного излучения, величин пространственного и временного разрешения. Это позволяет выполнять крупные международные программы по глобальному спутниковому мониторингу лесов, в числе которых программы Продовольственной и сельскохозяйственной организации (ФАО) ООН, Европейской комиссии (ЕС), Европейского космического агентства (ESA). В США (NASA) и в Китае (Китайская академия наук) существуют и успешно развиваются национальные программы глобального спутникового мониторинга лесов и других типов растительного покрова. Результаты этих программ находят использование для оценки лесных ресурсов и состояния лесов, прогнозирования климатических изменений. Существуют и международные «меха-

низмы» координации различных глобальных и региональных программ спутникового мониторинга лесов, такие как, например, GOF-C-GOLD (Global Observations of Forest Cover and Land-use Dynamics)² или GFOI (Global Forest Observations Initiative)³.

Россия, будучи крупнейшей лесной державой, обладает примерно 20% площади и объема древесных ресурсов лесов планеты. Однако по-настоящему полно леса страны не были изучены никогда, и эта ситуация сохраняется и в настоящее время. Так, леса ряда северных территорий Сибири и Дальнего Востока никогда не были полноценно обследованы методами наземной таксации (таксация лесов – оценка характеристик лесов в пределах лесотаксационных выделов, т. е. выделенных однородных по породно-возрастной структуре и продуктивности участков леса). Единственная имеющиеся по ним информация получена в 1980-х годах с использованием визуального дешифрирования космических фотоснимков и выборочных измерений характеристик лесов на тестовых участках. До настоящего времени сохранились и территории, единственной информацией о лесах которых остаются результаты аэровизуального наблюдения, выполненные в далеких 1950-х годах. Очевидные причины такого положения – слабая доступность этих территорий из-за неразвитости транспортной инфраструктуры, а также невысокая коммерческая ценность произрастающих на них, как правило, низкопродуктивных лесов. Однако наблюдаемое в последние годы нарастание климатических изменений, которые проявляются, в первую очередь, в северных широтах, а также реализуемые программы экономического освоения российской

² <https://gofcgold.org/>

³ <http://www.fao.org/gfoi>

Арктики все более настоятельно диктуют необходимость получать актуальную и точную информацию о произрастающих на этих территориях лесах.

С учетом огромной площади российских лесов, труднодоступности значительной их части, а также масштабов происходящих в них изменений, на современном этапе научно-технического развития методы космических исследований лесов практически не имеют

реальной альтернативы. В свое время известный канадский ученый в области космических исследований наземных экосистем Жозеф Сихляр (Josef Cihlar) сказал, что Канада – это страна, созданная для дистанционного зондирования Земли, имея в виду, что получить полную информацию о ее территории без использования спутниковых методов наблюдения практически невозможно. Очевидно, что это высказывание в еще большей степени справедливо и в отношении лесов нашей страны, обладающих куда большей территорией и меньшей доступностью.

В постсоветское время в современной России методологию космических исследований лесов развивают преимущественно организации Российской академии наук (РАН), в частности, Институт космических исследований (ИКИ) в кооперации с Центром по проблемам экологии и продуктивности лесов (ЦЭПЛ РАН). Разработанные учеными РАН автоматизированные методы и технологии обработки данных ДЗЗ позволяют создавать системы спутникового мониторинга лесов, такие как, в частности, не имеющая аналогов по функциональным

возможностям Информационная система дистанционного мониторинга лесных пожаров Рослесхоза (ИСДМ-Рослесхоз)⁴. Разработаны методы и технологии ежегодной оценки на основе данных ДЗЗ лесов на всей территории страны, что позволяет вести мониторинг их площади, породного состава и биомассы, выявлять и оценивать насаждения, погибшие от пожаров, насекомых-вредителей и болезней.

Получаемая в настоящее время с использованием данных ДЗЗ информация о лесах позволяет давать объективную оценку их состоянию, определять направленность и скорость изменений, в том числе выявлять потенциально опасные тенденции, способные привести к деградации экосистем и их биологического разнообразия, оказать негативное воздействие на циклы углерода и воды, и в конечном счете на региональный и глобальный климат.

Что же именно могут дать космические методы наблюдения за лесами России для наших знаний о них? Как полученные знания могут быть использованы в научных исследованиях, хозяйственно-экономической и природоохранной деятельности, международных отношениях?

Переход к современному этапу развития методов космических исследований лесов можно датировать примерно концом 1990-х – началом 2000-х годов, когда в мире созрели технические и методические предпосылки для реализации крупных проектов в области

Нарастание климатических изменений, которые проявляются, в первую очередь, в северных широтах, а также реализуемые программы экономического освоения российской Арктики все более настоятельно диктуют необходимость получать актуальную и точную информацию о произрастающих на этих территориях лесах.

⁴https://nffc.aviales.ru/main_pages/index.shtml

спутникового мониторинга лесов на континентальном и глобальном уровнях. К их числу относится запуск спутниковых систем ДЗЗ SPOT-Vegetation (Европа, 1998 г.) и MODIS (NASA, 1999 г.), а также открытие свободного доступа к глобальным архивам данных спутников серии Landsat (NASA/USGS, 2009 г.) и Sentinel-2 (ESA, 2015 г.). Существенное развитие получили автоматизированные технологии обработки больших объемов данных. Появились коллективы и ведущие научные школы, способные разрабатывать методы и автоматизированные технологии спутникового мониторинга лесов, которые можно применять на больших территориях – крупных стран, континентов и планеты в целом.

В начале 2000-х годов в ИКИ РАН сформировались условия для целенаправленных исследований и разработок в области спутникового мониторинга лесов на национальном уровне. В частности, в Отделе технологий спутникового мониторинга ИКИ РАН под руководством доктора технических наук Е.А. Лупяна была создана техническая инфраструктура и разработаны программные комплексы хранения и автоматизированной обработки сверхбольших объемов данных ДЗЗ. Началось формирование непрерывно обновляемых многолетних архивов спутниковых данных, охватывающих всю территорию России и близлежащих государств. К этому же времени развились автоматизированные технологии потоковой обработки больших массивов спутниковых данных.

В 2000-х годах же в ИКИ РАН формировалась научная школа и коллектив ученых, работающих в области автоматизированных методов спутникового мониторинга растительного покрова. Методологию спутникового мониторинга лесов, которую развивает коллектив, имеет некоторые отличительные черты:

- направленность на разработку методов и технологий автоматической обработки данных ДЗЗ, обеспечивающих полную воспроизводимость результатов;
- ориентированность на разработку адаптивных алгоритмов тематической обработки данных ДЗЗ, которые обеспечивают локализованную оптимальную (само)настройку параметров в зависимости от пространственного расположения объекта мониторинга и времени проведения спутниковых наблюдений;
- применимость разрабатываемых методов и технологий для мониторинга лесов на больших территориях вплоть до глобальных масштабов (то есть от крупных стран до континентов и планеты в целом);
- возможность формировать однородные временные ряды спутниковых карт, способные характеризовать динамику лесов.

Выработка вышеперечисленных положений в значительной мере опиралась на опыт, накопленный при создании карты наземных экосистем Северной Евразии в рамках проекта GLC2000.

Созданная на основе данных спутниковой системы SPOT-VEGETATION карта наземных экосистем Северной Евразии имеет пространственное разрешение около 1 км, а ее легенда включает в себя 27 тематических классов, семь из которых отражают различные классы лесов, выделенные по признакам, присущих им типам вегетативных органов (хвойные, лиственные) и фенологической динамике (вечнозеленые, листопадные).

Высокий уровень тематической детальности и достоверности, достигнутый при создании карты, объясняет широкое ее использование в научных проектах и практических приложениях, насчитывающее тысячи пользователей в различных странах мира. Созданная

карта впервые наглядно продемонстрировала масштабную смену коренных хвойных лесов вторичными лиственными лесами в Европейской части России, Центральной Сибири и на Дальнем Востоке в результате интенсивных вырубок второй половины прошлого столетия и пожаров. Анализ карты позволил оценить масштабы зарастания лесом сельскохозяйственных земель в ряде регионов России, которые были заброшены в период постперестроечного спада экономики.

Вместе с тем метод создания карты наземных экосистем Северной Евразии основывался на классификации спутниковых данных со значительным участием людей-экспертов. Как следствие, процесс картографирования требовал много времени, содержал элементы субъективности при интерпретации спутниковых данных и не обеспечивал полную воспроизводимость результатов. Эти же ограничительные факторы практически исключали возможность регулярного картографирования лесов для мониторинга их изменений.

Тем не менее полученный при создании карты опыт позволил сделать ряд важных выводов. В частности, было продемонстрировано, что решение задач картографирования больших территорий требует разработки формализованных методических подходов и технологических решений, позволяющих осуществлять автоматическое (без участия человека) распознавание типов земной поверхности, учитывая при этом фактор пространственной внутриклассовой изменчивости их спектрально-отражательных характеристик, влияние которого, как правило, возрастает с увеличением географического охвата.

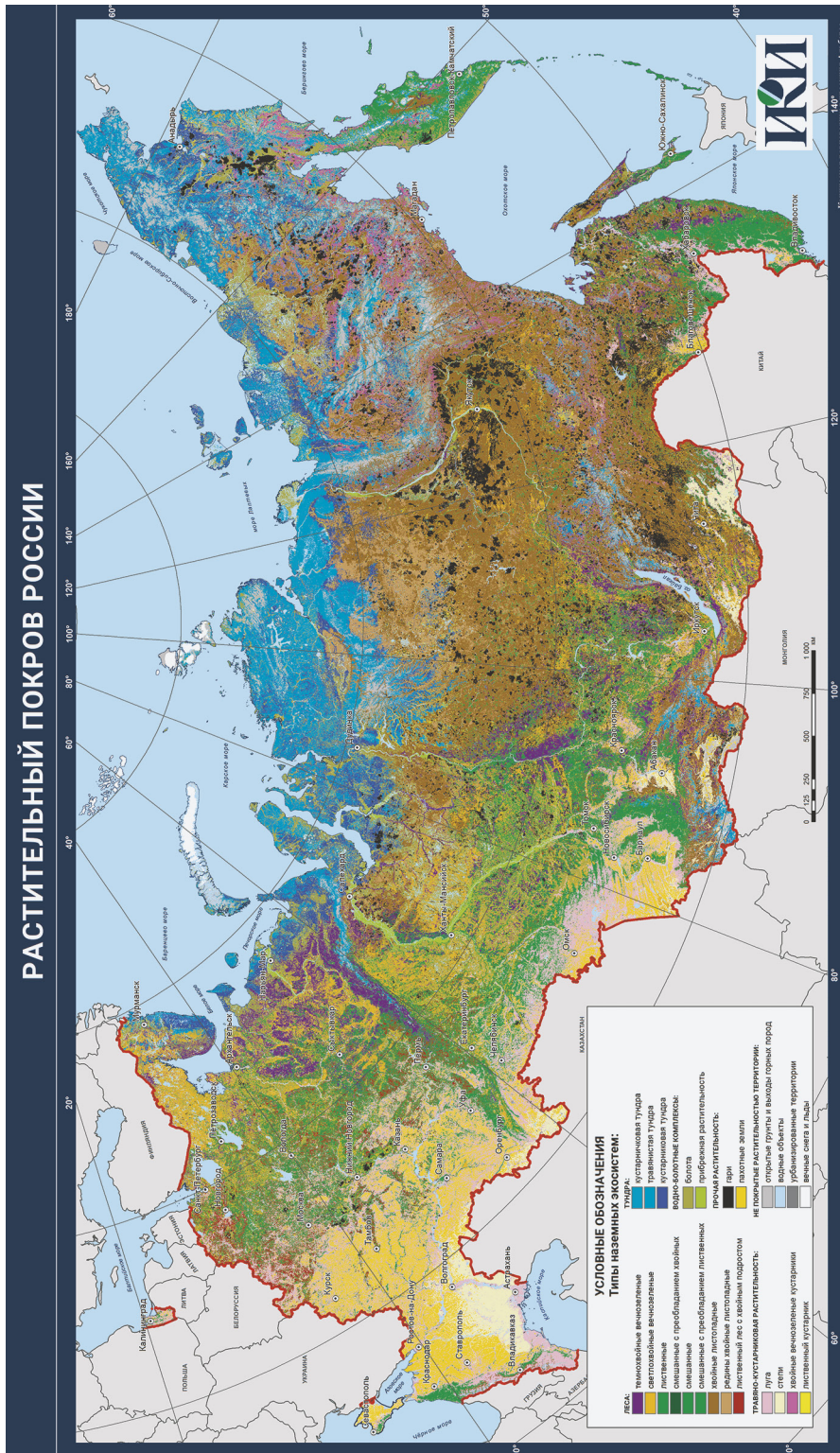
Второй важный вывод – необходимость, наряду с одномоментной информацией о спектрально-отражательных характеристиках объектов земной

поверхности, максимально полно использовать возможности извлечения тематической информации о растительности из временных рядов спутниковых данных, способных характеризовать как сезонную, так и многолетнюю ее динамику.

Сделанные в ходе создания карты наземных экосистем Северной Евразии выводы позволили придать дальнейшим разработкам в области спутникового картографирования лесов принципиально новые черты, которые в значительной мере не только определили полученные к настоящему моменту результаты, но и задают тренд дальнейшего развития методологии.

Принципиально новый шаг в развитии космических исследований лесов сопряжен с разработкой алгоритма локально-адаптивной классификации спутниковых изображений LAGMA (Locally Adaptive Global Mapping Algorithm). В основе алгоритма лежит принцип пространственной локализации обучения классификатора и распознавания типов земного покрова. Использование алгоритма обеспечивает адаптивность классификатора к пространственным изменениям физико-географических условий как одного из требований, предъявляемых к методам обработки спутниковых данных на глобальном уровне. В отличие от ранее известных методов, алгоритму LAGMA генетически присущ механизм учета пространственной внутриклассовой изменчивости спектрально-отражательных характеристик (или любых других признаков распознавания) земного покрова. Это унифицирует картографирование растительного покрова больших территорий без предварительной их стратификации, т. е. разбиения их человеком-экспертом на однородные области с допустимым уровнем внутриклассовой изменчивости значений признаков распознавания типов

РАСТИТЕЛЬНЫЙ ПОКРОВ РОССИИ



Карта растительного покрова России, полученная по данным MODIS

земного покрова. Эта особенность метода LAGMA позволяет использовать его для создания карт лесов любого, вплоть до глобального, географического охвата.

Упомянутые выше методические разработки сегодня реализованы в виде программных комплексов и автоматических технологий. С их помощью на основе данных ДЗЗ создаются временные ряды ежегодно обновляемых тематических карт, характеризующих состояние и динамику лесов России.

Временной ряд созданных карт растительного покрова России охватывает период 2001–2019 гг. и ежегодно дополняется по мере сбора и обработки спутниковых данных. Легенда карты включает в себя 23 тематических класса, 18 из которых характеризуют различные типы растительности, выделенные с учетом их жизненных форм, типов вегетативных органов и фенологической динамики.

Сегодня эта серия ежегодных карт пространственного разрешения 230 м является наиболее детальным в пространственно-временном и тематическом отношениях источником информации о типах растительного покрова России, полученной на всю территорию страны.

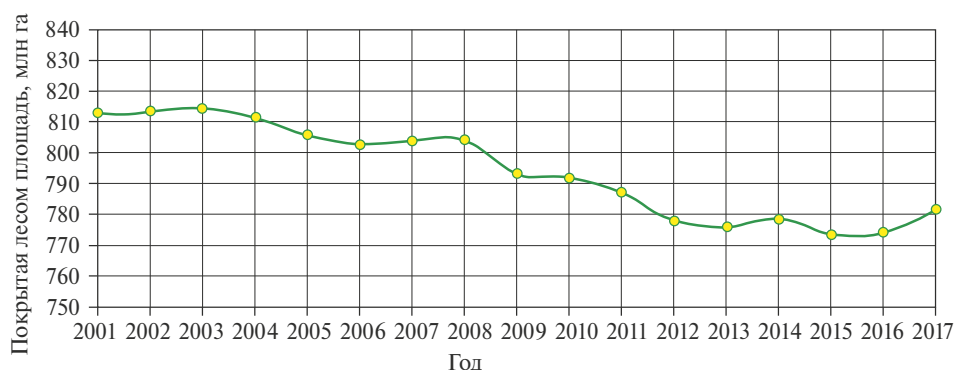
Процесс построения карты автоматизирован, что обеспечивает полную

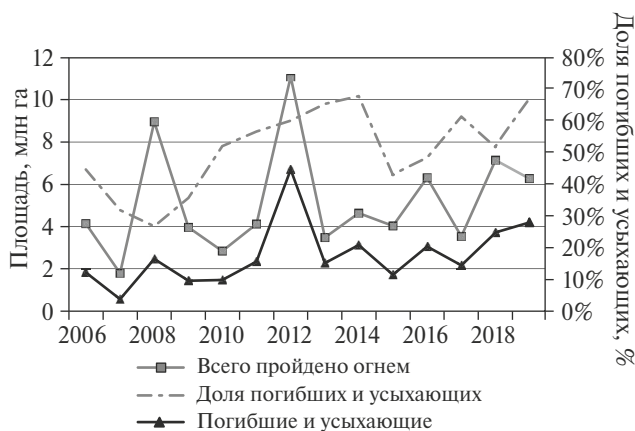
повторяемость получаемых результатов и позволяет ежегодно картографировать леса в масштабах страны. Полученный временной ряд карт дает возможность оценить многолетние изменения лесов под воздействием природных и антропогенных деструктивных факторов, процессов возобновления и сукцессионной динамики растительного покрова.

Полученные результаты позволили оценить изменения площади лесов нашей страны за время с начала нынешнего столетия, которые, как наглядно демонстрирует представленный график, вплоть до 2015 г. имели выраженную негативную тенденцию. Последние несколько лет наблюдается прирост покрытых лесом территорий. Оценка чистых потерь леса на территории страны за период спутниковых наблюдений 2001–2015 гг. показывает огромную величину, составляющую примерно 39 млн га, т. е. в среднем за год около 2,8 млн га или 0,35% покрытой лесом площади.

При этом нужно учитывать, что эта величина ежегодных чистых потерь леса складывается как баланс разнонаправленных процессов. С одной стороны, происходит сокращение покрытой лесом площади из-за рубок, пожаров и других деструктивных

Динамика покрытой лесом площади России по данным ДЗЗ





Многолетние вариации значений показателей воздействия пожаров на леса России

факторов. С другой стороны, леса восстанавливаются в результате зарастания участков вырубок и погибших насаждений предыдущих лет, зарастания заброшенных сельскохозяйственных земель.

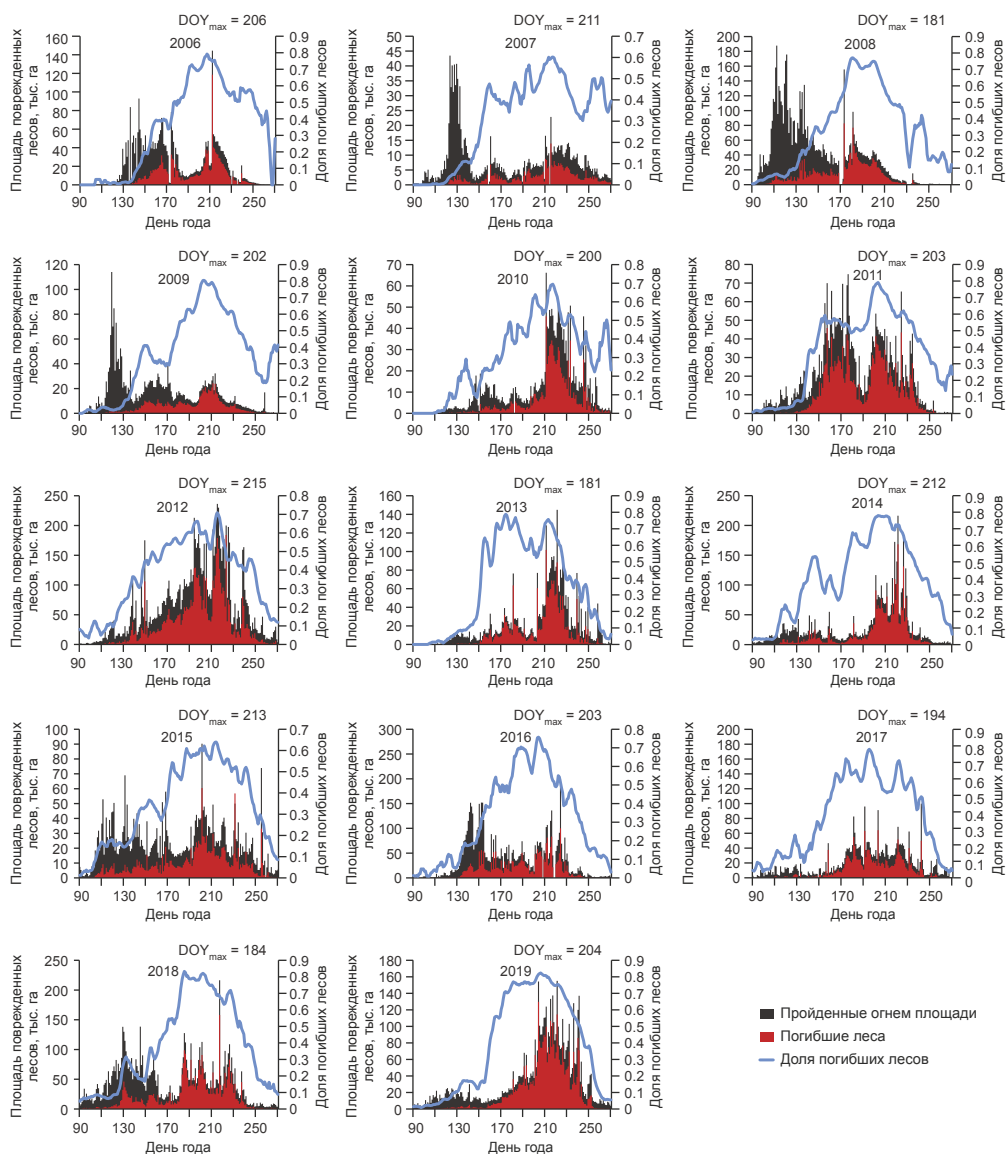
Анализ показывает, что в текущем столетии основным фактором сокращения площади лесов России являются пожары, ежегодно охватывающие миллионы гектаров. Особенности географического и сезонного распределения пожаров, межгодовой изменчивости количества возникающих очагов горения и пройденной огнем площади благодаря методам ДЗЗ уже достаточно хорошо изучены. Методы дистанционной оценки пирогенных (т. е. вызванных пожарами) повреждений лесов, которые были развиты в последние годы, позволили сформировать ежегодно обновляемые многолетние ряды данных о характеристиках их постпожарных усыханий и гибели в масштабах страны. В результате появилась возможность исследовать пространственно-временные особенности пирогенных повреждений лесов России, в том числе во взаимосвязи с их породной структурой и другими характеристиками.

Представленные графики отражают динамику таких показателей масштабов и разрушительной силы лесных пожаров на территории России, как:

- пройденная огнем площадь лесов;
- площадь пирогенной гибели лесов;
- летальность пожаров, определяемая как доля площади погибших лесов на пройденной огнем площади.

В 2006–2019 годах площадь пожаров и гибели лесов достигали значения максимума в 2012 г. и имеют тенденцию к нарастанию. Анализ летальности пожаров характеризуется диапазоном изменений от 27,5 до 67,5%, с достижением минимального и максимального значений соответственно в 2008 и 2014 гг. При этом наблюдается положительный тренд летальности пожаров, а ее значение в 2019 г. составило 66,9%, вплотную приблизившись к абсолютному максимуму показателя за весь период спутниковых наблюдений.

Чтобы понять причины роста летальности лесных пожаров, можно обратить внимание на ежегодные распределения их площади в течение года. Из этих данных видно, что в различные годы в большинстве случаев наблюдается выраженный пик горимости в летний период, а для ряда лет характерно еще и наличие весеннего пика. При этом видно, что весенние пожары, часто охватывающие большие площади, как правило, не приводят к масштабной гибели лесов (например как в 2006–2009 гг.). Одновременно также можно отметить, что сезонное распределение пожаров имеет тенденцию к увеличению доли разрушительных летних пожаров и снижению вклада менее вредоносных весенних пожаров.

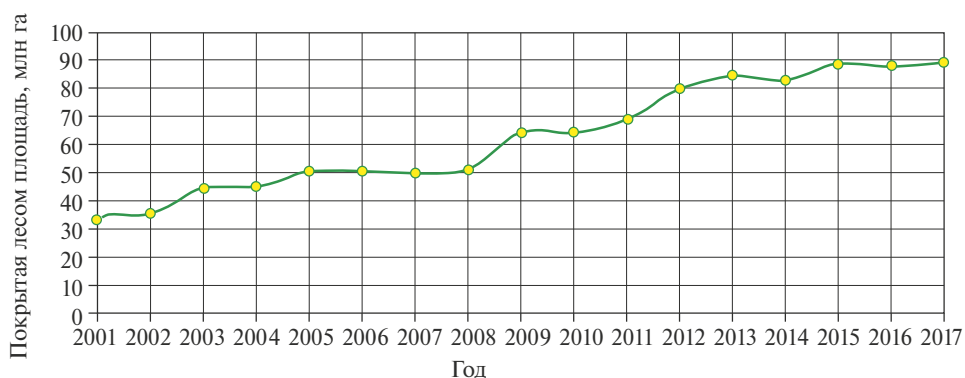


Сезонные распределения площади поврежденных пожарами и погибших лесов на территории России в 2006–2019 гг.

Среди факторов, способных оказывать влияние на наблюдаемые изменения режима пожаров на территории России, можно рассматривать влияния климата и человеческой деятельности.

К числу климатогенных факторов, определяющих режимы пожаров, относятся температура воздуха, осадки, грозовая активность. Факторы антропо-

генного влияния на пожары могут проявляться как в изменениях режимов охраны лесов, так и в присутствии человека, как основного источника огня в лесу. Следует помнить, что в рассматриваемый период (2006–2019 гг.) уровень охраны лесов от пожаров имел тенденцию к снижению (как следствие реформ в лесном хозяйстве), при этом



Динамика площади необлесенных гарей в лесах России

хозяйственно-экономическая деятельность в лесах северных территорий Сибири и Дальнего Востока нарастала.

Как следствие растущей пирогенной гибели лесов с начала текущего века на территории России наблюдалось увеличение площади так называемых необлесенных гарей, на которых леса не восстановились до настоящего времени. Наблюдаемый огромный прирост площади необлесенных гарей с 44 до 84 млн га за десятилетний период с 2003 по 2013 г., безусловно, является тревожным индикатором неблагополучия российских лесов. Положительный же факт – с 2015 г. прекратилось нарастание негативной тенденции деградации лесного покрова страны.

Результаты спутникового мониторинга свидетельствуют о масштабной деградации лесов России, которая означает сокращение их площади и возрастающие масштабы гибели, ухудшение породной структуры со снижением в их составе деревьев ценных хвойных пород. Представленный график свидетельствует о выявленном по результатам спутникового мониторинга стремительном уменьшении площади темнохвойных лесов страны, представленных такими породами, как ель, пихта и сибирский кедр. Площадь темнохвойных лесов с 2000 г. испытывает

близкое к монотонному снижению, сократившись примерно на 21%. Средние темпы деградации темнохвойных лесов имеют катастрофический характер, составляя 0.85×10^6 га в год.

Выполненный на основе данных спутникового мониторинга анализ причин деградации темнохвойных лесов показывает, что, наряду со сплошными рубками и пожарами, значительный вклад в сокращение их площади вносят и усыхания, вызванные биогенными, метеорологическими и другими факторами.

Приведенные выше примеры того, как благодаря космическим средствам наблюдения Земли была получена уникальная информация о состоянии лесов России, безусловно, не ограничивают возможности современных технологий дистанционного зондирования.

Разработанные технологии позволяют уже сегодня создать высокотехнологичную систему комплексного мониторинга лесов, с помощью которой можно будет регулярно получать объективную информацию для управления лесным хозяйством и использования лесных ресурсов, а именно для:

- оценки ресурсно-экологического потенциала лесов;
- охраны лесов от пожаров;
- защиты лесов от насекомых вредителей и болезней леса;

Изменение площади темнохвойных лесов России

- контроля лесопользования (в том числе незаконных рубок);
- организации и контроля работ по воспроизводству лесов;
- оценки способности лесов поглощать парниковые газы и аккумулировать атмосферный углерод.

Разработка и ввод в эксплуатацию системы спутникового мониторинга лесов на национальном уровне сопряжены с необходимостью решения ряда сложных научно-методических, технологических и организационных задач. Система спутникового мониторинга лесов России должна обеспечивать выполнение таких базовых функций, как:

- создание и непрерывное обновление сверхбольших (объемы, измеряемые петабайтами) банков спутниковых данных;

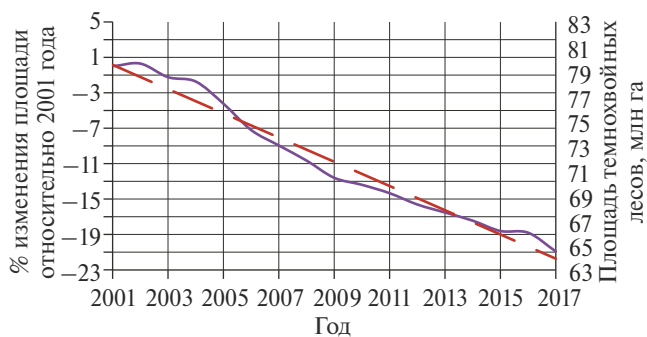
- предварительная обработка спутниковых данных (пространственная привязка, радиометрическая калибровка и атмосферная коррекция, фильтрация различного рода помех) для обеспечения необходимого уровня их качества;

- автоматическое распознавание объектов земной поверхности на основе специализированных алгоритмов, адаптивных к пространственно-временным изменениям физико-географических условий;

- оценка биофизических характеристик земной поверхности на основе данных дистанционных измерений;

- валидация результатов мониторинга, в том числе с использованием репрезентативной опорной информации;

- создание интерфейсов удаленного доступа пользователей к банкам спутниковых данных и полученной на их основе информации.



Масштабность задач спутникового картографирования лесов России, сопряженных с обработкой сверхбольших массивов спутниковых данных, обуславливает необходимость использования высокопроизводительных вычислительных комплексов.

К настоящему времени в России созданы уникальные технологии дистанционного мониторинга лесов, активно используемые для решения научных и прикладных задач. Многие из этих технологий не только не уступают, но и превосходят зарубежные аналоги.

Сегодня созданные институтами Российской академии наук ИКИ и ЦЭПЛ технологии дистанционного зондирования позволяют осуществлять непрерывные наблюдения за лесами на всей территории страны для решения задач оценки лесных ресурсов, охраны их от пожаров и других деструктивных воздействий, объективного учета способности лесов России поглощать из атмосферы парниковые газы и аккумулировать углерод. В условиях острой потребности в получении объективной и регулярно актуализируемой информации о лесах страны ценность созданных технологий трудно переоценить.

Статья подготовлена при поддержке темы ИКИ РАН «Мониторинг» (госрегистрация № 01.20.0.2.00164). Использованные при подготовке статьи экспериментальные данные о динамике лесов получены в рамках гранта Российского научного фонда (проект № 19-77-30015).

ЛЕСА В СОВРЕМЕННОМ МИРЕ



ЛУКИНА Наталья Васильевна,

член-корреспондент РАН

Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН

DOI: 10.7868/5004439482006002X

Эффективным ответом на современные глобальные вызовы: рост населения Земли, глобализация, урбанизация, миграция, изменения климата — является развитие лесной биоэкономики замкнутого цикла как альтернативы линейной экономике, базирующейся на ископаемом сырье, которая привела к деградации окружающей среды и сокращению биоразнообразия. Сохранение биоразнообразия лесов и обеспечение баланса между их экосистемными услугами — предпосылка устойчивого функционирования биосферы и успешного экономического развития нашего государства — мировой лесной державы.

Генеральная Ассамблея ООН в 2015 г. утвердила резолюцию «Преобразование нашего мира: повестка дня в области устойчивого развития на период до 2030 года»¹, содержащую 17 целей устойчивого развития мира. Достижение этих целей невозможно с использованием принципа *do business as usual*, то есть «веди бизнес как обычно». Со второй половины XVIII в. и до настоящего времени индустриализация и технологический прогресс, которые, безусловно, вызвали экономический

и демографический рост, основывались на ископаемом сырье: нефти, газе, угле, рудных и нерудных минеральных ресурсах. Это привело к деградации окружающей среды, которая выражается в потерях биоразнообразия, истощении почв, загрязнении атмосферы, рек, озер и океанов, накоплении токсичных отходов, в том числе в многолетней (вечной) мерзлоте, а также в изменении климата.

Потери биоразнообразия неизбежно ведут к снижению устойчивости природных экосистем, поскольку именно биоразнообразие является основой и механизмом их функционирования. Геологические и палеонтологические

¹ <https://www.un.org/sustainabledevelopment/ru/about/development-agenda/>

находки свидетельствуют о шести «великих массовых вымираниях» на Земле, совпадающих по времени с резкими изменениями климата и уровня моря, периодами усиленного вулканизма, падением крупных астероидов. Седьмое вымирание, свидетелями которого мы являемся, вызвано человеком². Цитируя великого русского ученого

В.И. Вернадского, подчеркнем, «человечество – геологическая сила», человек «чрезвычайно меняет работу всего живого вещества». Стремительное уничтожение природных экосистем в результате изменения землепользования, нещадная эксплуатация природных ресурсов, распространение инвазивных (чужеродных) видов, изменения биогеохимических циклов за сто следующих лет могут привести к исчезновению половины существующих в настоящее время видов живых организмов³. Сегодня на Земле еще обитает около 8.7 млн видов растений и животных.

Рост населения, глобализация, урбанизация, миграция, изменение климата – современные глобальные вызовы. Прогнозируется, что к 2100 г. население Земли вырастет до 11 млрд, из которых более двух третей будет проживать в городах, сотни миллионов человек будут мигрировать внутри и между странами. Благодаря ускоренной глобализации мир становится все более взаимосвязанным. Эксперты полагают, что последствия изменения климата сохра-

нятся на протяжении нескольких столетий, даже если выбросы всех парниковых газов полностью прекратятся.

Достижение провозглашенных Генеральной Ассамблеей ООН целей устойчивого развития и эффективный ответ на глобальные вызовы возможны только при смене существующей линейной модели развития экономики на циклическую.

К ней относится биоэкономика замкнутого цикла – экономика, которая основывается на природном капитале⁴, использует возобновляемые биологические ресурсы суши и моря для производства продовольствия, биоматериалов, биоэнергии и биопродуктов. Из природного капитала, наряду с про-

дуктами, экосистемы обеспечивают людей так называемыми «экосистемными услугами» – всеми выгодами, которые люди получают от природы⁵.

Выделяют четыре категории экосистемных услуг:

- 1) обеспечивающие: древесина, волокна, в том числе пищевые и лекарственные ресурсы, пресная вода. Эти услуги имеют рыночную стоимость, тогда как стоимость других услуг на рынке часто не определена;
- 2) регулирующие: регулирование климата, гидрологического режима;
- 3) культурные: рекреация, духовное обогащение;
- 4) поддерживающие: почвообразование, фотосинтез.

⁴Бобылев С.Н., Захаров В.М. Экосистемные услуги. Человек и природа. М.: Департамент природопользования и охраны окружающей среды города Москвы; Центр устойчивого развития и здоровья среды ИБН РАН; Центр экологической политики России, 2015.

⁵Millennium Ecosystem Assessment (MEA 2005). Ecosystems and Human Well-being: Synthesis. Washington: World Resources Institute MEA, 2005

²Rampino M.R., Shen S.-Z. The end-Guadalupian (259.8 Ma) biodiversity crisis: the sixth major mass extinction? // Historical Biology. 2019. DOI: 10.1080/08912963.2019.1658096

³Louman B., Cifuentes M., Chacon M. REDD+, RFM, development, and carbon markets // Forests. 2011. Vol. 2, № 1. P. 357–372.



Падь Дубняки, Газимуро-Заводский район, Забайкальский край.

Источник: *Wikimedia Commons, Bondarevich Evgeniy*

Современная экономика пока отдает предпочтение обеспечивающим услугам лесных экосистем. Однако необходимо понимать, что природные экосистемы мультифункциональны: они одновременно выполняют все экосистемные функции и обеспечивают всеми экосистемными услугами, основанными на этих функциях. Между экосистемными услугами существуют положительные и отрицательные взаимосвязи, поэтому при использовании одних услуг необходимо учитывать, как изменится предоставление всех остальных, в противном случае не избежать экологических катастроф.

Существуют оценки глобального экологического ущерба, вызванного игнорированием экологических (регулирующих и поддерживающих) экосистемных услуг, который составляет 7 трлн долл. в год (11% глобальной экономики). При этом от обезлесения мир теряет регулирующих услуг на сумму 2–5 трлн долл. в год³.

Согласно оценкам Продовольственной и сельскохозяйственной организации ООН, площадь лесного покрова мира ежегодно сокращается⁶. Так, например, в 2019 г. потеряно 11.9 млн га лесного покрова в тропиках⁷.

Стоит задуматься о том, что около 380 млн лет назад температура воздуха на Земле была на 10 градусов выше, а концентрация углекислого газа – в 10 раз больше⁸, и именно леса,

⁶ ФАО ООН. Состояние лесов мира – пути к достижению устойчивого развития с учетом значения лесов. 2018 Продовольственная и сельскохозяйственная организация объединенных наций.

⁷ Weisse M, Goldman E.D. We Lost a Football Pitch of Primary Rainforest Every 6 Seconds in 2019. 2020. World Research Institute. . <https://www.wri.org/blog/2020/06/global-tree-cover-loss-data-2019>

⁸ Palahi M., Nasi R., Simons T. Open Letter to Heads of States on the need for the Earth Forest Summit. 2019. <https://www.efi.int/articles/open-letter-heads-states-need-earth-forest-summit>

способствуя снижению концентрации углекислого газа, сделали нашу планету комфортной для жизни. Поэтому лесам уделено особое внимание в Парижском соглашении по климату (2015 г.)⁹, стратегическая цель которого – удержание прироста глобальной средней температуры на планете к концу XXI в. в пределах намного ниже 2 °С сверх доиндустриальных показателей.

Известно, что леса способны поглощать парниковые газы, с повышением концентраций которых связывают глобальное изменение климата. Условие максимально полного учета поглощения парниковых газов лесами стало одним из ключевых при присоединении Российской Федерации к Парижскому соглашению. Однако необходимо заметить, что до сих пор государственный климатический мониторинг в лесах России не проводится и, соответственно, полный учет способности наших лесов поглощать парниковые газы пока невозможен. Именно поэтому Научный совет Российской академии наук по лесу и Министерство науки и высшего образования РФ обратились в Министерство природных ресурсов и экологии России с предложением организовать лесной климатический мониторинг, предусматривающий создание специализированной наземной сети и использование данных дистанционного зондирования Земли, в составе государственного климатического мониторинга. В случае положительного решения этого вопроса Россия будет обладать достоверной информацией о способности лесов поглощать парниковые газы.

⁹ https://unfccc.int/files/meetings/paris_nov_2015/application/pdf/paris_agreement_russian_.pdf



Сосновый лес на севере Ленинградской области. Источник: Wikimedia Commons, Oleg Bor

При этом для оценки поглощения лесами России парниковых газов необходимо учитывать и леса на заброшенных сельскохозяйственных землях. Это становится возможным в связи с созданием

Постановлениями Правительства РФ №1482 от 18 сентября 2020 года и 21 сентября 2020 года правовой основы для планирования и осуществления режимов использования, охраны, защиты воспроизводства лесов, расположенных на землях сельскохозяйственного назначения.

Это очень важно, поскольку на долю России приходится более 20% всех мировых лесных ресурсов, но наша страна до сих пор не обладает достоверной информацией о лесных ресурсах, динамике лесов и ее причинах. Данные научного мониторинга свидетельствуют о том, что с начала текущего столе-

На долю России приходится 20% всех мировых лесных ресурсов, но наша страна до сих пор не обладает достоверной информацией о лесных ресурсах, динамике лесов и ее причинах.

тия наблюдается заметное сокращение лесного покрова России¹⁰. Причина этого сокращения – комбинация природных и антропогенных факторов, включая изменение климата, пожары, промышленное загрязнение, вспышки массового размножения насекомых, грибные и бактериальные болезни, истощительное использование лесов.

Ранее истощительные, сплошные рубки не проводились в так называемых защитных лесах, выполняющих средообразующие, водоохранные, нерестоохранные, почвозащитные, санитарные и другие защитные функции. Однако в 2019 г., впервые с момента деления лесов по целевому назначению (1943 г.): на эксплуатационные, защитные и резервные, – появилась возможность сокращения защитных лесов за счет исключения из их состава значительной площади нерестоохранных полос лесов, которые выполняют множество важнейших экосистемных функций, включая сохранение популяций ценных промысловых видов рыб.

По оценкам экспертов, при сохранении подобной практики площадь защитных лесов в Российской Федерации сократится более чем на 30 млн га, или на 8–10%. Это неизбежно приведет к дальнейшему сокращению биоразнообразия, нарушению речного стока, ухудшению качества воды, сокращению видов ценных промысловых рыб.

¹⁰ Исаев А.С., Барталёв С.А., Лупян Е.А., Лукина Н.В. Спутниковое зондирование Земли – уникальный инструмент мониторинга лесов России // Вестник РАН. 2014. № 12. С. 1073–1079.

Сохранение лесов, их регулирующих и поддерживающих функций и услуг, является условием устойчивого функционирования биосферы и развития нашей цивилизации. Устойчивое управление лесами в нашей стране должно сформироваться не только в документах стратегического планирования, но и в реальной лесохозяйственной практике. Только это поможет избежать экологических катастроф.

Настала пора осознать, что за экономикой, основанной на возобновляемых природных ресурсах, – будущее, и что уже пришло время создавать это будущее. Леса мира, занимающие около трети площади суши – самые распространенные наземные экосистемы, а лесной сектор – ключевой игрок биоэкономики замкнутого цикла¹¹.

К основным направлениям лесной биоэкономики относятся:

- 1) экосистемные услуги лесов, механизмом и провайдером которых является биологическое разнообразие;
- 2) лесная индустрия: деревянное домостроение, производство разнообразных продуктов из древесной массы, производство биопластиков, «умная» упаковка из бумаги и волокон, продукты гигиены и ухода за здоровьем, производство древесных волокон взамен волокон из хлопка, для роста которого требуется много воды, удобрений и пестицидов;
- 3) новые энергетические решения, продукты биоэнергетики.

¹¹ Лукина Н.В. Глобальные вызовы и лесные экосистемы // Вестник РАН. 2020. Т. 90, № 6. С. 528–532.



Полевской, Свердловская область. Источник: *Wikimedia Commons, Сергей Сасин*

Развитие лесной биоэкономики замкнутого цикла позволит создавать рабочие места в городах и сельских поселениях.

Наше общество пока весьма слабо осведомлено о выгодах и преимуществах биоэкономики замкнутого цикла. Хотя в апреле 2012 г. Правительство РФ утвердило Комплексную программу развития биотехнологий на период до 2020 г.¹², одним из направлений которой являются лесные биотехнологии, приходится признать, что результаты развития этой программы весьма скромны. В России создана Технологическая платформа БиоТех2030 (<http://biotech2030.ru/>), нацеленная на объединение представителей бизнеса, науки, государства и гражданского общества для создания новейших биотехнологий, продуктов и услуг, однако пока доля нашей страны на мировом рынке биотехнологий не превышает 0.1%, и на российском венчурном рынке доля этого сектора сокращается.

¹²<http://government.ru/news/13153/>

Для развития лесной биоэкономики замкнутого цикла важны как реализация разработанных научным сообществом научно-технических программ, нацеленных на создание новых технологий⁹, и заинтересованность бизнеса, так и развитие государственной лесной политики и лесного законодательства. Современная лесная политика должна предусматривать недопущение сокращения лесного покрова, биоразнообразия лесов, нарушения баланса между экосистемными услугами, подчеркивать ключевую роль лесного сектора в развитии биоэкономики страны и его ответственность за эффективные ответы государства на глобальные вызовы. Поэтому требует существенной переработки лесная политика России, которая в ее нынешнем виде¹³ не содержит важнейшие аспекты устойчивого раз-

¹³Распоряжение Правительства РФ от 26.09.2013 N1724-р «Об утверждении Основ государственной политики в области использования, охраны, защиты и воспроизводства лесов в Российской Федерации на период до 2030 года».



Урочище Мухинка, Амурская область. Источник: Wikimedia Commons, Blg95

вития, связанные с развитием биоэкономики.

Будучи главой Правительства РФ, премьер-министр Д.А. Медведев в прошлом году поручил соответствующим федеральным органам исполнительной власти разработать новую редакцию Лесного кодекса. Однако к настоящему времени концепция новой редакции Лесного кодекса представлена только Научным советом РАН по лесу¹⁴. Основная идея концепции РАН – переход лесного хозяйства от модели истощительного лесопользования в естественных лесах к модели лесовыращивания целевых древесных пород и обеспечения баланса между экосистемными услугами за счет комбинации сегрегационного (с разделением территорий по экосистемным услугам) и интеграционного (с выполнением всех услуг на одной территории) подходов.

¹⁴ Концепция проекта ФЗ «Лесной кодекс Российской Федерации» <http://rbf-ras.ru/forest-law>

Ответственные федеральные органы исполнительной власти все еще пытаются вносить очередные поправки в существующую редакцию Лесного кодекса, но ведущие эксперты считают, что такие поправки ничего не решат, поскольку для перехода к устойчивому управлению лесами необходимо изменить основные положения кодекса.

В нашей, столь богатой биологическими, в том числе лесными, ресурсами стране до сих пор не создана национальная стратегия развития биоэкономики. Лес все еще рассматривается только как источник ресурсов, древесных и недревесных (ягоды, грибы), – но не как хранитель биоразнообразия и провайдер поддерживающих и регулирующих, жизнеобеспечивающих экосистемных услуг. Решение этой проблемы возможно путем создания рынков экологических экосистемных услуг, для чего необходимо определить их ценность и стоимость.

Эта задача успешно решается международным научным сообществом

с участием российских ученых, например в рамках двух крупных международных проектов по определению ценности и продвижению на рынок экологических экосистемных услуг¹⁵:

1) Поддержка принятия решений по экосистемным услугам лесов Европы: определение ценности, синергетические эффекты и компромиссы (Decision-making Support for Forest Ecosystem Services in Europe – Value Assessment, Synergy Effects and Trade-offs – POLYFORES);

Этот проект направлен на развитие и получение новых знаний, необходимых для достижения баланса между растущими потребностями общества в различных экосистемных услугах лесов и их способностью сохранять устойчивое обеспечение этими услугами при реализации различных лесохозяйственных парадигм в условиях изменений климата. Конкретная цель проекта – развитие оценки экосистемных услуг лесов, поддержки принятия решений и инструментов управления лесами для содействия устойчивому обеспечению экосистемными услугами, имеющими как экономическую, так и социальную и экологическую ценность. Российская Федерация, Республика Беларусь, Норвегия и страны Евросоюза развивают различные парадигмы управления лесами, направленные на идентификацию приоритетов и поиск компромиссов между конфликтующими целями в лесном секторе и связанных с ним секторах. В проекте исследуются эти парадигмы в части обеспечения различными экосистемными услугами лесов. Синергия и конфликты между различными экосистемными услугами лесов на национальном и международном уровнях

идентифицируются совместно с местными и международными «стейкхолдерами» (заинтересованными сторонами). Обеспечение взаимодействующих и конфликтующих услуг оценивается в специальных тематических исследованиях на региональном и ландшафтном уровнях.

Специфические цели проекта:

- развитие инклюзивного, всестороннего и системного подхода к определению ценности экосистемных услуг;
- анализ соответствия моделей лесохозяйственных парадигм растущим потребностям общества в различных экосистемных услугах лесов;
- обеспечение инструментами поддержки принятия решений, направленных на баланс синергии и компромиссов между различными экосистемными услугами на политическом и управленческом уровнях;
- оценка возникающих конфликтов и взаимодействий (синергии) между экосистемными услугами с учетом режимов управления и изменений климата в разных пространственных и временных масштабах с использованием интегрированной сети имитационных моделей.

2) Проект «Ускорение инноваций для экосистемных услуг лесов в Европе» (Spurring INnovations for Forest Ecosystem SERvices in Europe – SINCERE).

Основной целью данного проекта является продвижение инновационных механизмов предоставления различных экосистемных услуг лесов в Европе и за ее пределами. В проекте, в котором принимают участие более 20 организаций из 15 стран, эти вопросы увязываются с вопросами лесной политики для продвижения стимулирования экосистемных услуг лесов. Для достижения поставленной цели организована серия исследований и оценок на локальном уровне. Разрабатывается совмест-

¹⁵<http://cepl.rssi.ru/science/projects/international-projects/>



Осень в смешанном лесу. Источник: Wikimedia Commons, Изгорович

ная обучающая платформа с учетом специфики всех стран, которая станет важнейшим связующим звеном между наукой, политикой и практикой и сделает возможным взаимное обогащение опытом и знаниями.

Решение задач в рамках этих проектов способствует ответам на следующие большие вызовы Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации:

- исчерпание возможностей экономического роста России, основанного на экстенсивной эксплуатации сырьевых ресурсов на фоне появления группы стран-лидеров, ориентированных на использование возобновляемых ресурсов;
- возрастание антропогенных нагрузок на окружающую среду до масштабов, угрожающих воспроизводству природных ресурсов, и связанный с их неэффективным использованием рост рисков для жизни и здоровья граждан.

Оценка рисков для устойчивого управления лесами, поиск путей устойчивого управления лесами в условиях изменения климата и интенсифика-

ции лесного хозяйства, анализ и оценка компромиссов между услугами лесных экосистем, оценка устойчивости стоимостных цепочек на основе возобновляемого сырья (лесных ресурсов) относятся к важнейшему приоритету Стратегии научно-технологического развития России – Н7. Возможность эффективного ответа российского общества на большие вызовы с учетом взаимодействия человека и природы, человека и технологий, социальных институтов на современном этапе глобального развития, в том числе применяя методы гуманитарных и социальных наук.

Результаты, полученные в ходе выполнения этих и других научных проектов, позволят продемонстрировать возможности доходного лесного хозяйства с использованием не только обеспечивающих, но и регулирующих услуг лесов и перейти к мультифункциональному лесному хозяйству и устойчивому управлению лесами – основе развития лесной биоэкономики замкнутого цикла.

СЕЙСМОГЕННО-ТРИГГЕРНАЯ ГИПОТЕЗА УСИЛЕНИЯ ЭМИССИИ МЕТАНА И ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА В АРКТИКЕ



ЛОБКОВСКИЙ Леопольд Исаевич,

доктор физико-математических наук, академик РАН

Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва

DOI: 10.7868/50044394820060031

Рассматривается сейсмогенно-триггерная гипотеза возникновения фаз резкого увеличения эмиссии метана и потепления климата в Арктике как следствие сильных механических возмущений краевой области арктической литосферы, вызванных сильнейшими землетрясениями в Алеутской зоне субдукции, передачи этих возмущений в область арктического шельфа и прилегающей суши и триггерного эффекта высвобождения метана из многолетнемерзлых осадочных пород и метастабильных газогидратов с последующими выбросами парникового газа в атмосферу.

ВВЕДЕНИЕ

Проблема глобального изменения (потепления) климата является одной из самых актуальных для современной цивилизации, поскольку наблюдаемый в последние 40 лет устойчивый рост средней температуры на Земле ставит вопрос о выживаемости человечества и возможности его адаптации к изме-

няющимся условиям окружающей среды, вызванных таким потеплением. Причины глобального изменения климата в последнее время активно обсуждаются не только в научной литературе, но и в средствах массовой информации. При этом основной версией объяснения данного феномена считается антропогенный фактор возникновения парникового эффекта из-за возрастающих выбросов углекислого газа

На заставке использована фотография Anton Dit, Wikimedia Commons

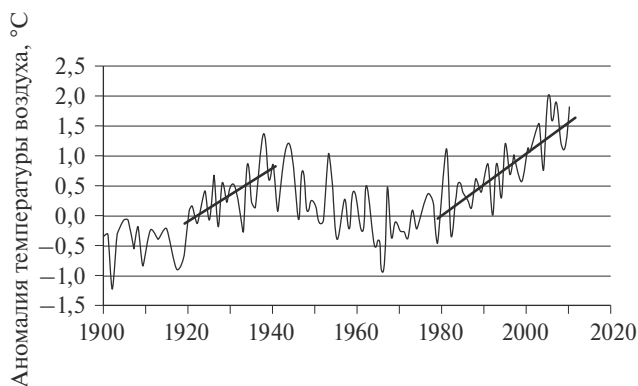


Рис. 1. Изменения температуры воздуха в Арктике с начала XX века (ААНИИ). Черными толстыми линиями показаны фазы потепления

в атмосферу в результате ускоренного развития промышленности, прежде всего, нефтегазовой отрасли.

В научной литературе в последнее время публикуется много работ, в которых на основе математического моделирования показывается влияние выбросов углекислого газа на потепление климата. Их анализ не является предметом нашей статьи. Однако мы хотели бы обратить внимание на то обстоятельство, что в большинстве работ, посвященных моделированию климата, как правило, специально не рассматривается очень важный и в определенном смысле ключевой вопрос: что же является непосредственной причиной внезапного наступления периодов резкого потепления климата на Земле, особенно в Арктическом регионе? Этот вопрос естественным образом возникает при взгляде на известную кривую изменения температуры для Арктики в XX и XXI вв. (рис. 1), где хорошо просматриваются две фазы резкого подъема усредненной температуры на фоне ее межгодовых колебаний. Первая фаза заметного подъема приходится на двадцатилетний период времени 1920–1940 гг., а вторая фаза потепления, длящаяся последние 40 лет, началась при-

мерно в 1980 г. С позиций антропогенно-промышленной концепции изменения климата следует, что именно в отмеченные периоды резкого потепления выбросы углекислого газа в атмосферу должны были заметно возрастать за счет существенного роста интенсивности производства соответствующих отраслей промышленности. Так ли это было на самом деле? На этот вопрос, по всей видимости, можно было бы получить кон-

кретный ответ, если проанализировать соответствующие статистические данные по динамике мирового промышленного производства, которые автору, к сожалению, недоступны.

Наряду с широко распространенной антропогенной теорией современного потепления глобального климата, рассматриваются возможности влияния на современный климат Земли и природных факторов. В частности, для Арктики, испытывающей самое интенсивное современное потепление, большое значение придается выбросам метана, которые, как предполагается рядом исследователей (с их результатами можно ознакомиться в первых шести работах из списка литературы), могут быть вызваны процессами таяния мерзлоты и деградации газогидратов, в результате чего освобождаются большие объемы метана, обладающего сильным парниковым эффектом. При этом причиной таяния мерзлоты и деградации газогидратов считается фоновое повышение температуры поверхности Земли за счет различных возможных факторов, например в результате голоценовой трансгрессии Северного Ледовитого океана на шельф (показано в работах Шаховой и др. от 2015

и 2017 гг.) и т. д. Не вдаваясь здесь в обсуждение и анализ разных тепловых моделей, показывающих возможности нагрева поверхностного слоя Земли, зададимся одним принципиальным вопросом: какова вероятность того, что медленный природный процесс нагрева значительной площади поверхности Земли (включая Арктический шельф и примыкающие участки суши), который характеризуется большими временными масштабами в десятки и сотни тысяч лет, именно в наше время достиг критической точки начала повсеместного таяния мерзлоты и разрушения газогидратов, вызвавших интенсивные выбросы метана, приведшие, как полагают, в силу парникового эффекта к современным резким фазам потепления климата в Арктике? Вероятность реализации такой цепи событий представляется чрезвычайно низкой. Отсюда – необходимость поиска и анализа других, альтернативных по отношению к чисто тепловым, физических механизмов быстрого потепления климата в Арктике. Один из таких возможных механизмов, впервые предложенный автором на заседании Президиума РАН 10 марта 2020 г. (можно ознакомиться в бюллетене Центра экономики Севера и Арктики), излагается в настоящей работе.

СИЛЬНЕЙШИЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ В АЛЕУТСКОЙ ЗОНЕ СУБДУКЦИИ, ТЕКТОНИЧЕСКИЕ ВОЛНЫ И ТРИГГЕРНЫЙ МЕХАНИЗМ АКТИВИЗАЦИИ ЭМИССИИ МЕТАНА В АРКТИКЕ

Очевидно, что рассматриваемые природные механизмы, гипотетически способные вызвать внезапные фазы резкого изменения (потепления в осенне-зимний период) климата в Аркти-

ческом регионе, должны отвечать двум основным критериям: во-первых, они должны иметь резкий скачкообразный характер проявления и, во-вторых, обладать достаточно большой мощностью и крупномасштабным (региональным) воздействием. Под эти критерии в принципе подходят, например, весьма изменчивые океанские (Атлантические) течения или стоки Великих Сибирских рек в Северный Ледовитый океан и т. д. В этих случаях, однако, необходимо установить причину резких изменений режимов рассматриваемых процессов, показать их приуроченность к фазам резкого изменения климата в Арктике и объяснить конкретный механизм, приводящий к такому изменению (потеплению...).

Если обратиться к эндогенным геодинамическим процессам в недрах Земли, отвечающим вышеуказанным критериям, то наиболее очевидным кандидатом на эту роль представляются сильнейшие мега-землетрясения, происходящие в зонах субдукции, которые характеризуются, во-первых, огромной энергией и, во-вторых, крупномасштабным региональным воздействием на окружающие области литосферы. Самой близкой к Арктическому региону зоной субдукции является Алеутская островная дуга, обрамляющая Арктический регион с юго-востока, где происходит процесс погружения в мантию северо-западной части Тихоокеанской литосферной плиты, который во многом определяет геологическую эволюцию Арктики.

Алеутская дуга находится на расстоянии 2000–3000 км от Арктического шельфа. В связи с этим возникают три основных вопроса, ответы на которые должны быть даны в рамках предлагаемого сейсмогенного механизма резкой активизации эмиссии метана и соответствующего потепления климата в Арктике. Первый вопрос

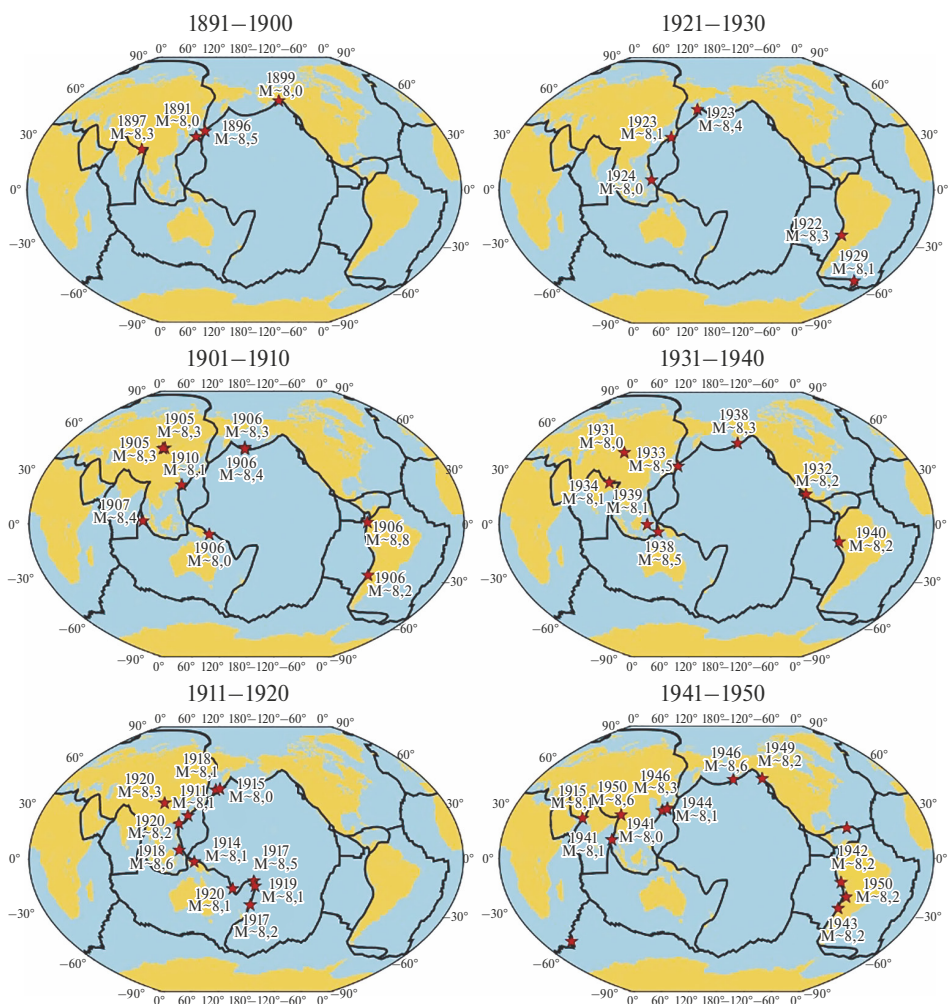


Рис. 2. Эпицентры сильнейших землетрясений в период с 1891 по 1950 гг. Черными линиями показаны границы плит по модели NUVEL-1, красными звездочками – эпицентры землетрясений с M 8.0

касается корреляции между фазами быстрого потепления климата и периодами возникновения сильнейших землетрясений в Алеутской зоне субдукции. Второй вопрос связан с механизмом передачи возмущений в литосфере, обусловленных сильнейшими землетрясениями, от Алеутской островной дуги в область арктического шельфа, соответствующий наблюдаемым пространственно-временным соотношениям. Наконец, третий вопрос заключается в самом механизме воз-

действия сейсмогенного возмущения на газонасыщенные мерзлые породы и газогидраты арктического шельфа, приводящего к освобождению метана и его выбросам в атмосферу.

Рассмотрим последовательно указанные три вопроса. Первый вопрос о том, существует ли корреляция между фазами резкого потепления климата в Арктике и периодами наибольшей сейсмической активности в Алеутской островной дуге, предполагает, в первую очередь, обратиться к историческим

сведениям о наиболее крупных сильнейших землетрясениях с магнитудой больше 8.0 произошедших в пределах Алеутской дуги за интересующий нас период с начала XX в. и до наших дней. На рис. 2 и 3 (подготовленных И.С. Владимировой), представлены исторические данные по самым крупным сильнейшим землетрясениям с магнитудой, равной или больше 8.0, для всей Земли за период с 1891 г. по настоящее время в виде набора карт эпицентров этих событий с временной разбивкой по 10 лет.

Выделяя на этих картах Алеутскую зону субдукции, можно видеть беспрецедентно мощную серию из трех сильнейших катастрофических землетрясений, произошедших в Алеутской дуге за короткий промежуток времени с 1957 по 1965 гг. Это сильнейшее землетрясение, произошедшее в 1957 г. в центральной части дуги с магнитудой $M = 8.6$; сильнейшее землетрясение, произошедшее в 1964 г. на восточном конце дуги с предельной магнитудой $M = 9.3$ (Аляскинское землетрясение); и наконец, сильнейшее землетрясение, произошедшее в 1965 г. в западной части дуги магнитудой $M = 8.7$.

После этих событий Алеутская островная дуга находилась в условиях относительной сейсмической «тишины» в смысле отсутствия сильнейших землетрясений с магнитудой порядка 8.0 вплоть до наших дней за исключением одного события с $M = 8.0$, произошедшего в центральной части дуги в 1986 г. Получается, что между ударной серией из трех сильнейших мега-землетрясений, произошедших в Алеутской островной дуге, и стартом изменения климата в Арктике в 1980 г. прошло около 15–20 лет. Это означает, что в рамках предполагаемого сейсмогенного механизма воздействия на климат в Арктике возмущения в литосфере, вызванные сильнейшими землетрясе-

ниями в Алеутской дуге, должны пройти расстояние более 2000 км до Арктического шельфа примерно за 20 лет, т. е. средняя скорость распространения такого рода возмущений в литосфере должна быть порядка 100 км/год.

Теперь перейдем ко второму вопросу – о механизме медленной передачи литосферных возмущений с указанной выше скоростью. Здесь следует подчеркнуть, что, в отличие от упругих сейсмических волн, быстро распространяющихся в литосфере со скоростью около 8 км/сек, в нашем случае рассматриваются принципиально другие, так называемые тектонические или деформационные волны в литосфере которые характеризуются крупномасштабными возмущениями литосферы как цельной упругой плиты, подстилаемой высоковязким астеносферным слоем. Впервые задачу о возможности медленного распространения деформаций в литосфере, рассматриваемой как квазиоднородный упругий слой, лежащий на вязком основании, рассмотрел В. Эльзассер (W.Elsasser) в 1967 г. Он показал, что в простейшем случае горизонтальных деформаций в литосферном слое возмущение, вызванное скачкообразным начальным смещением, описывается простым уравнением диффузии. В последующих работах, в частности, в статье Дж. Мелоса было показано, что тектоническая диффузия напряжений в литосфере по Эльзассеру может объяснить миграцию сейсмической активности после сильнейших землетрясений. Например, миграцию афтершоков после землетрясения в Алеутской дуге 1965 г. ($M = 8.7$) на расстояние около 300 км по Тихоокеанской плите со средней скоростью порядка 100 км/год. Таким образом, можно констатировать, что в принципе существует механизм медленной передачи возмущений деформаций и напряжений по литосферному

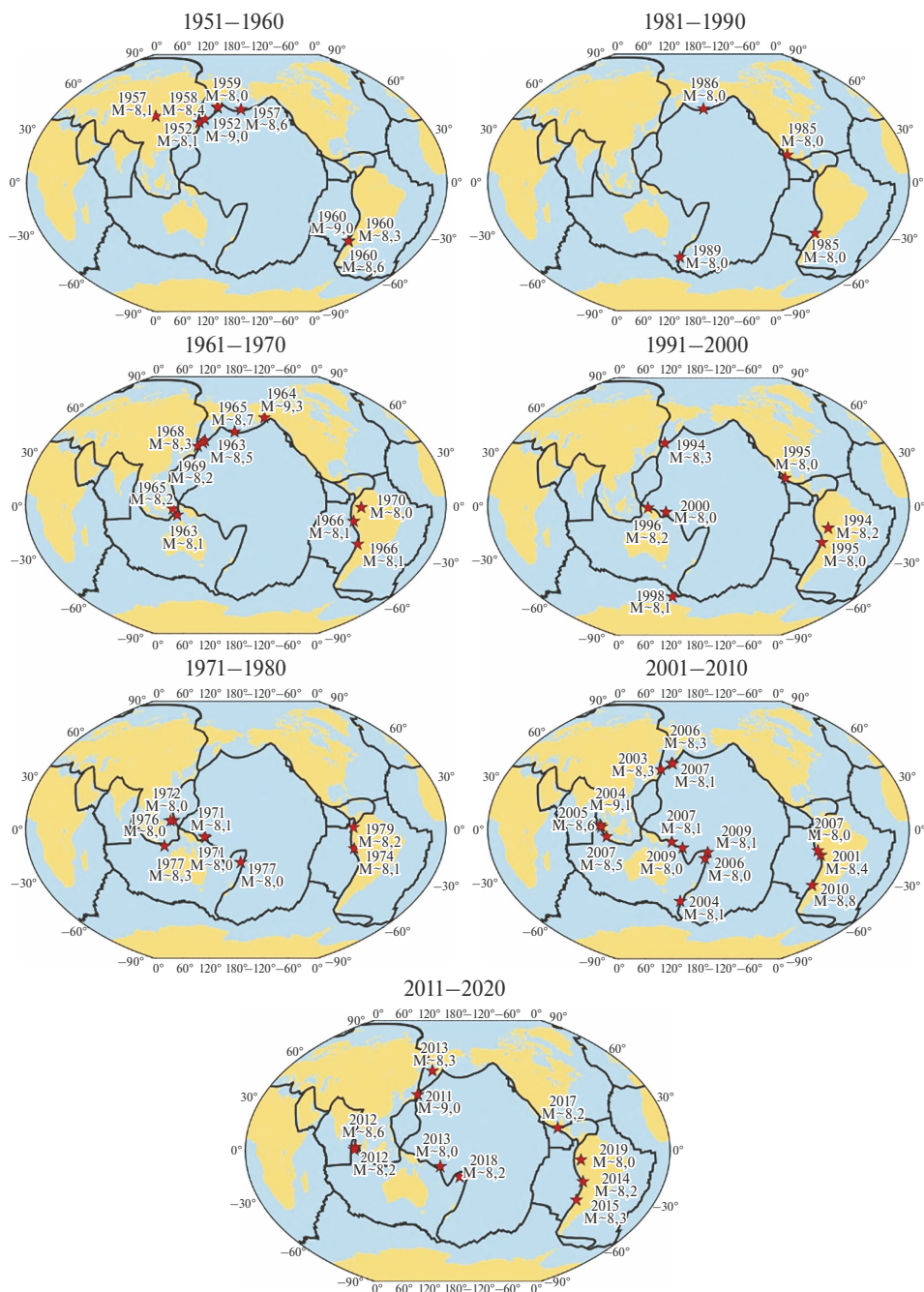


Рис. 3. Эпицентры сильнейших землетрясений в период с 1951 по 2020 г. Черными линиями показаны границы плит по модели NUVEL-1, красными звездочками – эпицентры землетрясений с $M = 8.0$

слою со скоростью около 100 км/год, хотя сами возмущения сильно затухают и замедляются по мере удаления от источника возмущения в соответствии с диффузионным механизмом Эльдассера, описывающим распространение чисто горизонтальных смещений в системе литосфера – астеносфера. Значительно меньшее затухание возмущений и большее расстояние их распространения в литосфере получается, если использовать колебательную модель И.А. Гарагаша для системы литосфера–астеносфера с учетом фазового перехода на подошве литосферы. Обобщение этой модели на случай упруго-изгибных деформаций литосферы, включающих, наряду с горизонтальными, вертикальные смещения, позволяет, по оценкам ее автора, описать волновой режим дальнего распространения возмущений со скоростью порядка 100 км/год при небольшом их затухании (рис. 4).

Рассмотрим, наконец, третий из указанных выше вопросов, касающихся гипотезы сейсмогенно-триггерного механизма активизации эмиссии метана в Арктике. Речь пойдет о возможном триггерном эффекте возмущений напряженно-деформированного состояния литосферы Арктического шельфа и прилегающих областей суши, вызванных мега-землетрясениями в Алеутской зоне субдукции, который может приводить к резкому усилению выбросов метана из газонасыщенных многолетнемерзлых пород и ледовых образований, а также из метастабильных га-

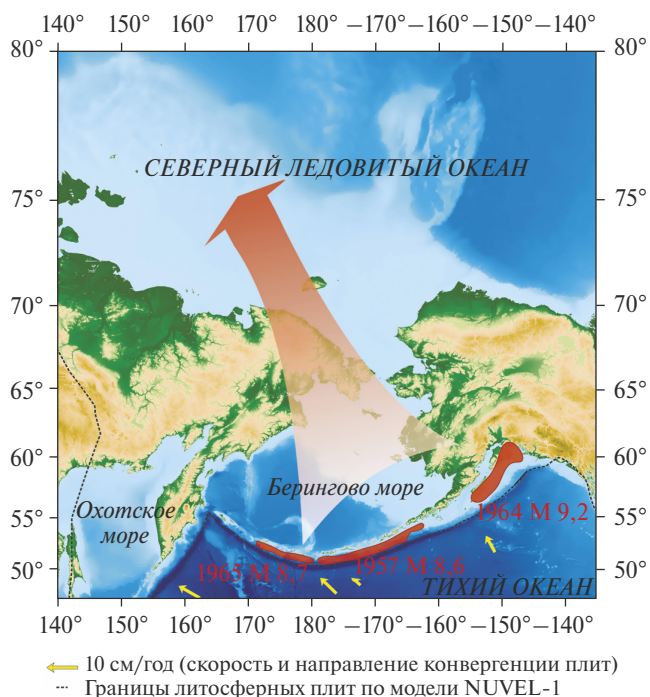


Рис. 4. Очаги сильнейших землетрясений в Алеутской зоне субдукции во второй половине 20-го века и направление распространения тектонического возмущения в Арктику. Красные области соответствуют очаговым зонам

зогидратов, широко представленных в верхних этажах осадочного слоя Арктического региона.

Следуя работе Г. Баренблатта и др., будем исходить из обобщенной модели многолетнемерзлого гидратсодержащего пласта, включающего следующие четыре компонента: 1) несущая матрица – обычная осадочная порода, характеризующаяся «нормальной» проницаемостью и пористостью, в которой имеются низкопроницаемые включения, состоящие из 2) блоков льда, 3) метастабильных газогидратов и 4) микроканалов и микропор, содержащих свободный газ и имеющих существенно надмолекулярные размеры (рис. 4). Предполагается, что в начальном состоянии системы внутреннее давление газа в микроканалах и микропорах

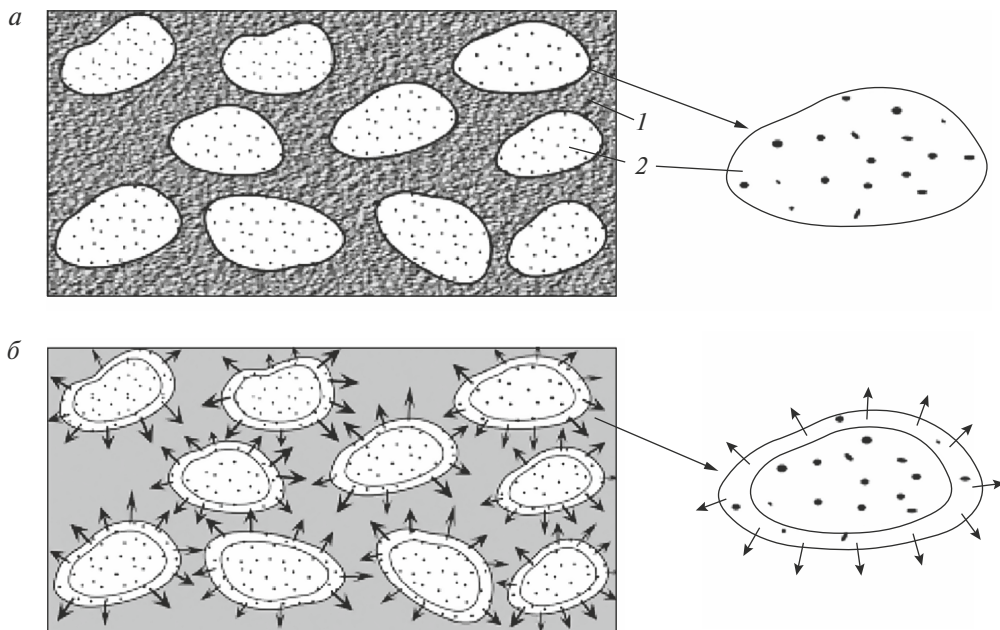


Рис. 5. а) Структура среды, состоящей из пористой минеральной матрицы с включениями газонасыщенного льда и газогидратов до начала движения, вызванного внешним воздействием; 1 – матрица, 2 – включения; б) истечение газа из включений в пористую среду под воздействием изменения внешнего давления

такое же, как и в окружающей матрице, и газ в них остается запертым. Когда в окружающей включение матрице давление газа снижается, на границах включений создается большой градиент давления из-за очень малых размеров микропор, хотя разность давлений в породе и включениях может быть мала. Градиент давления из-за конечной прочности микроканалов и пор приводит к разрушению поверхностного слоя включений, создавая во включениях пограничный слой, имеющий повышенную проницаемость. Через этот слой происходит истечение газа из включений в проницаемую матрицу, так что область пониженного давления перемещается вглубь включения (рис. 5).

Предлагаемая модель микроструктуры включений согласуется с результатами экспериментальных исследова-

ний образцов агломерата, состоящего из газогидратов и блоков газонасыщенного льда, выполненных на кафедре геокриологии геологического факультета МГУ. В ходе микроструктурных исследований были обнаружены следующие физические свойства образцов агломерата «лед–газогидрат»: образцы были представлены массой кристаллов льда, содержащих вытянутые микроканалы диаметром 0.001–0.003 мм, выделяющие значительные количества газа при оттаивании; пузырьки газа появлялись в теле образца на начальной стадии его оттаивания, приводя к расширению микроканалов и их проникновению в незатронутую оттаиванием часть образца. При интенсивном оттаивании пузырьки заполняли весь объем образца без видимого нарушения его формы, т. е. микроканалы быстро проникали внутрь тела образца.

Наблюдаемый в этих опытах процесс разрушения микроканалов, сопровождающийся интенсивным выделением газа, подсказывает физический механизм деградации агломерата «лед – газогидрат» за счет образования связанной системы микропор и микротрещин, заполненных газом, в результате действия значительного градиента давления. Механизм зонального разрушения микроструктуры агломерата «лед – газогидрат – газонаполненные микроканалы» может также объяснить процесс расконсервации метастабильных газогидратов, существующих при отрицательных температурах благодаря возникновению тонкой непроницаемой ледовой оболочки, приводящей к самоконсервации газогидратов.

Описанный механизм зонального разрушения микроструктуры многолетнемерзлых газонасыщенных пород, содержащих лед и метастабильные газогидраты, под действием незначительного изменения внешнего давления, приводит к заключению, что даже небольшие региональные изменения напряжено-деформированного состояния литосферы и ее осадочного слоя могут вызвать освобождение достаточно больших объемов запертого в нем газа, его фильтрацию через среду с двойной пористостью (несущая порода с включениями) и последующие выбросы в водную толщу и атмосферу.

В этом и состоит в конечном счете предлагаемый нами физический механизм резкой активизации эмиссии метана и потепления климата в Арктике как следствие сильного механического возмущения краевой области арктической литосферы, вызванного сильнейшими землетрясениями в Алеутской зоне субдукции, передачи этого возмущения в область арктического шельфа и прилегающей суши, и триггерного эффекта высвобождения метана из многолетнемерзлых ледово-осадочных

пород и метастабильных газогидратов. Исходя из представленной концепции, логично сделать ретроспективный прогноз о том, что непосредственно перед началом резкого потепления климата в Арктике в 1980 г. на арктическом шельфе и прилегающих участках суши должны были резко активизироваться выбросы метана в атмосферу, которые, возможно, удастся установить по архивным данным. Проверка данного ретроспективного прогноза необходима для подтверждения изложенной здесь гипотезы.

Еще один вопрос, который встает в связи с изложенной здесь сейсмогенно-триггерной гипотезой, относится к более ранней фазе резкого потепления климата в Арктике, которая началась в 1920 г. и завершилась около 1940 г. (рис. 1). Время наступления этой фазы, также как в описанном выше случае, коррелирует с более ранней серией сильнейших землетрясений в Алеутской дуге примерно с тем же временным лагом. Действительно, в соответствии с историческими данными по сильнейшим землетрясениям (см. рис. 2) в Алеутской островной дуге в 1899 г. произошло сильнейшее землетрясение с магнитудой $M = 8$, а в 1906 г. в западной части Алеутской дуги произошли сразу два сильнейших землетрясения с магнитудами $M = 8.3$ и $M = 8.4$. Затем более 20 лет в этой зоне субдукции было затишье по сильнейшим землетрясениям с магнитудой больше 8.0. Таким образом, время между более ранней ударной серией из трех сильнейших землетрясений в Алеутской дуге (1899 г. $M = 8.0$; 1906 г. $M = 8.3$ и $M = 8.4$) и началом первой фазы резкого потепления в 1920 г. составляет около 20 лет, что соответствует временному лагу между рассмотренной выше ударной серией из трех сильнейших землетрясений середины XX в.: в 1957, 1964 и 1965 гг. и началом второй фазы

резкого потепления климата в 1980 г. Таким образом, обеим фазам резкого потепления климата в Арктике в 1920 и 1980 гг. предшествовали ударные серии из трех сильнейших землетрясений в Алеутской зоне субдукции, произошедшие раньше этих климатических событий на 20 лет.

В заключение отметим, что изложенный здесь сейсмогенно-триггерный механизм резкой активизации эмиссии метана и потепления климата в Арктике представляет собой новый взгляд на проблему, который, безусловно, должен быть подвергнут всесторонней проверке и анализу как с точки зрения фактических данных, так и в плане детальной проработки физико-математических основ развиваемой новой концепции.

Литература

1. Kvenvolden K.A. Methane hydrates and global climate // *Glob. Biogeochem. Cycles*. – 1988. – No. 2. – P. 221–229.
2. Koven C.D., Ringeval B., Friedlingstein P., Ciais P., Cadul P., Khvorostyanov D., Krinner G., Tamocai C. Permafrost carbon-climate feedback accelerated global warming // *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* – 2011. – No. 108(36). – P. 14769–14774. DOI: 10.1073/pnas.1103910108
3. Shakhova N., Semiletov I., Sergienko V., Lobkovsky L., Yusupov V., Salyuk A., Salomatin A., Chernykh D., Kosmach D., Panteleev G. et al. The East Siberian Arctic Shelf: Towards further assessment of permafrost-related methane flux and role of sea ice // *Philos Trans A Math Phys Eng Sci*. – 2015. – No. 373(2052). – 20140451. DOI: 10.1098/rsta.2014.0451
4. Shakhova N., Semiletov I., Gustafsson O., Sergienko V., Lobkovsky L., Dudarev O., Tums-koy V., Grigoriev M., Mazurov A., Salyuk K. et al. Current rates and mechanisms of subsea permafrost degradation in the East Siberian Arctic Shelf // *Nature Comms*. – 2017. – No. 8. – 15872. DOI: 10.1038/ncomms15872
5. Сергиенко В.И., Лобковский Л.И., Семилетов И.П. и др. Деградация подводной мерзлоты и разрушение гидратов шельфа морей Восточной Арктики как возможная причина «метановой катастрофы»: некоторые результаты комплексных исследований 2011 года // Доклады академии наук. – 2012. – № 3 (446). – С. 330–335.
6. Богоявленский В.И., Сизов О.С., Богоявленский И.В., Никонов Р.А., Каргина Т.Н. Дегазация Земли в Арктике: комплексные исследования распространения бугров пучения и термокарстовых озер с кратерами выбросов газа на полуострове Ямал // Арктика: экология и экономика. – 2019. – № 4(36). – С. 52–68. DOI: 10.25283/2223-4594-2019-4-52-68
7. Мониторинг социально-экономического развития Арктической зоны России. Инф. бюлл. Вып. 50 (1–31 марта 2020). Центр экономики Севера и Арктики. – 2020. – С. 21–22. <https://ru.arctic.ru/climate/20200310/931884.html>
8. Лаверов Н.П., Лобковский Л.И., Кононов М.В., Добрецов Н.Л., Верниковский В.А., Соколов С.Д., Шпилов Э.В. Геодинамическая модель развития Арктического бассейна и примыкающих территорий для мезозоя и кайнозоя и внешняя граница континентального шельфа России // *Геотектоника*. – 2013. – № 1. – С. 3–35. DOI: 10.7868/S0016853X13010050
9. Лобковский Л.И., Шпилов Э.В., Кононов М.В. Геодинамическая модель верхнемантийной конвекции и преобразования литосферы Арктики в мезозое и кайнозое // *Физика Земли*. – 2013. – № 6. – С. 20–38. DOI: 10.7868/S0002333713060100
10. Elsasser W.V. Convection and stress propagation in the upper mantle: in *The Application of Modern Physics to the Earth and Planetary Interiors*, ed. by S. K. Runcorn. – John Wiley, N.Y., 1967. – P. 223–246.
11. Melosh H.J. Nonlinear stress propagation in the Earth's upper mantle // *J. Geophys. Res.* – 1976. – No. 32(81). – P. 5621–5632.
12. Гарагаи И.А. Фазовые переходы как возможный источник колебательных движений литосферы // Докл. АН СССР. – 1984. – № 5 (297). – С. 1069–1073
13. Баренблатт Г.И., Лобковский Л.И., Нигматулин Р.И. Математическая модель истечения газа из газонасыщенного льда и газогидратов // Доклады академии наук. – 2016. – № 4 (470). – С. 458–461. DOI: 10.7868/S0869565216280148
14. Ершов Э.Д., Лебеденко Ю.П., Чувилин Е.М., Якушев В.С. Экспериментальные исследования микростроения агломерата лед – гидрат метана // *Инж. Геология*. – 1990. – № 3. – С. 38–44.
15. Якушев В.С. Природный газ и газовые гидраты в криолитозоне. – М.: ВНИИГАЗ, 2009. – 192 с.
16. Лобковский Л.И., Рамазанов М.М. К теории фильтрации с двойной пористостью // Доклады академии наук. – 2019. – № 3(484). – С. 348–351. DOI: 10.31857/S0869-56524843348-351

С новыми книгами
Издательства “Наука”
вы можете ознакомиться на сайте
naukabooks.ru



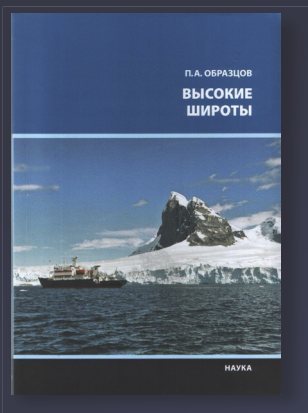
Капанадзе А.Л.

**Опытным путем:
Эксперименты, изменившие мир.**

М.: Наука, 2019. - 319 с.

В книге рассказывается об основных вехах в развитии экспериментальных методов в самых разных областях наук о природе, человеке и обществе – физике, химии, астрономии, биологии, физиологии, медицине, археологии, социологии, психологии, экономике. Охвачен период с античных времен до наших дней. Читатель узнает о знаменитых и малоизвестных опытах, оказавших огромное влияние на формирование наших представлений о мире и о нас самих. Большое внимание автор уделяет не только истории приборов и технологий, но и истории идей. Затрагиваются проблемы отличия классического эксперимента от наблюдения (когда опыт «ставит» сама природа), преемственности технических инноваций, влияния общественного климата на работу экспериментатора, роли случайности в этой работе.

Для широкого круга читателей.



Образцов П.А.

Высокие широты.

М.: Наука, 2018. – 192 с. – (Научно-популярная литература)

Книга повествует об открытии и освоении Арктики и Антарктики, этих двух полюсов холода и мужества, об отважных героях, благодаря которым человечество узнало о природе, животном мире самых северных и самых южных земель, а также о том, какая непростая и вместе с тем увлекательная жизнь идет сегодня в этих суровых, таинственных и манящих краях.

Для широкого круга читателей.



Верещагин Г.В., Аксенов А.Г.

Релятивистская кинетическая теория с приложениями в астрофизике и космологии.

М.: Наука, 2018. – 471 с.

Релятивистская кинетика широко применяется в астрофизике и космологии. В последние годы интерес к этой теории вырос, поскольку появилась возможность ставить эксперименты при таких условиях, где релятивистские эффекты становятся существенными. Настоящая монография состоит из трех частей. В первой части представлены основные идеи и концепции, уравнения и методы теории, включая вывод кинетических уравнений из релятивистской цепочки Боголюбова, а также соотношение кинетического и гидродинамического описаний. Вторая часть – это введение в вычислительную физику, причем особое внимание уделяется численному интегрированию уравнений Больцмана и смежным вопросам, а также многокомпонентной гидродинамике. В третьей части дан обзор приложений, который охватывает вопросы ковариантной теории отклика, термализации плазмы, комптонизации в статических и динамических средах, кинетики самогравитирующих систем, образования структуры в космологии и излучения нейтрино при гравитационном коллапсе.

Для студентов старших курсов университетов, аспирантов и исследователей, специализирующихся в области теоретической физики, астрофизики и космологии.

СЕЙСМИЧЕСКИЕ ДЕФОРМАЦИИ В ДРЕВНЕМ ПОСЕЛЕНИИ КЫРКХУДЖРА, РАСПОЛОЖЕННОМ НА ВЕЛИКОМ ШЕЛКОВОМ ПУТИ В ПАПСКОМ РАЙОНЕ УЗБЕКИСТАНА



КОРЖЕНКОВ
Андрей Михайлович,
доктор геолого-минералогических наук
Институт физики Земли им. О. Ю. Шмидта
РАН

АНАРБАЕВ
Абдулхамид Анарбаевич,
доктор исторических наук, профессор
Национальный центр археологии АН
Республики Узбекистан

УСМАНОВА Махира Турабовна,
кандидат физико-математических наук
Институт сейсмологии АН
Республики Узбекистан

ЗАХИДОВ Тахир Камилович,
Институт сейсмологии им. Г.А. Мавлянова
АН Республики Узбекистан

МАКСУДОВ
Фарход Алижанович,
кандидат исторических наук
Национальный центр археологии АН
Республики Узбекистан

САИДОВ Муминхин Мунир угли,
кандидат исторических наук
Национальный центр археологии АН
Республики Узбекистан

КУБАЕВ Сурад Шавкатович,
кандидат исторических наук
Национальный центр археологии АН
Республики Узбекистан

НАСРИДДИНОВ Шукурулла
Нарзуллаевич
Наманганский государственный универси-
тет, Республика Узбекистан

РОДИНА Светлана Николаевна,
кандидат геолого-минералогических наук
Институт физики Земли им. О. Ю. Шмидта
РАН

ВАРДАНЯН Асмик Ашотовна,
кандидат физико-математических наук
Институт физики Земли им. О. Ю. Шмидта
РАН

DOI: 10.7868/S0044394820060043

Полученные в ходе археологических и палеогеографических исследований результаты свидетельствуют о том, что дельтовая часть Гавасая (притока р. Сырдарья) была освоена в X в. до н.э., и здесь в течение около 500 лет процветало поливное земледелие. В V в. до н.э. на территории городища Кыркхуджра строится город Пап (Баб) площадью более 10 га. Он состоял из трех частей: цитадель, шахристан и пригород (рабад). Через 4 века Кыркхуджра, как все города Северной Ферганы, пострадал в 90-х гг. до н.э. вследствие сильного землетрясения. После этого на Кыркхуджре были построены новые крепостные стены шириной до 8 м, при этом старые используются как фундамент. В конце IV–V в. н.э. вследствие сильных разрушений во время следующего землетрясения население покидает городище Кыркхуджра. Выявленные во время исследований сильные разрушения и повреждения специфической структуры однозначно указывают на сейсмический генезис деформаций на городище Кыркхуджра. Судя по факту невозможности определить систематику деформаций в руинах Кыркхуджры, очаг древнего землетрясения располагался неподалеку от городища.

Само оно находится на размытых адырах, растущих внутривпадинных антиклинальных поднятиях. За их образование, рост и сейсмическую активность отвечают сейсмоактивные разломы, залегающие под адырами. Разрывные плоскости, сформировавшиеся во время изученных древних и современных сильных землетрясений, располагаются под адырами. Анализ существующих геолого-тектонических материалов по району исследований позволил выявить геологические причины сейсмических процессов, которые предопределены новейшей историей тектонического развития и тем положением,

которое занимает Северо-Ферганская сейсмически активная зона в общей структуре Западного Тянь-Шаня. Необходимо учесть важный фактор повышения сейсмического риска в связи с тем, что Наманганская область расположена в предгорной территории, непосредственно в зоне Северо-Ферганского разлома и его одноименной флексурно-разрывной зоне. Тем самым Наманганская обл. находится в сфере их активного влияния. Резюмируя, отметим, что с одной стороны, геодинамические процессы, связанные с тектоническим режимом Северо-Ферганского разлома и его одноименной флексурно-разрывной зоной, продолжают развиваться. С другой стороны, с учетом повторяемости сильных землетрясений, отсутствие более 36 лет сильного землетрясения с магнитудой $M \geq 5.0$ в Наманганской сейсмогенной зоне является веской причиной для объявления тревоги ожидания сильного землетрясения с $M \geq 5.0$ в Наманганской области, в том числе в Папском районе, где расположен археологический памятник Кыркхуджра.

ВВЕДЕНИЕ

Данная работа уже четвертая в списке наших археосейсмологических исследований в Ферганской долине (рис. 1). В предыдущих – были описаны сильные сейсмические деформации, которые разрушили или сильно повредили древние города в Наманганской области Узбекистана (Ахсикент, Эйланта и Куюльтепа, Мугкала и Мугтепа), в древности располагавшиеся на одной из магистральных дорог Великого Шелкового пути. Выяснилось, что сейсмические очаги древних землетрясений выходили на поверхность не только в горных хребтах, обрамляющих Ферганскую впадину с юга и севера,

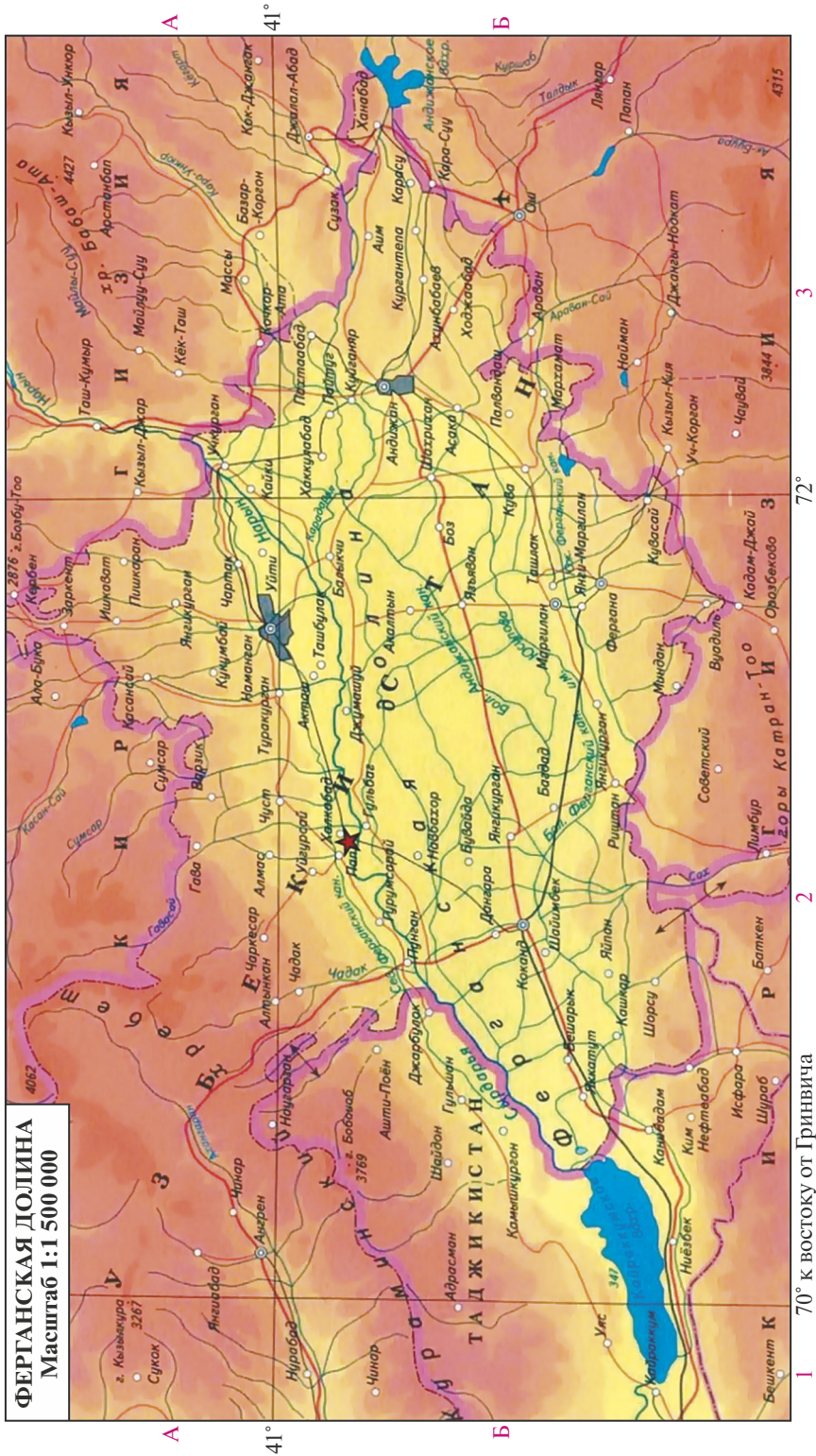


Рис. 1. Топографическая карта Ферганской долины. Местоположение исследованного археологического памятника Кыркуджра показан звездочкой

но и в самой долине – прямо на территории древних городищ. Эти разрывы рвали и смещали в горизонтальном направлении даже мощнейшие (до нескольких десятков метров в ширину) крепостные стены (Ахсикент, Эйлатан), разрушая и сильно повреждая все остальные постройки (Куюльтепа, Мугкала, Мугтепа).

По археологическим артефактам нам удалось выяснить возраст древних сейсмических катастроф. Колоссальный выплеск сейсмической энергии имел место в конце 90-х гг. I в. до н.э. В это время сейсмические разрывы вышли на поверхность в Ферганской долине прямо на территории крупнейших городов региона, таких как Эйлатан. Они разрушили также столицу древней Ферганы – город Фаргана-Ахсикет. Следующее сильное землетрясение в регионе, по археологическим данным, произошло в IV–V вв.¹ Оно разрушило древнюю Куюльтепу, а также город Гуйшуань (Мугтепа). Интенсивность древнего сейсмического события составила VIII–IX баллов. Следы этого землетрясения имеются и на городище Эски Ахси (Ахсикент). Аналогичное сильное землетрясение произошло позже: в XI – первой половине XII в. Следы этого сейсмического события были прослежены нами на ряде объектов Караханидского периода в шахристане и рабаде Ахсикета.

Были ли еще сильные землетрясения в Ферганской долине? «Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР с древнейших времен до 1975 г.» под ред. Н.В. Кондорской, В.М. Шебалина сообщает о Наманганском землетрясении 1494 г., $I_0 = VIII\text{--}IX$ баллов. Сведения об этом землетрясении отрывочные, разнящиеся по разными историческим источникам. Однако факт

сильного, разрушительного землетрясения в окрестностях г. Наманган в 1494 г. был подтвержден последующими исследованиями сейсмичности района.

Этот же каталог сообщает об Ахсинском землетрясении 1620 г. вблизи г. Наманган. В результате этого землетрясения г. Ахсы (Ахсикент) был разрушен до основания. По описаниям Мухаммеда-Тахири ибн Абул Касыми степень разрушения зданий и строений г. Ахсы, морфологические изменения земной поверхности (рельефа) соответствовали сейсмической интенсивности $I_0 = IX$ баллов, причем область максимальных разрушений (т.н. плейстосейстовая) располагалась в Северо-Ферганской сейсмогенной зоне.

Все собранные нами материалы являются не просто занятным археологическим экскурсом в историю, но уникальным параметризованным материалом для полноценной и долговременной оценки сейсмической опасности важнейшего региона Средней Азии, где сходятся границы трех государств и проживает более 10 миллионов человек. Если следы сильных землетрясений сравнительно хорошо сохраняются в горах, то на равнинах они очень быстро «залечиваются» – их уничтожает хозяйственная деятельность человека. XX век с его партийными планами, совхозами и колхозами, бульдозерами и экскаваторами особенно печально примечателен в этом отношении.

Наши археосейсмологические исследования – лишь начало пути. Территория Ферганской долины заселена уже многие тысячи лет, здесь находятся многочисленные археологические памятники – кладезь сейсмической информации, своего рода «окаменевшие сейсмоскопы», ждущие своих исследователей. Специальное изучение их поможет ответить на главные вопросы сейсмологии: «Где, какой

¹ В предыдущей работе оно было датировано I в. н.э.



Рис. 2. Космический снимок городища Кыркхуджа. Арабские цифры локализуют наши точки наблюдения – номера рисунков в данной работе. Снимок Google Earth

силы и когда?» Попытке ответить на эти вопросы посвящена и эта наша работа².

ИСТОРИКО-АРХЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Городище Кыркхуджа (Чильхуджа) находится в 2 км на юг от г. Пап, рядом с селением Келачи в Папском районе Наманганской области, на правом берегу реки Сырдарья. Данный уча-

²Мы использовали традиционный набор методов, изложенный в монографии Archaeoseismology. Основные методологические положения, разрабатываемые одним из авторов, были изложены в статьях А.М. Корженкова и Э. Мазора и последующих работах А.М. Корженкова и его соавторов.

сток расположен в дельте реки Гавасай – одном из правых притоков Сырдарьи³. Географические координаты памятника 40°50'54" северной широты и 71°06'43" восточной долготы, высота над уровнем моря 390 м (рис. 2). В географическом плане территория входит в равнинную часть правобережья Сырдарьи в северо-западной части Ферганской долины. Этот регион с севера окаймляет система Чаткало-Кураминских горных хребтов, с которых стекает множество сезонных и постоянных водотоков (саев), входящих в речную систему Гавасая. Памятник

³Памятник был зарегистрирован в 1982 г. М. Исамиддиновым, а изучен в 2012, 2013 и 2015 гг. специальным археологическим отрядом под руководством А. Анарбаева.

расположен на второй террасе Сырдарьи и представляет собой систему холмов (тепе) со средней высотой 5–8 м от основания, вытянутых с юго-запада на северо-восток. Холмы сложены лессовыми породами и аллювиальными отложениями. В естественных обнажениях видно, что данный участок в геологической истории подвергался воздействию сезонных селевых потоков, которые наносили слои речного песка, гальки и мелкозема. Почти вся поверхность объекта занята мусульманским кладбищем эпохи позднего Средневековья (XVII–XVIII вв.) и Нового времени.

Городище располагалось в оазисе Гавасая. Это один из самых крупных оазисов северной части Ферганской долины в пределах Наманганской области. Данная территория представляла собой плоскую равнину с небольшим общим уклоном по линии север-юг в сторону Сырдарьи. Благоприятный климат, обилие воды, мощные плодородные почвы, естественная мелиорация и дренирование почв из-за уклона, близость к источникам полезных ископаемых, а также расположение на трассе древнего Шелкового пути обусловили активное заселение данной территории еще на ранних этапах истории. Памятник представляет собой остатки руин города, площадью более 10 га, существовавшего в период с V в. до н.э. до IV–V вв. н.э.

С географической точки зрения в руинах поселения можно выделить самый высокий холм округлой формы с окружающей его плоской площадкой прямоугольной формы. Холм и площадка находятся на южной окраине памятника и отделены от остальной части останца углублением в виде русла эрозионных

стоков. Размеры и форма, вероятно, свидетельствуют о том, что это остатки цитадели города, т.е. часть поселения, где располагалась резиденция правителя. Далее можно предположить, что углубления в виде русел – это остатки рва, в свое время окружавшего цитадель. Остальная часть останцев, видимо, представляла собой основную часть города.

Раскопками в 2015 г. на цитадели и основном городе выявлена система крепостных стен толщиной до 5,3 м и платформ, возведенных глинобитным способом, иногда с использованием сырцовых кирпичей. Эта наиболее ранняя крепостная стена окружала цитадель и основную часть города и зафиксирована в нескольких точках. Этот период обживания городища обозначен первым строительным периодом и датируется V–IV вв. до н.э.

Заселение же данной территории началось в конце VI в. до н.э.

Через некоторое время крепостная стена цитадели перестраивается путем дополнения укреплений-панцирей к основной массе стены. Эти своего рода «рубашки» были сделаны с обеих сторон стены первого периода и имели толщину около 2,7 м каждая. В результате ширина крепостной стены достигла около 11 м. Эта перестройка второго строительного периода, видимо, была осуществлена в начале I в. до н.э. Точнее, эти монументальные оборонительные стены были возведены сразу после нашествия китайских войск в Фергану, что происходило, по-видимому, между 100–90 гг. до н.э. Такой технический способ укрепления старых стен хорошо известен в истории фортификации Средней Азии, в частности, в столичном городе Фаргана-Ахсикет.

Холмы сложены лессовыми породами и аллювиальными отложениями. В естественных обнажениях видно, что данный участок в геологической истории подвергался воздействию сезонных селевых потоков, которые наносили слои речного песка, гальки и мелкозема.

Позже, в третьем строительном периоде ранняя крепостная стена с «рубашками» прекращает функционировать, ее поверхность нивелируется и используется в качестве пола нового строения. В этот период возводится новая мощная крепостная стена, расположение которой свидетельствует о расширении нижней площадки цитадели. Эта новая крепостная стена тоже была построена глинобитным способом, имела мощность у основания 7,8 м и теперь уже включала в систему фортификации ров, вероятно, заполненный водой и, таким образом, усиливавший оборону цитадели. Крепостная стена третьего периода по археологическим материалам теперь датируется I в. до н.э.

На территории памятника культурные слои с наличием находок, которые могли бы датироваться после V в. н.э., не обнаружены. Видимо, в V в. н.э. население город покидает, и данная территория остается незаселенной вплоть до XVII в., когда на холмах памятника появляются полуземлянки и худжры чилляхана (землянки). Этот четвертый этап в жизни памятника был очень коротким, после того как перестали функционировать полуземлянки, его территория стала использоваться под кладбище вплоть до середины XX в.

Сравнительный анализ археологических и палеогеографических материалов показал, что ниже культурных слоев были зафиксированы агро-ирригационные слои мощностью 50–60 см и селевые отложения. Нам известно, что в Ферганской долине при орошении за год наносится слой около 1 мм, а при десятилетнем непрерывном орошении образуется слой отложений в 1 см. Исходя из этого, можно сделать вывод, что агро-ирригационные слои

мощностью 0,50–0,55 м могли образоваться в течение 500 лет. Значит, до появления города здесь процветало орошаемое земледелие, т.е. не позднее начала X в. до н.э. зародилось поливное земледелие, которым люди занимались в течение примерно 500 лет.

После этого, как показали исследования, происходит природная аномалия. Об этом свидетельствуют селевые отложения, которые были зафиксированы над агро-ирригационными слоями. Археологические материалы показывают, что в V в. до н.э. на месте городища Кыркхуджра (Чильхуджра) над вышеупомянутыми селевыми отложениям строится город площадью более 10 га, который функционировал до V в. н.э. От него сохранились всего лишь около 3,5 га.

Городище Кыркхуджра сегодня – пока единственный хорошо сохранившийся памятник эйлатано-актамской культуры древней Ферганы. Особенно важно то, что, как показали исследования, городище на самом раннем этапе своего существования в своей структуре имело все элементы, характерные для древнего города: укрепленную цитадель и шахристан (рис. 2). Цитадель состоит из двух частей: верхняя площадка и нижняя площадка. Здесь мощность культурного слоя составляет более 2 м. Судя по археологическим раскопкам, на верхней площадке находился донжон – сильно укрепленная часть цитадели, а на нижней площадке, видимо, располагался дворец правителя.

Шахристан также состоит из двух частей. Первый шахристан окружал цитадель с севера и с северо-востока. Сохранился он частично, где были зафиксированы культурные слои толщиной более 2 м. Второй шахристан сохранился так-

Сравнительный анализ археологических и палеогеографических материалов показал, что ниже культурных слоев были зафиксированы агро-ирригационные слои мощностью 50–60 см и селевые отложения.

же частично. Здесь мощность культурного слоя сравнительно мала. Комплекс материалов исследований, полученных на центральном холме, позволяет аргументированно отнести его к культовым сооружениям. Характер бережного, особого отношения к золе жителей города, характерное для поклонения огню, позволяет отнести это культовое сооружение к храмам подобного типа. Здесь мощность культурного слоя составляет один метр. На остальных участках второго шахристана мощность культурного слоя достигает всего лишь 0,5 м, а в северо-восточном участке, где проходит железная дорога, его толщина составляла 20–30 см, представленная в перемешанном или выветренном виде.

Как показали исследования, на севере и северо-востоке от шахристана располагался пригород (рабад), где размещались ремесленные кварталы. Но, к сожалению, эта часть города была уничтожена и распахана в 1960–70 гг. Сейчас эта зона занята под сельхозугодия.

Таким образом, полученные данные ставят Кыркхуджра в один ряд с такими крупными и важными памятниками, как Ахсикент, Ходжент и Канка. Их общие особенности состоят в том, что все они располагались на правом берегу Сырдарьи и были построены в один и тот же период. Известно, что период последних веков до нашей эры в истории среднеазиатского региона был бурным в политическом и общественно-культурном плане. Походы Александра Македонского в регион, начало Великого передвижения народов из Внутренней Азии на юг, юго-запад и запад, бурное развитие городской культуры, начало активного функционирования Великого Шелкового пути, походы китайских войск в целях получения богатств Ферганской долины, в частности, породистых лошадей, распространение различных религий, технологий, идей – все это произошло за короткий период, в течение двух-трех

столетий. В это время и позже караванный путь, связавший Восток с Западом, так называемый «Северный путь», проходил через Фергану. По этому пути китайский шелк и бронзовые изделия проникали в Северное Причерноморье, а обратно на Восток везли изделия из стекла, ферганских «небесных» лошадей, хлопок, фрукты и т.д.

Анализ археологических материалов дал возможность установить, что городская жизнь, прекратившаяся на городище Кыркхуджра, видимо, возобновилась на памятнике Баландтепа, расположенном в 1 км к западу. Жизнь на городище Баландтепа началась в первых веках нашей эры и достигла расцвета в VI–VIII вв. Городская жизнь продолжала развиваться и в IX–XII вв. на памятнике Темиркасмуктепа, расположенном к северу от Баландтепа. Также по сообщениям письменных источников, в эпоху Тимуридов (XIV–XVI вв.) городская жизнь переместилась на территории современного города Пап. Пап оставался одной из неприступных крепостей Ферганской долины. В частности, Бабур, среднеазиатский полководец, поэт и государственный деятель, живший в XV–XVI вв., в своей книге «Бабурнаме» не раз упоминает крепость Пап с отличной обороной, оказавшейся свидетелем многих важных политических событий.

КРАТКИЙ ОЧЕРК ГЕОЛОГО-ТЕКТОНИЧЕСКОЙ И СЕЙСМОЛОГИЧЕСКОЙ ИЗУЧЕННОСТИ РЕГИОНА

Объект археосейсмологических исследований, как уже было отмечено выше, расположен на территории Ферганской впадины, в 42 км на юго-западе от г. Намангана в Папском районе Наманганской области Узбекистана.

Согласно тектоническому (геодинамическому) районированию цент-

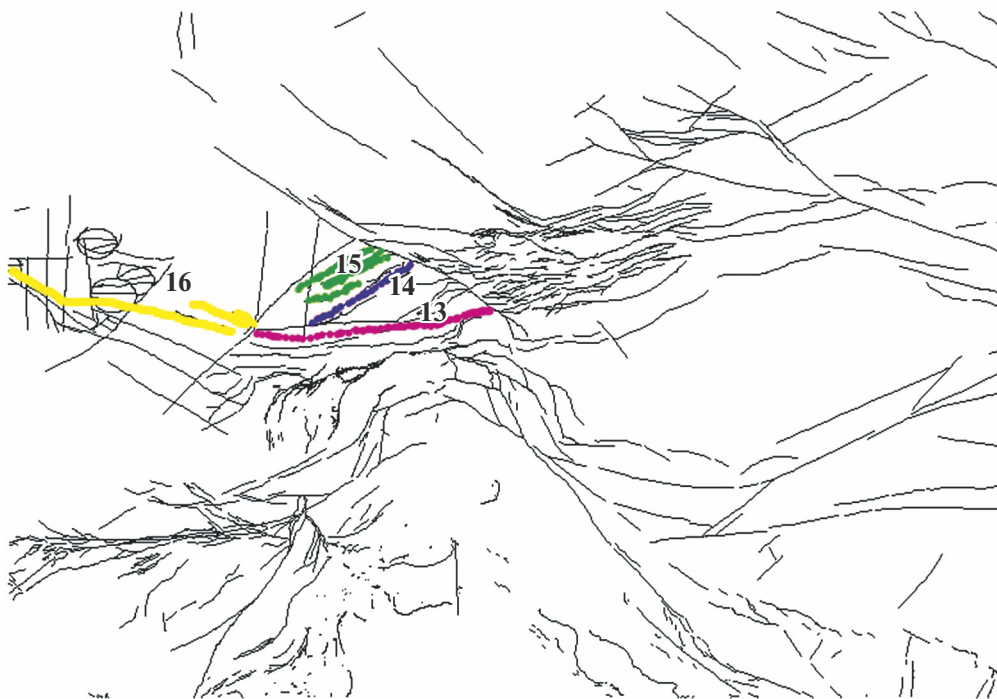


Рис. 3. Карта активных разломов Памиро-Тянь-Шаньской области (Трифонов В.Г., Соболева О.В., Трифонов Р.Г., Востриков Г.А. Современная геодинамика Альпийско-Гималайского коллизийного пояса // Москва, ГЕОС, 2002, 250 с.). Условные обозначения: 13 – Южно-Ферганский разлом; 14 – Северо-Ферганский разлом; 15 – Каржантауская система разломов

ральной части Западного Тянь-Шаня, на территории Ферганской впадины (Восточный Узбекистан) выделены главные глубинные контролирующие структуры: Южно-Ферганский разлом, Северо-Ферганский разлом и их одноименные флексурно-разрывные зоны.

Наманганская область расположена между Северо-Ферганским разломом и Северо-Ферганской флексурно-разрывной зоной, простираясь с северо-востока на юго-запад, охватывая предгорную полосу Кураминского хребта (рис. 3, 4, 5).

Северо-Ферганский разлом протяженностью 240 км, а зоны дизъюнктива шириной 5–25 км на юго-западе и до 20–25 км на северо-востоке. Время заложения разлома – верхний палеозой–ме-

зойское время (300–65 млн лет назад), морфология разлома – взбросо-надвиг.

Северо-Ферганский разлом в современном плане – естественная историческая граница между Чаткало-Кураминским срединным массивом и Ферганской депрессией, который протянулся от г. Бекабада на юго-западе до оз. Сарычелек на северо-востоке. Если на юго-западе ширина его зоны колеблется от 2–3 км до 5–10 км, то на северо-востоке, в районе Нанайской котловины ширина зоны разлома достигает 20–25 км.

На юго-западе до поперечных Кумбель-Кенкольских разломов Северо-Ферганский разлом представлен относительно узкой зоной. В пределах Кумбель-Кенкольского разломов – это линия, вероятно, с вертикальной плоскостью падения. Дальше, к северо-вос-

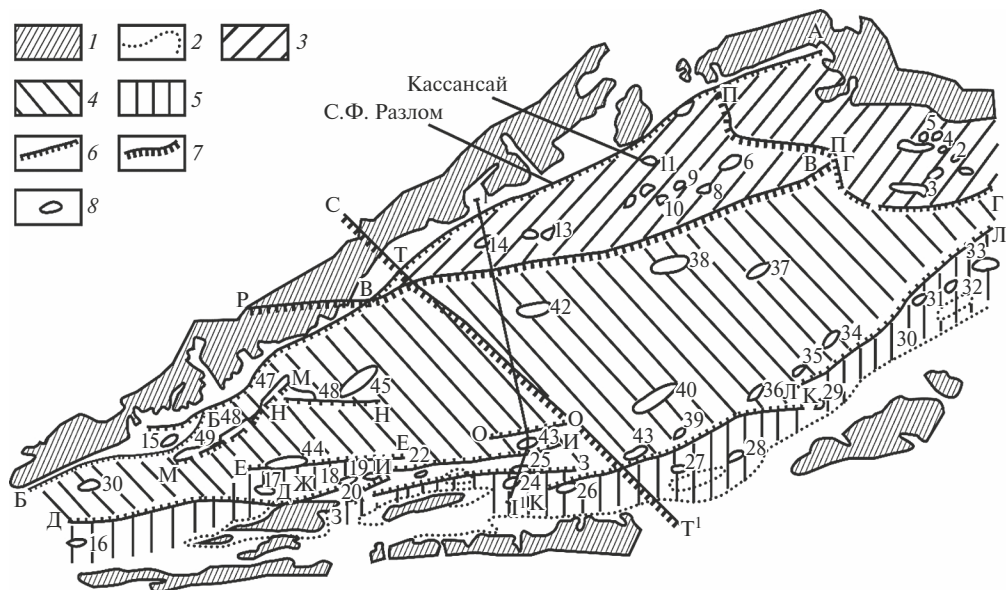


Рис. 4. Схема расположения важнейших разломов, флексур, антиклинальных складок Ферганской впадины (Зуннунов Ф.Х., Зильберштейн М.Б., Перельман И.И., Пак В.А., Пшеничная З.Д., Харитонов А.И., Грудкин К.А., Ефимов Г.П. Глубинное геологическое строение Ферганской межгорной впадины и его изучение геофизическими методами. //Ташкент, Изд-во ФАН, Узбекской ССР, 1973, 192 с.). Условные обозначения: 1 – выходы на поверхность домезозойских образований; 2 – линии размыва туркестанских слоев палеогена; 3 – северный борт; 4 – центральный грабен; 5 – южный борт; 6 – разломы; 7 – флексуры; 8 – антиклинальные складки изученные сейсморазведкой и выраженные в палеогеновых отложениях

току зона расщепляется, обтекая с северо-запада и юго-востока Бозбутауское поднятие. Северо-западная ветвь совпадает с зоной Чаткало-Атойнакского разлома, выходящего на оз. Сарычелек. Юго-восточная ветвь является естественной границей с Боястанской барьерной грядой Бозбутау.

Как заметили исследователи В.И. Попов, О.А. Рыжков, Д.Х. Якубов, отмечается постоянное надвигание Чаткало-Кураминских гор по Северо-Ферганскому разлому в сторону Ферганской впадины, которое выражено смещением осей новообразованных складок на 200–500 м в сторону Ферганской впадины.

Еще один важный факт – смещение Северо-Ферганского разлома в сторону полосы антиклиналей Чуст-Папская, Кассансайская, Наманганская, что и предполагали ранее В.И. Попов и О.А. Рыжков. Иными словами, разлом не находится, как обычно, в зоне контакта отложений палеозоя и мезокайнозоя, а смещен на 6–8 км на запад, юго-запад.

Смещение осей складок на юго-запад и юг, вероятно, происходит за счет влияния полей тангенциальных тектонических напряжений, возникающих в результате роста Чаткало-Кураминской мегантиклинали. Эти напряжения в условиях регионального субмеридионального горизонтального сжатия Тянь-Шаня могут привести к

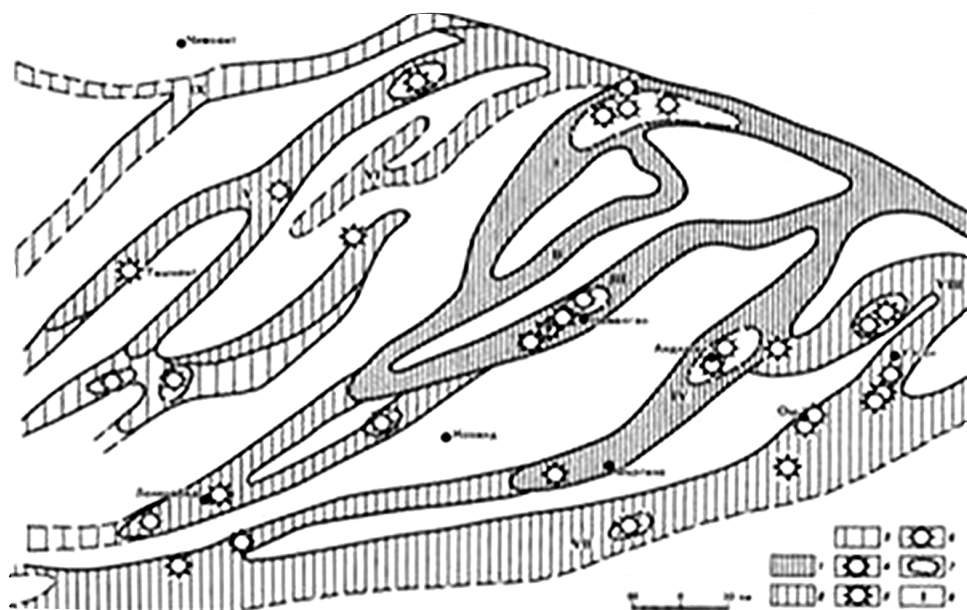


Рис. 5. Сейсмогенные зоны Восточного Узбекистана (Ибрагимов Р.Н. Сейсмогенные зоны Восточного Узбекистана и сейсмическое районирование. В кн.: Сейсмоструктура некоторых районов юга СССР // Москва, Наука, 1976, С. 48–66). Сейсмогенные зоны, где могут возникнуть землетрясения: 1 – с $M = 8.0$; 2 – с $M = 7.0$; 3 – с $M = 6.0$; эпицентры произошедших землетрясений: 4 – IX баллов; 5 – VIII баллов; 6 – VII баллов; 7 – плейстосейстовая область по макросейсмическим данным; 8 – номер сейсмогенных зон

интенсивной деформации толщ земной коры района Намангана, с обновлением существующих и появлением новых разломов, способных вызвать сильные сейсмические события.

Северо-Ферганская флексурно-разрывная зона длиной 110 км субпараллельно, расположена несколько юго-восточней Северо-Ферганской зоны, а также протягивается с юго-запада на северо-восток. Эта зона также неоднородна. Ее неоднородное строение также обусловлено расчленением на локальные зоны поперечными нарушениями. В целом амплитуды новейших движений увеличивают свой знак от положительных (+0,5–1 км) на северо-востоке до отрицательных (–5–6 км) на юго-западе. Зона сужается до 1,5–2 км в районе Бекабада и расширяется в районе Кызылджара на северо-вос-

токе. Здесь северная ветвь маскируется долиной р. Нарын, а южная переходит в Баубашинский разлом.

Для представления о сейсмичности района на базе каталогов составлен сводный каталог землетрясений Центральной Азии: региональный каталог землетрясений Центральной Азии и локальный каталог землетрясений Узбекистана за период с 2000 г. до н.э. по 2019 г. н.э., который включает в себя данные исторических землетрясений, современные землетрясения, инструментально зарегистрированные глобальными или региональными сетями, в т.ч. Узбекистана, а также данные локальной сети наблюдений. На основе сводного каталога землетрясений сделана выборка землетрясений для территории Наманганского региона, приведенная в таблице.

Список сильных землетрясений Наманганской области за период 1400–2019 гг., по данным сводного каталога

№ п/п	Название землетрясений	Дата	Географические координаты		Глубина Н, км	Магнитуда: M_L^{new} / M_W^{new}
			φ с. ш.	λ в. д.		
1	Наманганское*	1494 г.	41.00	71.60	6	5.1–5.5
2	Ахсинское	1620 г.	40.90	71.40	6	5.8–6.0
3	Наманганское	24.03.1908	40.90	71.00	26	5.4–5.7
4	Наманганское*	23.01.1912	41.00	71.70	12	5.2–5.6
5	Наманганское	12.08.1927	41.00	71.60	14	6.0–6.1
6	Наманганское	13.08.1941	40.80	71.30	20	5.1–5.5
7	Яртепинское*	18.01.1942	41.10	71.60	21	5.9–6.0
8	Балькчинское	30.04.1966	41.15	71.97	18	5.0–5.4
9	Папское	17.02.1984	40.85	71.06	20	5.5–5.6

Примечание: * отмечены землетрясения, произошедшие в зоне Чуст-Папской складки.

Как видно из таблицы, все сильные землетрясения с магнитудой $M \geq 5.0$, произошедшие в регионе, приурочены к одноименной флексурно-разрывной зоне (ФРЗ) Северо-Ферганского разлома. Сильные землетрясения в интервале магнитуд $M = 5.0–6.9$ приурочены к сейсмогенным зонам. Однако землетрясения в интервале магнитуд $M = 7.0–7.9$ приурочены к структурам высшего порядка: Таласо-Ферганский разлом, пересечение Западно-Тянь-Шаньского и Южно-Тянь-Шаньского разломов.

Сейсмотектонический анализ геолого-тектонических данных и сведения о сильных землетрясениях, произошедших в Наманганском районе, позволили Р.Н. Ибрагимову выделить Наманганскую и Северо-Ферганскую сейсмогенные зоны как потенциально опасные участки возникновения сильных землетрясений.

Наманганская сейсмогенная зона отнесена к сейсмогенной зоне I^й катего-

рии, где могут возникнуть землетрясения с магнитудой $M = 7.5$, с интенсивностью $I_0 = IX$ баллов. Эта зона обусловлена Северо-Ферганской зоной (ФРЗ) и Баубашатинским разломом, ее протяженность составляет 240 км, с шириной зоны 10–15 км. Северо-восточная часть Наманганской сейсмогенной зоны рассматривается как IX-балльная, в которой не раз происходили сильнейшие землетрясения. На территории Наманганской области за период 1400–2019 гг. произошло девять сильных землетрясений с магнитудой $M \geq 5.0$, из них два землетрясения произошло Папском районе вблизи археологического памятника Кыркхуджра.

Наманганское землетрясение 24 марта 1908 г. возникло в зоне Северо-Ферганской ФРЗ и вызвало разрушения. Эпицентр землетрясения был расположен вблизи кишлака Пап, где сейсмическая интенсивность достигла $I_0 = VI-VII$ баллов. В населенных пунктах гг. Наманган, Чуст, Чартак, Янгикурган –

$I_0 = VI$ баллов, в г. Ташкенте – III балла. Землетрясение связано с подвижками в Северо-Ферганской флексуно-разрывной зоне. Исследователи А.Г. Коньков и О.А. Рыжков связывают возникновение Наманганских землетрясений с развитием Чуст-Папских складок.

Папское землетрясение 17 февраля 1984 г., с магнитудой $M = 5.6$, с интенсивностью $I_0 = VIII$ баллов, также связано с развитием Чуст-Папской складки, расположенной близко к г. Намангану. После Папского землетрясения произошел ряд умеренных землетрясений с магнитудами $M = 4.5 \div 4.8$, которые сняли напряженность в районе. Однако это совсем не означает что на территории г. Намангана и его окрестностей не будет сильных землетрясений.

Анализируя сильные землетрясения в районе Намангана, нужно согласиться с А.Т. Коньковым и О.А. Рыжковым по поводу происхождения сильных землетрясений, связанных с развитием адыров. По геолого-тектоническим, геоморфологическим данным, локальная сейсмичность Намангана связана с формированием Наманганской антиклинальной складки. В подтверждение сказанному отметим, что, по данным измерений сети GPS, наблюдается высокая скорость современных движений земной коры (15–22 мм/год) в районе Намангана, связанная с ростом Чуст-Папской, Касансайской и Наманганской антиклинальных складок, упомянутых выше.

Об активности Северо-Ферганского разлома в его одноименной флексуно-разрывной зоне свидетельствуют некоторые геофизические характеристики региона. Температурное поле Севе-

ро-Ферганского разлома обусловлено ходом его геологического развития за последние 10–15 млн лет и свидетельствует о его молодом возрасте обновления. Высокий градиент теплового потока и скачкообразный перепад температур в зоне Северо-Ферганского разлома, достигающий 140°C , показывает высокую активность его на современном этапе, связанную с геодинамическими процессами, проходящими в земной коре и верхней мантии.

В Чаткале и Кураме определены высокие скорости продольных сейсмических волн (8,5–8,6 км/с) в верхней мантии. Однако ниже поверхности Мохо (30 км и более) скорости продольных волн уменьшаются до 8,15 км/с, что свидетельствует о наличии на глубине 70–80 км мощного волновода (астеносферы). Данные о высоких тепловых потоках до 34 мВт/м^2 в верхней мантии Курамы дают основание предполагать наличие астенолита в верхней мантии. Очаг гранитизации находится в верхней и в средней частях коры. В пределах Адрасман-Чустской

Повышенные значения теплового потока, как правило, наблюдаются по зонам глубинных разломов, связанных с растяжением в новейшее время. Мощные зоны дробления, связанные с глубинными разломами, обеспечивают эффект конвективного теплопереноса их из нижних частей земной коры к дневной поверхности.

зоне на глубине 15–30 км, вероятно, за счет воздействия мантийного астенолита, образовалась термальная аномалия. Сказанное подчеркивает возможность многоэтажного расположения очагов частичного плавления горных пород, перемежаемых на глубине с зонами, находящимися в твердом состоянии. Повышенные значения теплового потока, как правило, наблюдаются по зонам глубинных разломов, связанных с растяжением в новейшее время. Мощные зоны дробления, связанные с глубинными разломами, обеспечивают эффект конвективного теплопереноса

переноса их из нижних частей земной коры к дневной поверхности. Эти зоны являются лишь каналами тепломассопереноса, а не генераторами тепла. Одним из таких разломов и является Северо-Ферганский разлом.

АРХЕОСЕЙСМОЛОГИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ

Трещиноватость в древних памятниках – обычное явление: просадки подстилающего грунта, статическая со временем нагрузка («мертвый вес»), перераспределение масс в строительной конструкции. Однако есть границы между строительными блоками, которые нельзя объяснить статическими причинами. Это разрывы и зачастую со смещением. Некоторые из них вызваны тектоническими (сейсмическими) движениями, такими как выходы сейсмических очагов на земную поверхность, которые мы обнаружили в древних городах Ферганской долины: Ахсикет и Эйлатан. Другие разрывы образуются в стенах зданий при сильных сотрясениях грунта. В строительных конструкциях, особенно массивных, таких как, например, мощные городские стены, возникает сложный комплекс напряжений, приводящий к образованию местных надвигов, сбросов и сдвиговых структур.

Так, например, в северо-западной части второго шахристана, на северо-восточной стенке археологической траншеи мы обнаружили комплекс трещин, две из которых имеют надвиговую природу (рис. 6). Смещение масс (слоев пахсы) на юг по этим разрывам во время древнего сильного землетрясения привело к выкручиванию верхних частей дизъюнктивов, приводя к вращательному движению по часовой стрелке блоков в висячем крыле разрыва. Этот ансамбль деформаций указы-

вает на приход максимальных сейсмических колебаний с северо-западной стороны и смещение верхней части описываемой стены на северо-запад вследствие сил инерции.

В соседнем к юго-восточному холму – в стене второго шахристана – мы отметили другую деформацию. Сильные горизонтальные сейсмические колебания привели к кратковременному (доли секунды?) периоду существования условий растяжения, что привело к образованию двухстороннего грабена по двум сопряженным сбросам (рис. 7). Эта структура хорошо видна в северо-восточной стенке археологической траншеи, азимут ее простирается 145° . Разрывы достигают поверхности, что говорит о молодости сейсмического события. Об импульсном характере подвижек свидетельствуют раскрытия по северо-западной плоскости. Это так называемые *pull-aparts* – раздвиговые структуры, формирующиеся при сдвиговых деформациях: мини-аналоги Мертвого моря.

Мы уже дважды упоминали о сейсмических колебаниях, действовавших перпендикулярно стенам и приводившим к различным в них деформациям. Силы инерции, усиленные в верхних частях конструкций «эффектом небоскреба» (большой амплитудой раскачивания верхних частей строительных конструкций по сравнению с нижними) могут приводить к наклонам их частей. Так, например, верхняя часть внутреннего панциря юго-западной стены цитадели наклонилась на юго-запад (рис. 8) под углом 70° . Внутренняя забутовка и кирпичная кладка этой стены обрушилась наружу – в юго-западном направлении.

Юго-восточный угол первого шахристана вывалился наружу при сильном землетрясении, и в образовавшемся обнажении мы обнаружили очень интересный структурный ансамбль,

а



б

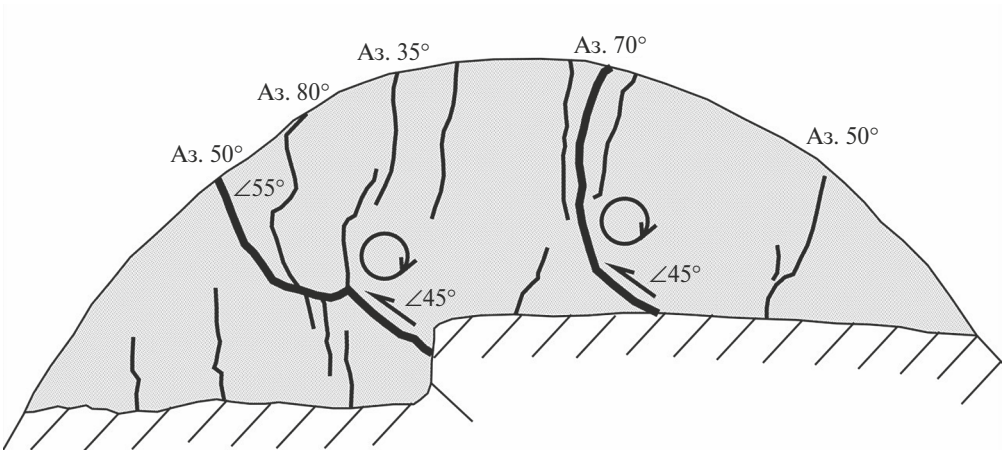


Рис. 6. Надвиги, субпараллельные простиранию СВ части второго шахристана.
а) Фотография археологической траншеи. Субгоризонтальные линии проведены археологами по контактам пахсовых полос. Длина рулетки 1 м. Вид на северо-восток;
б) внемасштабная схематическая зарисовка СВ стенки траншеи.
Фото и зарисовка А. М. Корженкова, 2019 г.

а



б

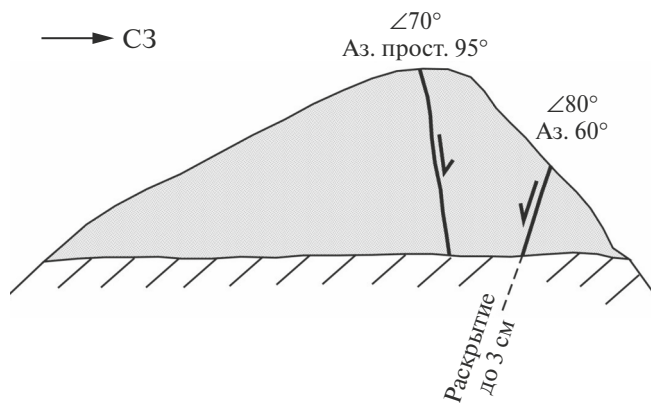


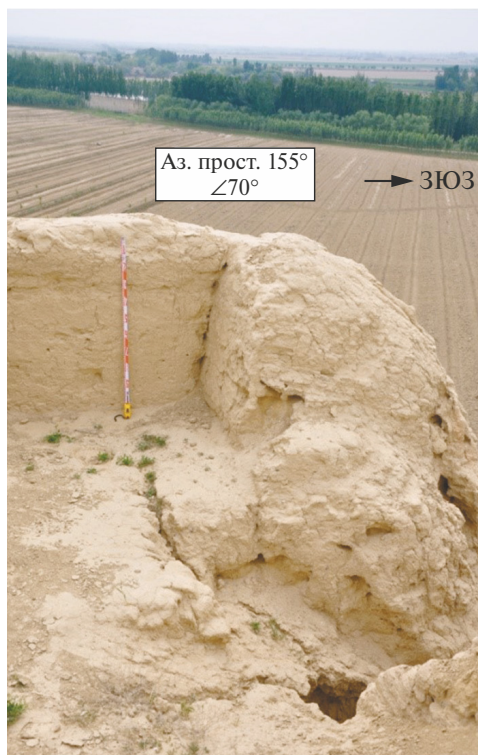
Рис. 7. Двухсторонний гребен – проседание внутренней части стены по сопряженным встречным сбросам в юго-западной стене.

а) Фотография археологической траншеи. Юго-западная стенка; б) схематическая внесштабная зарисовка стенки траншеи. Фото и зарисовка А.М. Корженкова, 2019 г.

составленный из нескольких небольших трещин-разрывов, так называемую «цветочную» структуру (рис. 9). При этом единый магистральный разрыв расщепляется на ряд меньших разрывов-трещин, которые по форме напоминают раскрывающийся цветок. Цветочная структура – всегда признак сдвиго-

вых подвижек по комплексу разрывов. Отличие нашей цветочной структуры от настоящего тектонического разрыва состоит в том, что наш «цветок» перевернут: магистральный разрыв остался где-то в разрушенной части стены, нам же видно лишь «лепестки», раскрывающиеся вниз по разрезу. А раз так, то

а



б

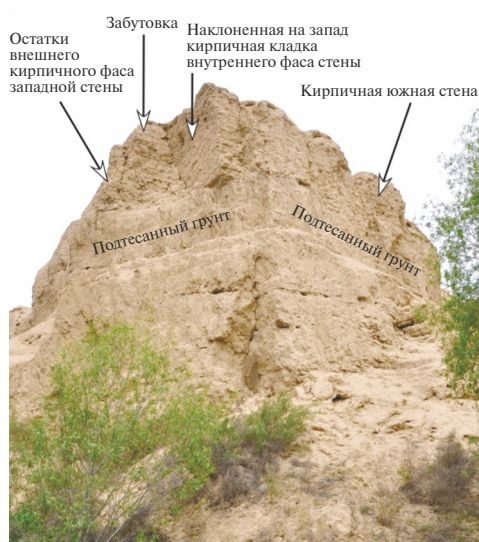


Рис. 8. Наклон внутреннего кирпичного панциря западной стены в южном углу сооружения цитадели. а) Южный угол сооружения. Внутренний двор. Вид на юго-юго-восток; б) внешний вид южного угла сооружения. Фото А.М. Корженкова, 2019 г.

и «цветок» возник не в связи с выходом сейсмического разрыва из гипоцентра землетрясения на поверхность, а в связи с сильными и сложными деформациями возникшими в угловой части здания, из-за сильных сейсмических колебаний, направленных, по всей видимости, под углом к северо-восточной стене. Каждая соседняя пластина в обнажении выдвигается влево по разрывам на 20, 30, 40 см.

Мы уже неоднократно указывали на деформации и выпадения угловых частей в постройках городища Кыркхуджра. Не избежал подобной деформации и северо-западный угол первого шахристана (рис. 10а). Угловые части являются слабым звеном в здании при сильном землетрясении. Параллельные и перпендикулярные стены имеют разные амплитуды и частоты колебаний.

Старые обычные здания зачастую не имеют элементов связки между смежными стенами, поэтому в эпицентральных зонах землетрясений наблюдаются частые раскрытия – длинные сквозные открытые трещины в стыках стен, которые при длительных и сильных сейсмических колебаниях могут привести и к выпадению углов зданий наружу (рис. 10б).

Трещины, пробивающие насквозь несколько соседних строительных блоков или даже целую стену, свидетельствуют о сильном землетрясении, так как трещине необходима значительная энергия для преодоления пространства между соседними блоками. Конечно, подобные трещины образуются также при взрывах и воздействии таранов, но никогда – со временем при статической нагрузке. Такие протяженные трещины

а



б

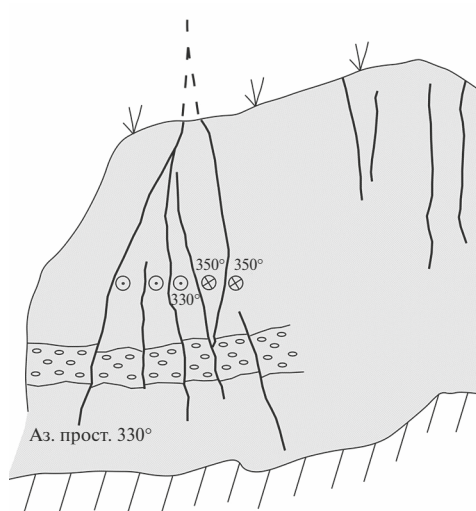


Рис. 9. «Цветковая» структура трещин, раскрывающаяся книзу и свидетельствующая о сдвиговых смещениях по ним. Юго-восточный угол сооружения первого шахристана. а) Фотография, вид на север-северо-запад. Стрелки показывают крайние трещины «цветка». б) Схематическая внемасштабная зарисовка. Кружляши с точкой показывают движение блока к зрителю. Кружляши с перекрестием – удаление блока. Фото и зарисовка А.М. Корженкова, 2019 г.

наблюдались нами в южной стене цитадели (рис. 11). Сильные сейсмические колебания, направленные перпендикулярно простиранию стены, приводили к ее сильному боковому раскачиванию, особенно в центральной части,

где имелась максимальная свобода для колебаний. В результате в стене образовывались разрывы, которые дезинтегрировали не только каменную кладку наверху, но и проникали вниз в обтесанный грунт холма.

а



б

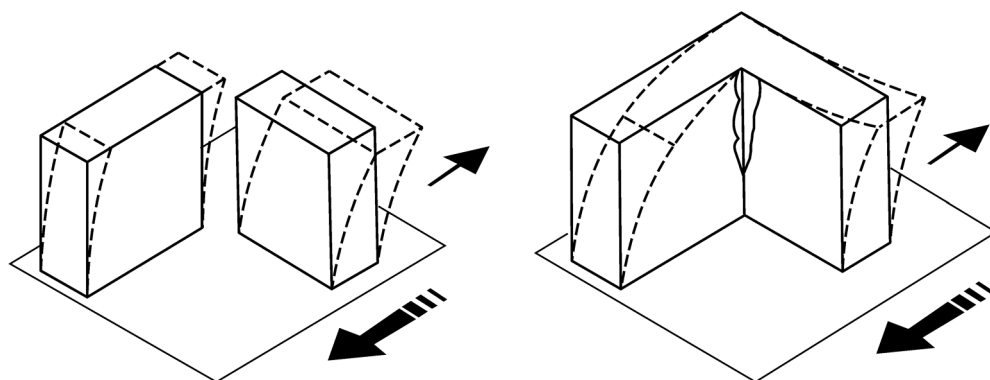


Рис. 10. Деформация угловой – северо-западной части первого шахристана. а) Фотография. Вид на Юг-Юго-восток. б) Модель деформации углов зданий во время сильных землетрясений, по [Arnold C. Architectural considerations // The seismic design handbook. New York, Chapman and Hall Publishers, 1989, p. 142–170] с изменениями. Фото А. М. Корженкова, 2019 г.

Стена цитадели состоит в верхней части из внешних панцирей из кирпичной кладки и внутренней забутовки. При сильных сейсмических колебаниях происходит разделение перечисленных частей строительной конструкции друг

от друга и обрушение внешних частей наружу. Подобные отделения и обрушения частей строительных конструкций наружу мы наблюдали повсеместно на склонах первого шахристана Кырк-худжры (рис. 12).

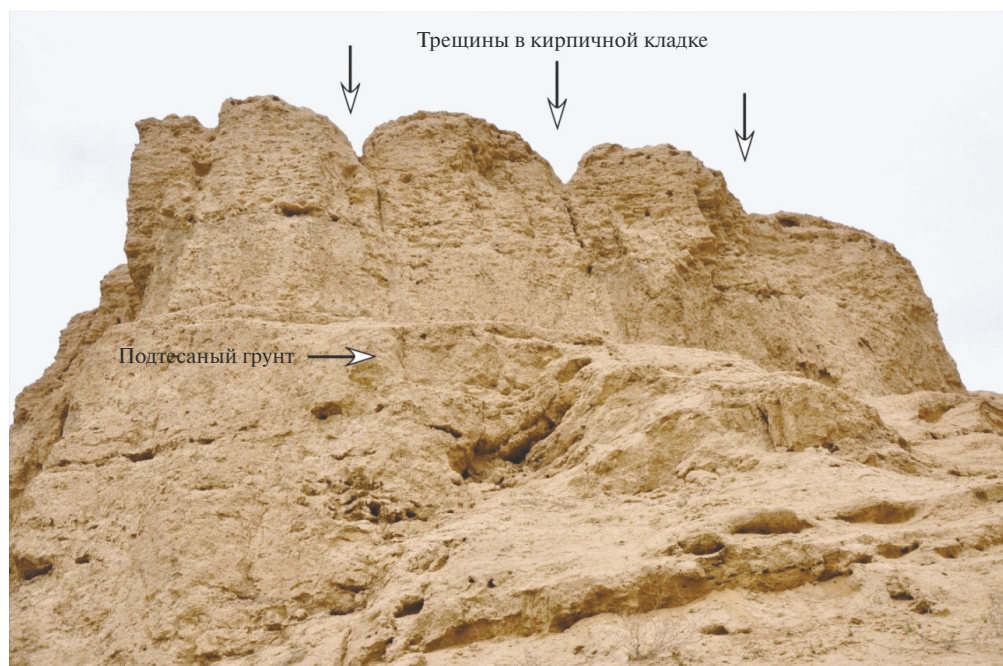


Рис. 11. Субвертикальные трещины в северной стене помещения цитадели. Они секут не только кирпичную кладку насквозь, но и подстилающие грунты, что свидетельствует об их сейсмогенном происхождении. Вид на юг-юго-запад. Фото А.М. Корженкова, 2019 г.

Ферганская впадина – плодородная долина. Она открыта к западу и закрыта в восточном направлении, где сходятся хребты ее горного обрамления. Таким образом, депрессия является естественной ловушкой, где скапливается пыль, которую переносят ветры, постоянно дующие в восточном направлении. Пыль оседает повсюду и образует лессовый слой – основу сельскохозяйственного благополучия местных жителей. Где-то лесс надувной, а где-то перемытый. Плотность его небольшая, при нагрузках – статических и динамических – в лессах образуются просадки и внутренние полости, которые могут проявляться на поверхности в виде провалов (рис. 13). Так как мы не наблюдали явных просадок в строительных конструкциях на холмах, где происходила трамбовка грунта перед

строительством, а лишь между ними, мы рискнули предположить, что это динамические просадки грунта, вызванные его сильными сейсмическими колебаниями.

ОБСУЖДЕНИЕ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

Полученные в ходе археологических и палеогеографических исследований результаты свидетельствуют о том, что дельтовая часть Гавасая была освоена в X в. до н.э., и здесь в течение примерно 500 лет процветало поливное земледелие. В V в. до н.э. на территории городища Кыркхужра строится город Пап (Баб) площадью более 10 га, который состоял из трех частей: цитадель, шахристан и пригород (рабад).



Рис. 12. Послойное, субпараллельное склону отседание блоков стены по трещинам, образовавшимся во время сильного древнего сейсмического события. Северная часть первого шахристана. Вид на северо-восток. Фото А.М. Корженкова, 2019 г.

Цитадель и шахристан окружены крепостными стенами, крепостные стены цитадели хорошо сохранились. Первая стена шириной 5,3 м была построена в V в. до н.э. После нашествия китайских войск обороноспособность ферганских городов повышается. В частности, укрепляются крепостные стены Кыркхуджра. Но очень скоро Кыркхуджра, как все города Северной Ферганы, пострадает в 90-х гг. до н.э. вследствие сильного землетрясения. Именно в это время полностью разрушается Эйлатан, сильно пострадал город Фергана (Ахсикат). Появляются новые города типа Гуйшуань (Мугтепа), Маргилян (Машъад), Коканд (Тепакурган), Андижан (Сарвонтепа) и т.д. После этого на Кыркхуджра строят новые крепостные стены шириной 7,8 м, при этом старые используют как фундамент.

В конце IV–V в. н.э. вследствие следующего сильного землетрясения население покидает городище Кыркхуджра. В V–VIII вв. город Пап (Баб) находился на городище Баландтепа, а в IX – начале XIII в. город переместился к северу, руины которого называется Темиркасмактепа. В целом археологические и средневековые письменные источники свидетельствуют о том, что городская культура в округе г. Пап зародившись в середине первого тысячелетия до нашей эры, непрерывно развивалась в течение около 2500 лет.

Анализ существующих геолого-тектонических материалов по району исследований позволил выявить геологические причины сейсмических процессов, которые предопределены новейшей историей тектонического развития и тем положением, которое занимает



Рис. 13. Поверхностное оседание грунта по просадкам, образовавшимся во время древнего сейсмического события. На дальнем плане слева – средний холм второго шахристана, справа – холм, ближайший к железной дороге. Вид на северо-запад. Фото А.М. Корженкова, 2019 г.

Северо-Ферганская сейсмически активная зона в общей структуре Западного Тянь-Шаня. Необходимо учесть важный фактор повышения сейсмического риска – Наманганская область расположена в предгорной территории, непосредственно в зоне Северо-Ферганского разлома и его одноименной флексурно-разрывной зоне, тем самым – в сфере их активного влияния.

Резюмируя, отметим, что с одной стороны, геодинамические процессы, связанные с тектоническим режимом Северо-Ферганского разлома и его одноименной флексурно-разрывной зоной, продолжают развиваться. С другой стороны, с учетом повторяемости сильных землетрясений, отсутствие более 36 лет сильного землетрясения с магнитудой $M \geq 5.0$ в Наманганской сейсмогенной зоне являются вескими при-

чинами для объявления тревоги ожидания сильного землетрясения с $M \geq 5.0$ в Наманганской области, в том числе в Папском районе, где расположен археологический памятник Кыркхуджра.

Нам не удалось увидеть в Кыркхуджре выхода сейсмического очага разрыва на поверхность (как это было в Ахсикенте и Эйлатане). Не удалось нам определить и систематических деформаций в строительных конструкциях археологического памятника. Сильные разрушения и повреждения специфической структуры однозначно указывают на сейсмический генезис деформаций. Их возраст, по-видимому, I в. до н.э., а возраст самых поздних построек на городище – первые века н.э. Кроме того, это же землетрясение разрушило древнюю Куюльтепу, а также Мугтепа и Мугкала.

Судя по невозможности определить систематику деформаций в руинах Кыркхуджры, очаг древнего землетрясения располагался неподалеку от городища. Само оно находится на размытых адырах, растущих антиклинальных поднятиях. Адыры – это надразломные складки. За их образование, рост и сейсмическую активность отвечают сейсмоактивные разломы, залегающие под адырами. О том, что холмы Кыркхуджры являются адырами, а не размытыми аллювиальными останцами Сырдарьи, говорят деформации – наклоны в отложениях, слагающих обтесанные части заселенных холмов (рис. 14). Разрывная плоскость располагается под адыром.

Мы уже указывали, что Кыркхуджра была заселена дважды: период второго заселения пришелся на период XVII–XIX вв. н.э. Почему же жители покинули это место во второй раз? Не послужило ли причиной оставления населенного пункта еще одно землетрясение? Возможно, это было Наманганское землетрясение 12 августа 1927 г. Оно возникло в Северо-Ферганской сейсмогенной зоне и вызвало крупные разрушения. Эпицентр землетрясения был расположен вблизи г. Наманган, где сейсмическая интенсивность достигла $I_0 = VIII$ баллов, в населенных пунктах Наманган, Чуст, Чартак, Янгикурган, Пап – $I_0 = VII-VIII$ баллов, в Ташкенте – IV балла. Вблизи Чартака в грунте образовались крупные трещины, из которых вытекала вода. 19 августа 1927 г. произошел повторный толчок силой VII баллов, который вызвал дополнительные разрушения в Намангане, Чартаке, Кум-Кургане. Исследователи А.Г. Коньков и О.А. Рыжков связывают возникновение Наманганских землетрясений 1927 г. с развитием упомянутых выше Наманганских складок.



Рис. 14. Сооружения из кирпича были построены на обтесанных естественных возвышенностях неогенового возраста (растущих адырах). В обнажении – наклонная толща чередующихся песков, глин и мелкой гальки. Фото А.М. Корженкова, 2019 г.

Литература

1. Stiros S., Jones R.E. Archaeoseismology 1996. 268 p.
2. Korzhenkov A.M., Mazor E. Structural reconstruction of seismic events: Ruins of ancient cities as fossil seismographs // Sci. and New Technol. 1999. N 1. P. 62–74.
3. Корженков А.М., Мазор Э. Структурная реконструкция сейсмических событий: Руины древних городов как окаменевшие сейсмографы // Изв. МОН РК, НАН РК. Сер. общ. наук. 2001. № 1. С. 108–125.
4. Корженков А.М., Усманова М.Т., Анарбаев А.А. и др. Недооцененная сейсмическая опасность Ферганской впадины. Новые археосейсмологические данные // Москва, ИФЗ РАН, журн. Геофизические процессы и биосфера. 2019. Т. 18. № 3. С. 77–90.

ВТОРОЙ «ЛУННЫЙ КОРАБЛЬ» ПРОДОЛЖАЕТ ПОЛЕТ

Ананьева Владислава Игоревна,

Институт космических исследований РАН

DOI: 10.7868/50044394820060055

22 июля 2019 года к Луне стартовала автоматическая межпланетная станция «Чандраян-2» (*Chandrayaan-2*, Индийская организация космических исследований, ISRO), несущая, кроме орбитального аппарата, также посадочный модуль «Викрам» (*Vikram*) и небольшой луноход «Прагьян» (*Pragyan*). Запуск станции явился продолжением амбициозной лунной программы Индии, включающей разработку, изготовление и запуск трех национальных исследовательских миссий (первой была орбитальная АМС «Чандраян-1», работавшая в 2008–2009 гг.). В случае успеха Индия стала бы четвертой страной после СССР, США и Китая, которая смогла мягко посадить на поверхность Луны научно-исследовательскую станцию.

После ряда маневров на околоземной орбите 20 августа 2019 г. «Чандраян-2» вышел на резко эксцентричную окололунную орбиту, которую к 1 сентября удалось снизить до высоты 119 на 127 км над лунной поверхностью. 2 сентября от станции отделился спускаемый аппарат «Викрам» с луноходом «Прагьян». Вечером 6 сентября во время посадки на высоте всего 2,1 км с посадочным аппаратом была потеряна связь, позже выяснилось, что из-за ошибки в программном обеспечении «Викрам» совершил жесткую посадку и разбился.

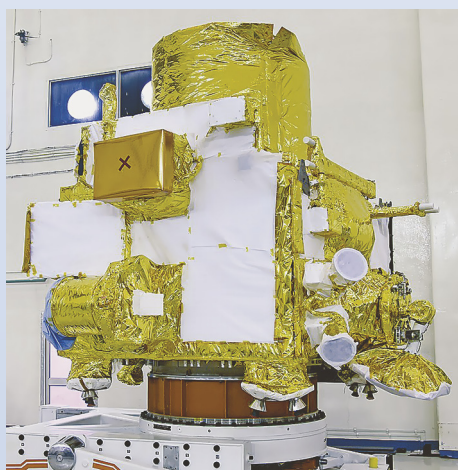
Таким образом, основной цели миссии «Чандраян-2» достичь не удалось. Однако на орбите Луны остался полностью исправный орбитальный модуль с запасом топлива на семь лет работы. До настоящего момента он находится в хорошем техническом состоянии и продолжает получать научные данные.

Аппарат находится на полярной окололунной орбите с высотой 100 ± 25 км над поверхностью, периодически корректируя свое положение с помощью двигателей.

Он запитан от солнечных батарей мощностью 1 кВт. Размеры аппарата – $3,2 \times 5,8 \times 2,2$ м (можно сравнить с небольшим загородным домом). Полная масса достигает 2379 кг, из них 1697 кг приходится на топливо.

На борту орбитального модуля «Чандраян-2» установлены восемь научных приборов:

1. Картографическая камера ТМС2 (*Terrain Mapping Camera 2*) для исследования лунной геологии и минералогии. Камера получает изображения лунной поверхности в лучах с длиной волны 0,5–0,8 мкм с разрешением 5 метров на пиксел. Как правило, один кадр представляет собой полосу шириной 20 км и длиной около 500 км. Съемка одной и той же местности в разных ракурсах



Орбитальный модуль «Чандраян-2»

позволяет построить топографическую карту (фактически, 3D-модель) изучаемой области.

2. Широкоугольный спектрометр мягкого рентгеновского диапазона CLASS (Chandrayaan 2 Large Area Soft X-ray Spectrometer). Прибор создан для определения элементного состава лунной поверхности – он способен обнаруживать атомы магния, алюминия, кремния, кальция, титана, железа и натрия по их флуоресцентному рентгеновскому излучению, возбуждаемому жестким излучением Солнца.

3. Инструмент XSM (Solar X-ray Monitor) для мониторинга интенсивности жесткого солнечного излучения с энергией квантов 1–15 кэВ. Построение высококачественного солнечного спектра в мягком рентгеновском диапазоне необходимо для работы рентгеновского спектрографа CLASS.

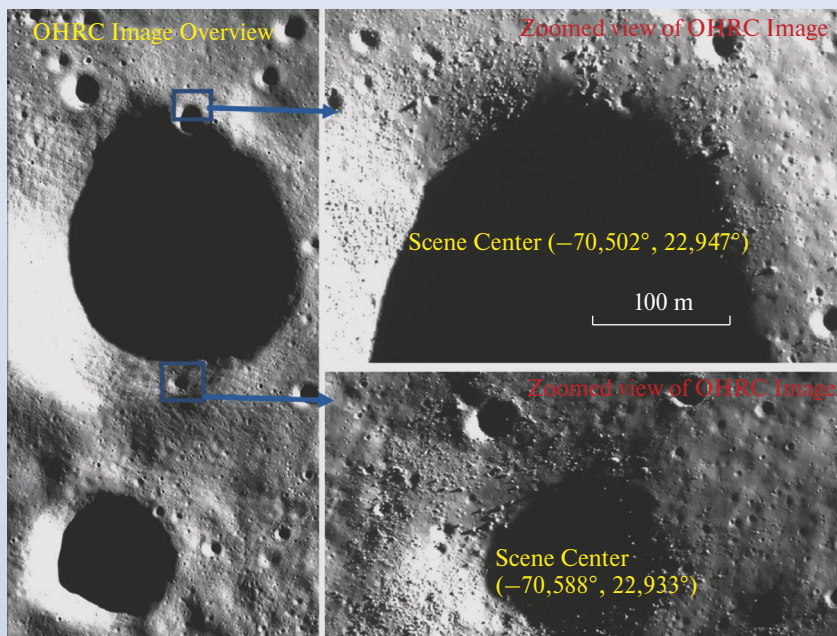
4. Камера высокого разрешения OHRC (Orbiter High Resolution Camera). Изначально она предназначалась для получения снимков высокого разрешения места посадки «Викрама». Разрешение камеры достигает 32 см на пиксел, но поле зрения маленькое (за два витка была охвачена площадь 12×3 км).

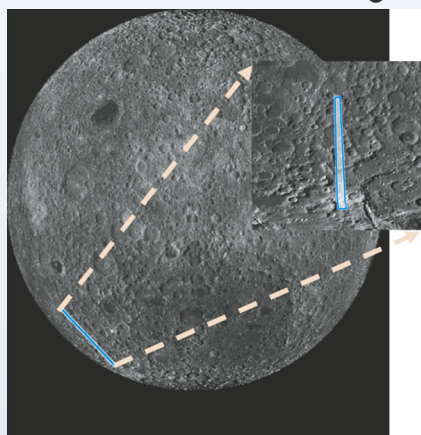
5. Картографический инфракрасный спектрометр IIRS (Imaging IR Spectrometer), чувствительный в диапазоне 0.8–5 мкм с пространственным разрешением 80 метров на пиксел. Предназначен для изучения минералогии лунной поверхности и конкретно для поиска гидратированных минералов и минералов, содержащих гидроксильные группы OH.

6. Апертурный радар S- и L-диапазонов DFSAR (Dual Frequency Synthetic Aperture Radar), чьей задачей является исследование структуры лунного грунта на глубине до 5 м и поиск водяного льда в вечно затененных кратерах.

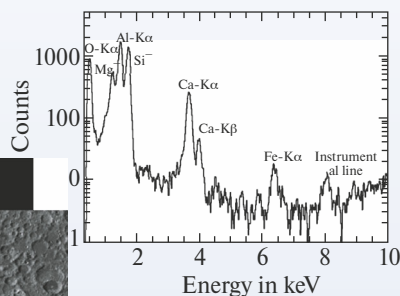
7. Нейтральный масс-спектрометр CHACE2 (Chandrayaan 2 Atmospheric Compositional Explorer 2) для изучения состава лунной экзосферы.

Один из снимков высокого разрешения, полученных камерой OHRC. На снимке видны сотни валунов поперечником от 1 до 50 метров, разбросанные рядом с кромками ударных кратеров





Courtesy: LROC Quickmap



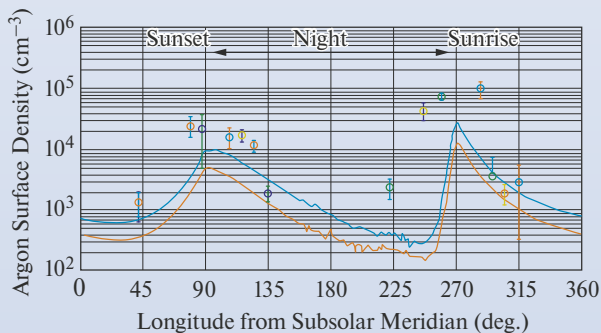
Пример флуоресцентного рентгеновского спектра материковой поверхности на обратной стороне Луны, полученного спектрометром CLASS во время вспышки на Солнце 29 мая 2020 г. Хорошо видны пики, соответствующие алюминию и кальцию, при этом линии железа слабы

8. Инструмент DFRS (Dual Frequency Radio Science) для измерения вариаций плотности электронов в лунной экзосфере.

Богатый набор инструментов «Чандраяна-2» позволяет исследовать не только поверхность Луны, но также ее подповерхностные слои и эфемерную атмосферу (экзосферу).

Первые десять месяцев на окололунной орбите прошли для «Чандраяна-2» очень плодотворно.

С 24 сентября 2019 г. по 20 июля 2020 г. камера TMC2 охватила съемкой около 4 млн км² лунной поверхности. В свою очередь, камера высокого разрешения OHRC получила подробные снимки возможных мест посадки будущих индийских лунных аппаратов.

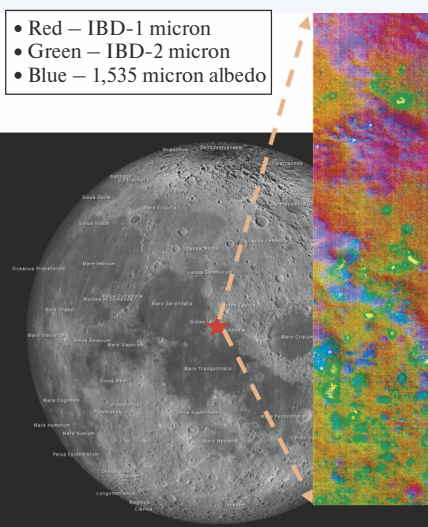


Вариации концентрации аргона в экзосфере Луны в зависимости от времени суток. Голубой и оранжевой линией показаны данные инструмента LACE на «Аполлоне-17», полученные за двое лунных суток, полыми кружками показаны измерения спектрометра CHACE2. По оси абсцисс отложена долгота подсолнечной точки. 90° соответствует закат, 270° – восход

Рентгеновский спектрометр CLASS получил флуоресцентные спектры древней горной поверхности на обратной стороне Луны. Они показали обилие кальция и алюминия при низком содержании железа и магния. Это говорит о явном отличии материковых горных пород от пород лунных морей, доставленных на Землю американскими астронавтами.

Радарные изображения кратеров вблизи южного полюса Луны, часть из которых погружена

Карта (в искусственных цветах) участка переходной зоны между Морем Спокойствия и материковыми породами. Синему цвету соответствует отражательная способность горных пород в лучах с длиной волны 1.535 мкм, зеленому цвету – в лучах с длиной волны 2 мкм и красному цвету – 1 мкм. Темным минералам лунных морей на этой карте соответствуют зеленые, желтые и оранжевые оттенки, а зрелым материковым породам (плаггиоклазам и пироксенам) – синие и пурпурные



Courtesy: LROC

в вечную тень, показали вариации диэлектрической проницаемости грунта и шероховатости поверхности, которые могут быть связаны с реголитом, содержащим водяной лед.

Масс-спектрометр CHACE2 измерил вариации содержания аргона в лунной экзосфере на высоте 100 км над поверхностью. ^{40}Ar образуется в недрах Луны благодаря радиоактивному распаду изотопа калия ^{40}K , а затем по трещинам и разломам просачивается к поверхности. Во время двухнедельной лунной ночи грунт остывает настолько, что аргон конденсируется в порах грунта, а с восходом солнца сублимирует, и его концентрация в окололунном пространстве возрастает на полтора порядка. Наибольшая концентрация аргона (до 10^5 атомов в см^3) достигается на рассвете, днем она падает из-за улетучивания атомов в космос, на закате снова возрастает, а ночью падает из-за низких температур. Аналогичные колебания концентрации аргона были измерены инструментом LACE во время полета «Аполлона-17» в 1972 г.

Инфракрасный спектрометр IIRS проводит съемку лунной поверхности в нескольких полосах ближнего инфракрасного диапазона от 0.8 до 5 мкм. Наложение снимков, полученных в лучах с разными длинами волн, позволяет определять минеральный состав лунной поверхности. Создание подробной минералогической карты Луны – одна из важнейших целей «Чандраяна-2».

К сожалению, Индийское космическое агентство не слишком балует подробным освещением работы «Чандраяна-2» – последнее сообщение о нем было опубликовано 20 августа. Однако к концу 2020 года ISRO планирует выпустить официальный пресс-релиз по итогам первого года полета после проверки полученных данных экспертным советом. Нет сомнений, что второй «Лунный корабль» еще порадует нас множеством красивых открытий.

По материалам Индийской организации научных исследований (ISRO),
Indian Today, статья *Wikipedia*.
 Изображения ISRO

ШКОЛА. ЛЕТО. КОСМОС

ХОХЛОВ Александр Викторович,

Северо-Западная организация Федерации космонавтики РФ

DOI: 10.7868/50044394820060067

В начале 2010-х годов в России начало формироваться сообщество энтузиастов космонавтики, аналогичное движению любителей астрономии. И, как раньше в сообществе астрономов-любителей, появилась потребность в совместных мероприятиях, проектах и дополнительном образовании для тех, кто интересуется космонавтикой, но по разным причинам не может стать студентом профильного вуза.

Понимая это, аэрокосмический инженер, популяризатор космонавтики и преподаватель Александр Шаенко организовал в Московском государственном техническом университете им. Н.Э. Баумана (выпускником которого он является) для всех желающих курс «Основы космонавтики» объемом 30 академических часов. В рамках курса рассматривались проектирование автоматических космических аппаратов, предназначенных для работы на околоземной орбите; обзор типовых систем космических аппаратов и методов их разработки, изготовления и испытаний; планирование работ и оценка их стоимости. Лекции читали преподаватели из МАМИ, МАИ, МГТУ им. Н.Э. Баумана, многие из которых были действующими инженерами российских космических компаний «Спутникс», «СканЭкс».

Идея была воспринята на «ура», ею заинтересовались многие иногородние энтузиасты космонавтики. В 2015 г. в Подмоскowie при поддержке сооб-

щества «Твой сектор космоса»¹ была проведена первая недельная открытая Летняя космическая школа, директором которой стала Анастасия Ильина, а программу составил Александр Шаенко.

Важнейшим ее отличием от любых других космических школ (такие проводили МГТУ им. Н.Э. Баумана, Самарский университет имени академика С.П. Королева) стало отсутствие каких-либо требований к возрасту, образованию или профессии. Единственное ограничение – дети до 18 лет должны были приезжать с отвечающими за них взрослыми.

По содержанию ЛКШ-2015 была близка к вышеупомянутому курсу «Основы космонавтики». Но участники не только слушали лекции об устройстве спутников, но и параллельно в командах выполняли практическое задание по проектированию малых космических аппаратов дистанционного зондирования Земли в образовательно-инженерной программе «Орбита».

Кроме этого, ребята побывали на экскурсиях в Центре подготовки космонавтов им. Ю.А. Гагарина и в Ракетно-

¹«Твой сектор космоса» – группа космических энтузиастов, объединившихся, чтобы организовывать научно-популярные лекции в Москве, проводить ЛКШ, использовать другие способы популяризации науки, а также заниматься реальными проектами в космонавтике. Сайт группы <https://www.your-sector-of-space.org/>



Экскурсия в Центр подготовки космонавтов им. Ю. А. Гагарина (ЛКШ-2018)

космической корпорации «Энергия» им. С.П.Королёва. Участники пообщались на Школе с космонавтами Сергеем Крикалёвым и Александром Лазуткиным.

С первой школы (и в дальнейшем) общение с непосредственными участниками космической деятельности: космонавтами, инженерами и учеными, – а также поездки в музеи космической тематики – стали постоянными и очень важными составляющими ЛКШ.

Вторая Школа состоялась через год в «Московском политехе» (МАМИ). Ее директором вновь стала Анастасия Ильина.

Курс лекций, который прослушали участники ЛКШ-2016, разделился на несколько тематических направлений: пилотируемая космонавтика, космическая биология и медицина, технические аспекты создания космической техники, изучение космоса.

Участники ЛКШ-2016 познакомились с макетами малого космического аппарата «Маяк», который создавала команда Александра Шаенко в лаборатории МАМИ, и подробностями его создания. К этому времени над спутником уже работали выпускники первой ЛКШ, а позже в команду влились и участники второй.

Вскоре стало понятно, что энтузиастов космонавтики интересует широкий спектр информации, и проводить каждый год школу по одной теме, а именно – проектированию спутников, неперспективно. Так начались поиски новых тем и форм работы.

Директором ЛКШ-2017 и ЛКШ-2018 стал Александр Шаенко. Место проведения вновь сместилось в Подмосковье, и программа была дополнена интересной практической работой. Летом 2017 г. участники не только слушали лекции по космонавтике,



ЦУП лунной миссии (ЛКШ-2018). Фотография Натальи Кахановской

но и самостоятельно конструировали простейшие антенны для получения открытых данных с орбитальных аппаратов, например, с метеоспутника NOAA-19.

В 2018 г. главной темой ЛКШ стала частная космонавтика в России – ей были посвящены лекции и практический проект, который выполняли участники. Они занимались общей проработкой вопросов выведения наноспутников попутной нагрузкой на существующих и будущих ракетах-носителях космического назначения.

Второй двухдневной частью ЛКШ-2018 стала симуляция полета на Луну с помощью программно-аппаратного комплекса на платформе Kerbal Space Program. Познакомившиеся годом ранее на летней школе Сергей Лемещенко и Павел Иванов подготовили короткий курс подготовки и техническую часть, которая базировалась на игре

KSP, дополнениях к ней и дополнительных программах для объединения всего процесса симуляции.

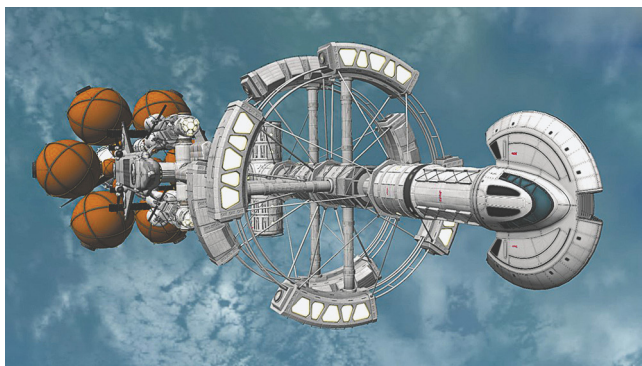
По завершению курса подготовки и прохождения тестов участники разделились на экипажи (основной и дублирующий) и сотрудников Центра управления полетами. Для виртуальной экспедиции использовались модели пока еще не существующей космической техники, но активно разрабатываемой сейчас в России и в США: пилотируемый корабль ПТК НП с экипажем из трех человек, кислородно-водородный разгонный блок КВТК, ракеты-носители «Союз-5» и «Ангара-А5В», окололунная станция Lunar Orbital Platform-Gateway и лунный посадочный модуль «Антарес». Симуляция длилась почти 11 часов с вечера до раннего утра. Экипаж из трех человек, взаимодействуя с ЦУПом, слетал на Луну и вернулся на Землю.

На ЛКШ-2019 в Калужской области, которую возглавил Александр Хохлов (автор данной статьи), основной темой стало присутствие человека в космосе. Курс лекций был в основном посвящен пилотируемой космонавтике и экспериментам на Международной космической станции. Вновь была проведена симуляция полетов с помощью программно-аппаратного комплекса на платформе KSP – теперь на Международную космическую станцию на пилотируемых кораблях «Союз».

В этот раз, чтобы участники смогли попробовать себя в разных ролях, они разделились на несколько экипажей космонавтов и смен специалистов в Центре управления полетами. Был составлен график, чтобы ребята не пересекались в разных ролях. В экипаже каждого корабля было по три человека: командир и два бортинженера. Они совместно придумывали эксперимент, который на борту МКС должен был провести другой экипаж по подготовленной инструкции. В сменах ЦУПа было по четыре человека: руководитель полетом, его помощник, связист и баллистик.

К 2020 г. стало понятно, что именно симуляция космических полетов может быть основой Летних космических школ. Другие инженерные и научные элементы, связанные с космическими полетами, также могут включаться в программу.

Директором ЛКШ-2020 стала Татьяна Митева, а техническим директором – Сергей Лемещенко. В этом году в гостинице «Космос» (г. Москва) в течение 9 дней была проведена самая масштабная по организации школа с большой лекционной частью по пилотируемой космонавтике и астрофизике; встре-



Звездолет «Циолковский» (ЛКШ-2020)

чей, посвященной частной космонавтике; и сложной симуляцией, подготовленной Сергеем Лемещенко и Павлом Ивановым.

Участники сформировали экипаж звездолета-разведчика «Циолковский», перед которым была поставлена задача исследовать условную звездную систему PS4982. Выйдя из криосна, экипаж изучил планеты дистанционными методами, анализируя спектральные данные об атмосферах планет, данные фотометрии и масс-спектрометрии, а затем провел подробное исследование системы с помощью беспилотных разведывательных зондов, планетолетов и шаттлов для посадки на поверхность планет с достаточно плотной атмосферой.

Выбор межзвездной экспедиции был вызван желанием создать интересные задачи по баллистике, пилотированию и астрофизике.

Конфигурация планетных атмосфер для симуляции была подготовлена Александром Ломакиным (ИКИ РАН) с помощью NASA Planetary Spectrum Generator. Звездная система PS4982 была смоделирована специально для ЛКШ, чтобы участники познакомились с основными типами известных современной науке экзопланет.

А о том, насколько реальны межзвездные полеты и в чем может быть их



Концерт терменвоксистки Александры Романовой (ЛКШ-2019).
Фотография Николая Велицкого

смысл, говорили на панельной дискуссии 22 августа, в день столетия великого писателя и космического романтика Рэя Брэдбери. В ней участвовали астрофизик и популяризатор Борис Штерн (АКЦ ФИАН), биолог Михаил Никитин (НИИ ФХБ МГУ им. М. В. Ломоносова), историк космонавтики Павел Шубин, журналист Михаил Котов и психолог Полина Кузнецова (ИМБП РАН). В целом дискуссия подняла философский вопрос: если высокоразвитая жизнь действительно, как отмечают многие исследователи, маловероятное событие, то разумно ли упустить шанс выйти в космос и распространить жизнь во Вселенной – несмотря на все финансовые издержки и запредельную для жизни отдельного человека длительность таких проектов?

Неудивительно, что в своем развитии Летняя космическая школа пришла к вопросу осмысления космонавтики и ее роли для человечества. Как отмечалось выше, для участия в ЛКШ нет ограничений по профессиональным и образовательным требованиям – на школах всегда присутствовали гуманитарии разных специальностей. Космонавтика имеет много граней, поэтому для участников ЛКШ рисовала свои космические скетчи художница Анастасия Просочкина, проводили концерты музыканты-инженеры Вячеслав Фирсанов и Алексей Панасовский (проект «Песни космических п(енс)ионеров»), а также терменвоксистка Александра Романова.

И очевидно, что дальше на ЛКШ будет только интереснее.

ЛЕТНЯЯ КОСМИЧЕСКАЯ ШКОЛА — 2020

ШУБИН Павел Сергеевич,

писатель, популяризатор науки

DOI: 10.7868/50044394820070063

Межзвездный корабль «Циолковский» давно вышел в новую звездную систему, и экипажи кораблей разведчиков готовились к исследованию новых планет. Тем временем в центре управления между пилотами развернулась активная дискуссия. Пилоты никак не могли понять, на какой высоте проходит линия Кармана для данной планеты. Это было важно для планирования десантной миссии.

«Линия Кармана», «характеристическая скорость», «траектория Гома-на», «удельный импульс» – все эти технические термины можно было часто услышать в дискуссии. Было очевидно, что все понимают, о чем идет речь, и легко используют в разговоре.

Я стоял рядом и слушал этот диалог с плохо формулируемыми чувствами. Ведь дело происходило не в будущем или на страницах научно-фантастического романа, а в Москве 2020 года – на Летней космической школе.

Так получилось, что я впервые участвовал в ЛКШ. При этом, как мне объяснили, это была первая школа нового формата, который, в случае успеха, стал бы основой всех следующих школ.

В качестве главной задачи данной школы изначально была выбрана крайне сложная цель – провести симуляцию межзвездного полета, от баллистики перелета корабля с входом в новую звездную систему до подробного изучения ранее неизвестных планет. Для этого были нужны специалисты, которые бы разбирались в небесной механике, динамике полета космических аппаратов, были способны различать разные типы экзопланет и анализировать спектры. Так как знания слишком сложные и специфические, то их нужно участникам дать. Провести лекции, отработать практику на тестовых полетах еще до назначения экипажей на межзвездный корабль. И все это нужно было сделать за те

девять дней, что были отведены школе. Даже за семь, так как первый и последний дни были посвящены в большей степени регистрации и подведению итогов.

Задача действительно очень сложная. Несколько человек в начале школы сказали мне, что нагрузка очень высока, и даже высказали сомнения, что все получится выполнить. Тем более, что к баллистике и астрофизике

В качестве главной задачи данной школы изначально была выбрана крайне сложная цель – провести симуляцию межзвездного полета, от баллистики перелета корабля с входом в новую звездную систему до подробного изучения ранее неизвестных планет.

добавился еще медико-биологический компонент.

И я, как человек, посетивший практически все лекции, по своему опыту могу сказать: нагрузка была высокой. При том, что больший процент информации я и так знал. Мозг сначала «буксовал», пытался возражать, но тем не менее, нагрузка оказалась правильной, так как на практике началось уверенное закрепление полученных материалов. Примером может быть как раз диалог из начала статьи, в котором школьники и студенты уже вряд ли задумывались, что используют весьма специфическую терминологию. Знания перешли в качество, и эта терминология им уже была нужна для работы и для объяснения своей позиции.

Еще более занятная ситуация возникла в последний день школы на лекции Бориса Штерна. Конечно, вряд ли зрители знали об астрофизике больше Бориса Евгеньевича, но перед ним уже сидела аудитория, которая знала об экзопланетах больше, чем он пытался им рассказывать. Несколько специализированных лекций и сложная практическая работа сделали свое дело.

Если на лекциях было сложно, то я даже не могу представить, насколько было сложно подготовить эту школу. Если честно, я даже не ожидал такого высокого уровня лекций. Многие читали не просто популяризаторы науки, а реальные практики из академических институтов. Институт астрономии, Институт космических исследований, Институт медико-биологических проблем – все предоставили

своих лекторов. Их действительно было интересно слушать.

Так же было интересно слушать и практиков в технике. Например, специалистов «Спутникса» или *AltegroSky*. На мой взгляд, подобная встреча с представителями частной космонавтики была самой неоднозначной – уж слишком разного уровня были представлены проекты – но при этом интересной.

Кроме того, состоялись экскурсии в ведомственные музеи предприятий космической отрасли: Ракетно-космической корпорации «Энергия» им. С.П. Королева, ГКНПЦ им. М.В. Хру-

ничева, Центра подготовки космонавтов им. Ю.А. Гагарина и Института космических исследований РАН. Все эти музеи условно открыты для публики. Просто купить билет, без предварительной переписки с организацией, в них нельзя.

Очень сложная работа была проделана и над основной темой школы. Ведь была подготовлена новая планетная система с ранее неизвестными планетами, причем в строгом соответствии с текущими представлениями о формировании планетных систем. За вечер такую работу не сделаешь.

Возникает вопрос, а какой собственно смысл этого мероприятия для организаторов? Было очевидно, что коммерческого интереса в этом мало. Те деньги, что собирали с участников школы, не покрывали расходы на организацию.

Этот вопрос я и задал организаторам лекции. Мне объяснили, что когда

*Когда за плечами
большой багаж знаний,
интересных знаний,
порой очень обидно,
когда его нельзя
применить или хотя бы
передать другим.*

за плечами большой багаж знаний, интересных знаний, порой очень обидно, когда его нельзя применить или хотя бы передать другим. Для этого и была организована некоммерческая организация. Большая часть денег, что идет на школу, – это взносы частных спонсоров, которым также интересна космонавтика.

Иными словами, идея удачная, и организация ЛКШ тоже удалась. Но как дела с посетителями школы, на кого она нацелена? Если честно, ответ на этот вопрос меня тоже удивил. Я даже не могу вспомнить, кого я ожидал увидеть среди «школьников» данной школы. Но в реальности я увидел представителей самых разных профессий: были там как гуманитарии, так и действующие сотрудники ракетно-космических предприятий нашей страны. Они специально записались на данную школу, чтобы получить представление о космической баллистике. Как выяснилось, эта одна из проблем отрасли. В ней достаточно много подрядчиков и субподрядчиков, которые делают реальные приборы для реальных космических аппаратов, но головной разработчик выдает достаточно общее техническое задание на приборы, а чтобы лучше понимать, нужно детально представлять особенности работы аппаратов. Для этого нужна практика, которую сложно получить, особенно если создаваемый аппарат – первый в серии. Вот и стала Летняя космическая школа подобной практикой. Так

что, от нее, скорее всего, уже сейчас пошла реальная польза для нашей космической программы.

Забавная ситуация оказалась с гуманитариями. Оказалось, им тоже не было скучно, более того, они активно приняли участие в такой сложной теме, как спектроскопия планет, и даже составили в ней оказалось большинство. Даже возникла шутка: сколько нужно гуманитариев, чтобы разобраться в спектре экзопланеты? С этой задачей

Сколько нужно гуманитариев, чтобы разобраться в спектре экзопланеты? С этой задачей уже успешно справился коллектив из трех человек, и им было действительно интересно.

уже успешно справился коллектив из трех человек, и им было действительно интересно. Видели бы вы, с каким задором представитель расчетной группы рассказывала о том, как открывали планеты и какие они были красивые и интересные. Можно

добавить, что после начала обучения в школе уже не было разницы, что написано в дипломе участника: портной или конструктор ракетной техники.

Резюмируя, это был очень интересный опыт для меня и боевая отработка нового формата для руководителей проекта. А организаторов еще раз хочу поблагодарить за возможность участия в таком интересном проекте и пожелать удачи.

Оригинал публикации
в Живом Журнале Павла Шубина
<https://pilot-pirks.livejournal.com/144584.html>

*Печатается с любезного разрешения
автора с незначительными
изменениями.*

Образование

ВИКТОРИНА ЮНЫХ ФИЗИКОВ ОТДЕЛЕНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ НАУК РАН

ГОЛОВАНОВА Алина Владимировна,
МАГАРЯН Константин Арутюнович,
НАУМОВ Андрей Витальевич

Институт спектроскопии РАН

Московский педагогический государственный университет

DOI: 10.7868/5004439482008006X

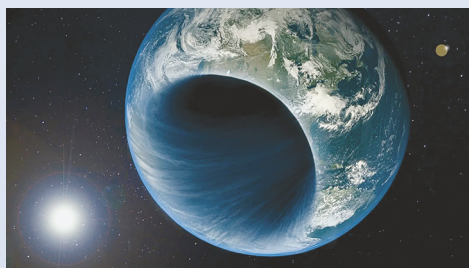
С 4 по 24 мая 2020 года, в период вынужденной самоизоляции для многих граждан нашей страны, Отделение физических наук РАН провело Всероссийскую онлайн-викторину юных физиков. Вопросы и задачи викторины, предложенные членами и профессорами РАН, были ориентированы на школьников, интересующихся физикой и астрономией.

*Публикуем продолжение задач Викторины и решений к ним.
Начало опубликовано в № 5, 2020*

Задача 6 (4 тур, 10–11 классы)

Можно ли сделать из Земли черную дыру, и если можно, то как?

Автор: член-корреспондент РАН, д. ф.-м. н. Юрий Юрьевич Ковалев



Задача 7 (5 тур, 8–9 классы)

На некоторой планете Солнечной системы установили точные часы, дающие сильный световой сигнал каждый час по земному Всемирному времени. Два таких сигнала были получены на Земле через 1 час 0.6 секунды один после другого. Что это за планета?

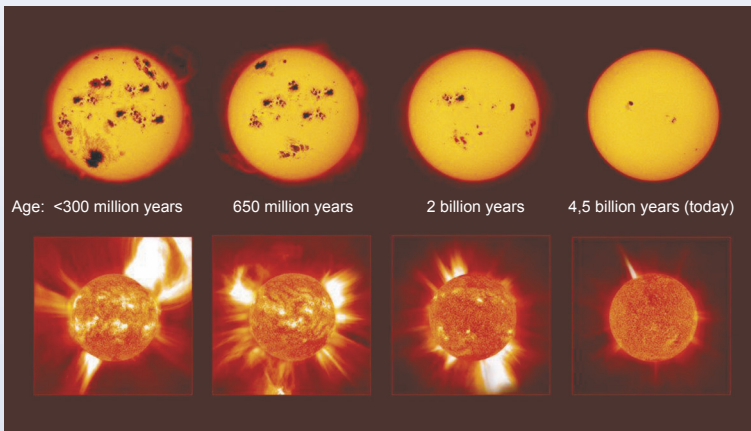
Автор: профессор РАН, д. ф.-м. н. Александр Анатольевич Лутовинов



Задача 8 (6 тур, 8–9 классы)

Науки о свете (оптика, спектроскопия, фотоника) являются основой множества инструментов для самых различных областей. Так, астрономия, астрофизика, космонавтика используют большое количество оптических и спектроскопических инструментов. Одним из самых популярных объектов исследования остается ближайшая к нашей планете звезда по имени Солнце. Известно, что источником информации о процессах, протекающих в Солнце, являются пятна на его поверхности. Как Вы считаете, какой цвет имеют эти пятна?

Автор: член-корреспондент РАН,
д. ф.-м. н. Анатолий Алексеевич Петрукович



Задача 9 (8 тур, 8–9 классы)

Определите массу атмосферы Земли. За пояснение выбранной к вопросу картинки дополнительный балл от организаторов.

Автор: академик РАН, д. ф.-м. н. Владимир Владимирович Дмитриев



Задача 10 (9 тур, 8–9 классы)

Во время майских дождей можно часто видеть радугу. В этом году несколько раз наблюдалось очень красивое явление – двойная радуга (многие даже смогли ее сфотографировать). Опишите процесс появления обеих радуг. Чем они отличаются друг от друга? Свой ответ необходимо объяснить.

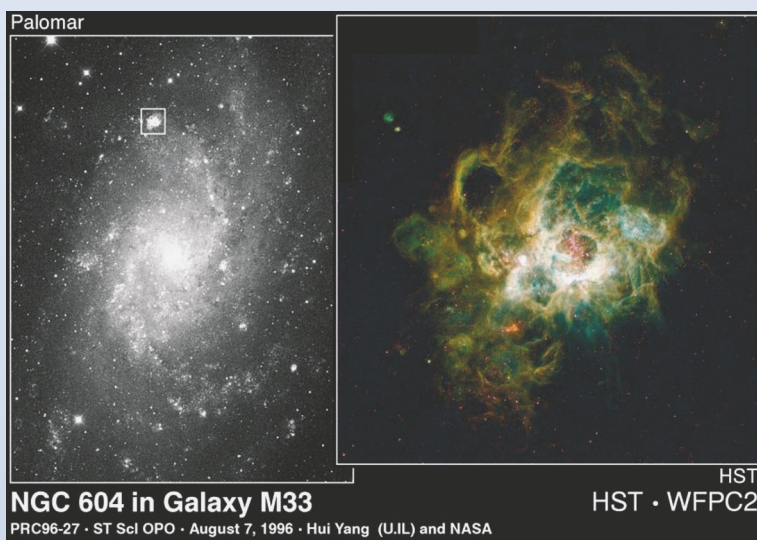
Автор: президент РАН, академик РАН,
д. ф.-м. н. Александр Михайлович Сергеев



Задача 11 (9 тур, 10–11 классы)

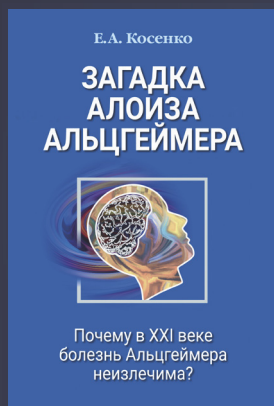
В каких межзвездных облаках рождаются звезды — холодных или теплых? И почему?

Автор: вице-президент РАН, академик РАН,
д. ф.-м. н. Юрий Юрьевич Балега



Ответы см. на стр. 99

С новыми книгами
Издательства “Наука”
вы можете ознакомиться на сайте
naukabooks.ru



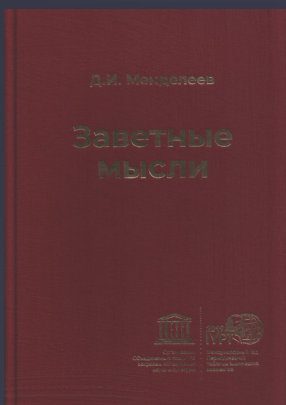
Косенко Е.А.

Загадка Алоиза Альцгеймера. Почему в XXI в. болезнь Альцгеймера неизлечима?

М.: Наука, 2019. — 319 с.

В монографии изложена актуальнейшая на сегодняшний день медико-биологическая проблема, связанная с болезнью Альцгеймера (БА), и предпринята попытка ответить на вопрос: почему заболевание, известное с начала XX в. и на изучение которого тратятся триллионы долларов, в настоящее время все еще остается неизлечимым, а имеющиеся антиамилоидные препараты приносят больше вреда, чем пользы? Для объяснения механизмов, лежащих в основе нейродегенерации при БА, формулируется «эритроцитарная гипотеза», согласно которой эритроциты рассматриваются не просто как клетки, переносящие кислород, а как клетки, от эндогенного метаболизма которых зависит адекватная доставка кислорода в ткани, и в частности в мозг. Именно функциональное несоответствие между эритроцитами и биоэнергетикой мозга, считает автор, лежит в основе гибели нейронов.

Книга может быть интересна широкому кругу читателей – студентам, обучающимся по специальностям «биология», «биомедицина», а также физиологам, биохимикам научно-исследовательских лабораторий, преподавателям высших образовательных медицинских и биологических учреждений.



Менделеев Д.И.

Заветные мысли.

М.: Наука, 2019. — 310 с.

Д.И. Менделеев в работе «Заветные мысли» рассуждает о желательных, на его взгляд, путях развития России в геополитической, экономической и научной областях. Круг анализируемых ученым вопросов чрезвычайно широк: государственное устройство, образование, народонаселение, внешняя торговля, взаимосвязь между просвещением и национальным богатством, баланс между промышленностью и сельским хозяйством и т.д. По существу, «Заветные мысли» – духовное завещание Д.И. Менделеева потомкам.

Для широкого круга читателей.



Аминов Р.З., Юрин В.Е., Егоров А.Н.

Комбинирование АЭС с многофункциональными энергетическими установками.

М.: Наука, 2018. — 238 с.

В работе предложен новый взгляд на повышение безопасности АЭС. Разработаны и исследованы многофункциональные системы, включающие такие установки, как дополнительная паровая турбина, тепловые аккумуляторы, водородный комплекс и газотурбинные установки, позволяющие обеспечить надежное электроснабжение собственных нужд АЭС в аварийных ситуациях с обесточиванием. Исследован способ использования остаточного тепловыделения реакторов типа ВВЭР для генерации электроэнергии, необходимой для отвода остаточного тепловыделения в аварийных ситуациях с полным обесточиванием. Разработана система уравнений и построены скелетные таблицы свойств диссоциированного водяного пара, которые позволяют проводить промышленные термодинамические расчеты параметров рабочего тела водородных циклов. Исследованы процессы сжигания водорода в кислородной среде, а также определены ресурсные показатели основного оборудования водородного энергокомплекса, работающего в циклических режимах.

Для научных работников, специалистов, аспирантов, студентов старших курсов теплоэнергетических специальностей.

naukabooks.ru

ФЕНОМЕН АТАНАСИУСА КИРХЕРА

ИОГАНСОН Лидия Ивановна,

кандидат геолого-минералогических наук

Институт физики Земли РАН

DOI: 10.7868/50044394820090066

И вот, совершенно неожиданно отец Кирхер снова здесь.

И.В. Гёте

«Последний человек Ренессанса», испытавший прижизненную славу, многолетнее забвение и второе рождение в XXI веке, монах-иезуит Атанасиус Кирхер (1602–1680) был известнейшим в свое время эрудитом и ученым широчайшего профиля. Он родился в Германии, но бежал из нее во время 30-летней войны и прожил большую часть жизни в Риме. В сферу его научных интересов входили математика, география, геология, история, астрономия, лингвистика, акустика, оптика, механика, гидрология, гидротехника, пиротехника, криптография, фортификация, химия, архитектура, музыка, магнетизм, военная тактика и стратегия, то есть все существовавшие тогда научные дисциплины. Кирхер был автором многих изобретений, предвосхитивших современные сложнейшие разработки, и создателем уникального публичного музея древностей и редкостей в Риме. В то время его слава распространилась на всю Европу.

Возрождение интереса к этой необычной фигуре XVII в. наблюдается



P. ATHANASIVS KIRCHERVS FVLVDENSIS
ē Societ. Iefu Anno ætatis LIII.
Honori et observantie regis impiaur et D.D. C. Bloemert Roma 2. Maij A. 1655

Атанасиус Кирхер.
Художник Корнелиус
Бломаерт. 1664 г.

в последние десятилетия главным образом в США, Италии и Германии.

Начальная реанимация имени А. Кирхера произошла в литературе, и наибольшую популярность ему обеспечил Умберто Эко в книгах «Остров накануне», «В поисках совершенного языка», «Язык и безумие». Затем подключились ученые, и началось лавинообразное появление статей и монографий, стали проводиться симпозиумы, создаваться «кирхеровские» отделы в крупных музеях, в том числе круп-

нейший – в Стэнфордском университете США. Возникла «кирхериана», охватившая широкий круг специалистов и междисциплинарных исследователей. Так, в мае 2002 г., в 400-ю годовщину со дня рождения Кирхера, в Нью-Йоркском гуманитарном институте был проведен симпозиум¹. В 2004 г. В Нью-Йорке вышел обстоятельный том «Атанасиус Кирхер: последний

¹ Was Athanasius Kircher the coolest guy ever, or what?, что можно перевести как «Был ли Атанасиус Кирхер самым экстравагантным или каким?».



Атанасиус Кирхер, 1650-е гг.
Неизвестный автор

человек, который знал всё»². В 2012 г. биография Кирхера получила первую премию³. В этом же году группа американских и итальянских геологов назвала новооткрытый минерал кирхеритом.

Анализируя столь бурное возрождение полузабытого автора, исследователи этого феномена приводят разные объяснения. Одно из них связывают с особенностями мышления Кирхера, но гораздо больше заслуживает внимания точка зрения, ориентированная на его универсальный подход к постижению мира, на его формулу *omnia in omnibus* (все во всем), и утверждение «все явления в мире связаны тайными узлами».

Может быть, лучше всего о причинах возрождения интереса к Кирхеру сказал Дж. Годвин, английский компо-

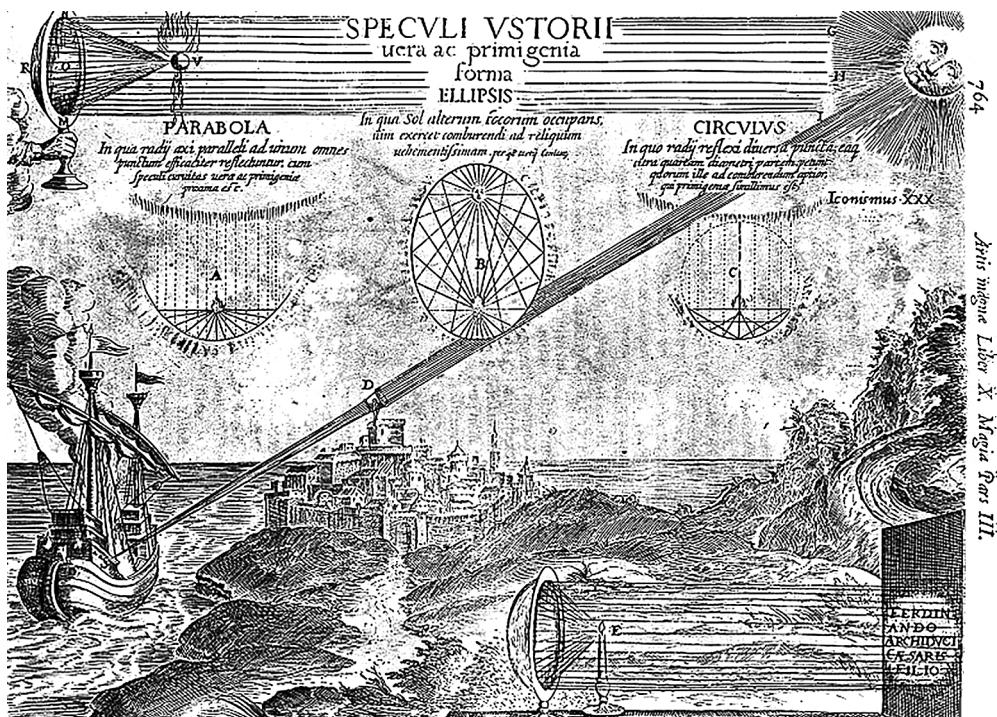
зитор и музыковед: «Он был всего лишь католиком... но он дает доступ чему-то за пределами религии, науки и политики. Эти приходят и уходят, но природа вещей не изменяется и исключительные личности периодически ее прозревают. Это смысл ренессансной концепции *prisca theologia* (древней теологии) и *philosophia perennis* (постоянной философии), находящихся в трудах Гермеса Трисмегиста, Зороастра, гимнах Орфея, Золотой поэзии Пифагора, диалогах Платона и произведениях неоплатоников... Герметические учения утверждают разумное устройство и гармонию Вселенной...»⁴

Атанасиус Кирхер родился 2 мая 1602 г. в г. Гайза, в Центральной Германии, в семье профессора теологии Иоганна Кирхера. Он получил прекрасное образование в иезуитском колледже Фульды и Кобленца. Еще во время обучения он начал преподавать древнегреческий язык, а после окончания колледжа преподавал математику, философию и древние языки, в том числе древнееврейский, в иезуитских колледжах в городах центральной Германии – Кобленце, Майнце, Вюрцбурге и др. Кирхер вступил в Иезуитский орден, и после испытательного срока в 1628 г. стал монахом этого ордена. С 1618 г. в Германии продолжалась религиозная 30-летняя война, протестанты жестоко преследовали католиков. Так Кирхер в 1631 г. попал в Авиньон, где в иезуитском колледже преподавал математику, натуральную философию и восточные языки. О количестве иностранных языков, которыми владел Кирхер, в литературе имеются разночтения, в любом случае речь идет о десятках, упоминается даже 100 языков.

² Athanasius Kircher: The Last Man Who Knew Everything, edited by Paula Findlen. Taylor & Francis Books, Inc. New York & London, 2004.

³ Glassie J. A Man of Misconceptions: The Life of an Eccentric in an Age of Change («Человек заблуждений: жизнь эксцентрика в эпоху перемен»). Riverhead of books. 2012.

⁴ Godwin, 2009 Athanasius Kircher's Theatre of the World. Thames & Hudson, London, 2009. 320 p.



Опыт А. Кирхера, имитирующий сожжение Архимедом флота Марцелла.
Из книги «Наука магнетика», 1646 г.

К 1630 г. определились его научные интересы и духовные устремления. Во время своих странствий по германским городам в одной из библиотек Кирхер увидел книгу с египетскими иероглифами. С тех пор его страстной до навязчивости идеей стало желание расшифровать эти письмена. Другим сильным желанием было миссионерство на Востоке. Забегая вперед, следует отметить, что египетские иероглифы Кирхеру расшифровать не удалось, но он по праву считается основоположником египтологии в Европе. Миссионером же он не стал, руководство ордена посчитало препятствием излишнюю темпераментность Кирхера и отсутствие у него смирения и склонности к самоуничижению. Зато в будущем ему пришлось стать неким центром (в единственном числе) иезуитской миссионерской деятель-

ности в далеких странах по сбору различного научного материала.

В 1631 г. была опубликована первая научная книга Кирхера, посвященная магнетизму, – «Наука магнетика»⁵. К этой теме он будет обращаться постоянно на протяжении всей жизни и выпустит еще несколько книг по магнетизму. В Авиньоне Кирхер завязал ценные знакомства и получил репутацию обещающего ученого и почти специалиста по иероглифам. Большую роль в дальнейшей судьбе Кирхера сыграл французский астроном и антиквар Николя Клод Фабри де Пейреск (1580–1637), который тоже интересовался египетскими древностями. Именно по рекомендации де Пейреска генералу ордена иезуитов Муцио

⁵ Ars magnetica, Magnetic Art.



Фронтиспис книги А. Кирхера «Эдип Египетский» (*Oedipus Aegyptiacus*), 1652–1654 гг.

Вителлеши в 1633 г. Кирхер переезжает в Рим, где попадает в близкое окружение к папскому престолу и назначается профессором математики и восточных языков в престижный иезуитский колледж Collegio Romano (сейчас – Папский григорианский университет). На этой должности Кирхер пробыл до 1646 г., когда ему разрешили оставить преподавательскую должность и он превратился в «единоличный институт для прогресса знаний»⁶.

Следует упомянуть легенду, связанную с приездом Кирхера в Рим и, очевидно, характеризующую его склонность к мистификации. В Рим он привез книгу древнего восточного мудреца, где содержался ключ к расшифровке

египетских иероглифов, а также купленные в Марселе семена загадочных растений. Этим растением оказался подсолнух, цветы которого были солнечными часами (из-за своего свойства следовать за Солнцем).

В это время папой в Риме был Урбан VIII (Маттео Барберини, 1568–1644) и только что закончился инквизиционный процесс над Галилео Галилеем (ЗиВ, 1965, № 1). 33 года назад Джордано Бруно (1548–1600) был сожжен на костре за ересь, важной составляющей которой была приверженность герметическому учению, восходящему к древней египетской мудрости (ЗиВ, 1975, № 5; 1998, № 6). И при этом католическая церковь во главе с папой была заинтересована в расшифровке иероглифов, египетских тайн – ведь именно как специалист по иероглифам Кирхер был приглашен в Рим. Он сосредоточивает свои усилия на изучении истории Древнего Египта по трудам не только европейских ученых, но и арабских историков, что навело его на весьма плодотворную мысль о связи коптского языка с древнеегипетским. Первый научный труд Кирхера в Риме «Коптские или египетские веяния» вышел в 1636 г. и был посвящен коптскому языку. Впоследствии расшифровавший египетские иероглифы Ж.-Ф. Шампольон (во многом благодаря Кирхеру) отдавал ему должное именно за «распространение изучения коптского языка», но пренебрежительно отзывался о его самостоятельных попытках расшифровать иероглифы⁷.

Результаты многолетних штудий египетских проблем были изложены Кирхером в двухтомном труде «Эдип Египетский», выходящем по частям в 1652–1654 гг. и в полном объеме (около 2 тыс. страниц). В этом произведе-

⁶The last man who knew everything... or did he?, in Findlen P., ed., Athanasius Kircher: The Last Man Who Knew Everything: New York, Routledge. 2004. p. 1–48.

⁷Йейтс Ф. Джордано Бруно и герметическая традиция (перевод Г. Дашевского). М.: Новое литературное обозрение, 2000.

нии ученый попытался свести воедино все известные к тому времени сведения о мудрости Древнего Востока⁸.

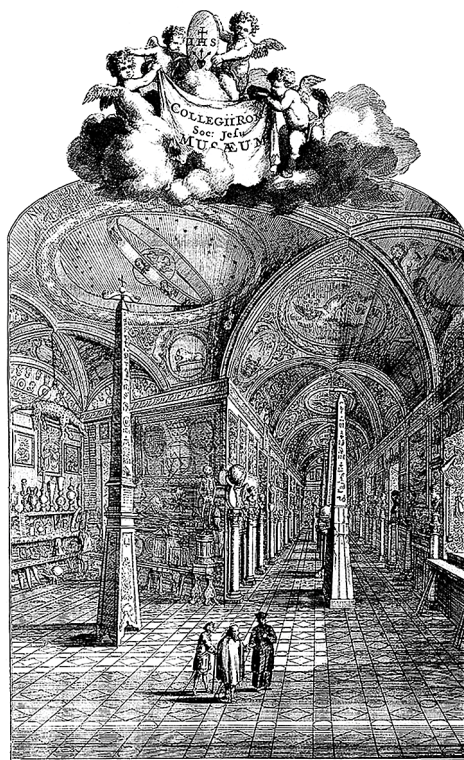
Возможно, не без влияния Кирхера египетские мотивы прочно вошли в живопись того времени. Египетские пирамиды и обелиски стали часто изображаться на полотнах художников XVII в. – Н. Пуссена (знакомого с Кирхером), а также многих других художников – К. Лоррена, С. Бурдона, П. да Кортонна и др.

Параллельно с работой над египетскими материалами Кирхер продолжал заниматься постижением магнетизма, этому вопросу была посвящена его первая книга, а в 1641 г. вышла вторая книга⁹. В переводе на русский язык полное название книги (ее объем – больше 900 страниц) выглядит так: «Магнит или искусство магнетизма, в трех частях, в которых универсальная природа магнита так же, как и его использование во всех искусствах и науках, объяснена новым методом. В дополнение приводятся неизвестные секреты природы от силы и удивительных эффектов магнита и других скрытых движений в природе в элементах, камнях, растениях, животных и других вещах благодаря всем видам физических, химических и математических экспериментов».

Наряду со своими нетривиальными взглядами на сущность магнитных явлений Кирхер в истории изучения магнетизма иногда упоминается как автор первой магнитной съемки Земли. Такое не совсем точное мнение основано на реальном участии Кирхера в грандиозном предприятии под названием «Географический план», который был разработан по инициативе генерала ордена иезуитов Муцио

⁸ Стрельцов А. Человек, знавший всё: Афанасий Кирхер // Исторический журнал. 2013. № 4. С. 76–91.

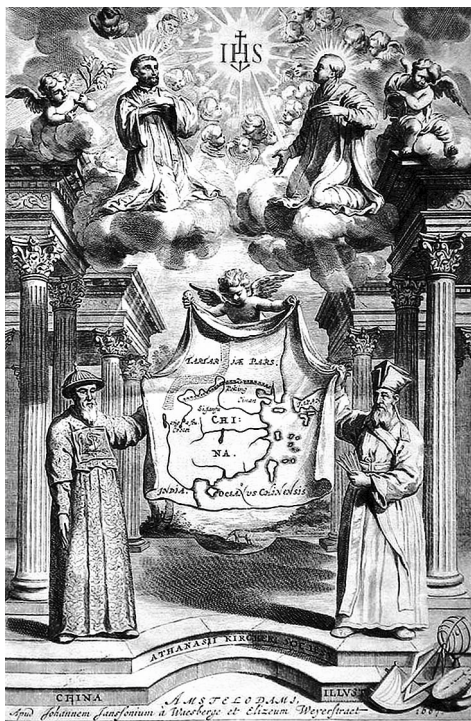
⁹ *Magnes sive de arte magnetica.*



*Kircheriana Domus natione Artium, Obstrum.
Dax con voce illis, circumspice dante.
AMSTELÆDAMI.
Ex officina Janssonio-Waesbergiana Anno MDCCLXXVIII.*

Музей Кирхенариум. Кирхер принимает посетителей. Гравюра, 1678 г.

Вителлеси и осуществлялся в 1640-х гг. Предполагалось провести географическую реформу, включив в нее не только сбор различной географически-этнографической информации, но и разработку методов определения долготы местности, которую в то время определяли неудовлетворительно. Для этого было решено использовать сеть иезуитских миссионеров во многих отдаленных странах и вменить им в обязанность измерять отклонение магнитной стрелки. Метод был предложен Кирхером, и он же стал центром по сбору информации. Письма шли в Рим на имя Кирхера и адресовались «нашему математическому князю в Риме». Кирхер был организатором первого централи-



Фронтиспис книги

«Китайские монументы...»

Изображены демонстрирующие карту Китая Маттео Риччи, итальянский ученый и иезуит, основатель миссии в Китае (справа) и Адам Шель фон Белль, немецкий иезуит (в одежде китайского чиновника), благословляемые с небес Игнатием Лойолой и Франциском Ксаверием (католическим миссионером), 1667 г.

зованного сбора унифицированной научной информации: он составлял таблицы с указанием мест и времени наблюдений, однако материалы проекта были утеряны.

В 1651 г. в Риме открылся музей, в основу которого была положена коллекция антикварных предметов и живописи аристократа Альфонсо Доннино, которую он подарил Collegio Romano. Куратором музея назначили Кирхера, он присоединил к этому дару свою коллекцию редкостей, минералов и окаменелостей. Так возник уникаль-

ный музей Кирхенариум¹⁰, ставший достопримечательностью Рима второй половины XVII в., пользовавшийся большой популярностью. Поразительным отличием этого музея было то, что укомплектованный древностями и редкостями, открытый в лоне католической церкви, он не имел образов и предметов христианского культа. Здесь были машины, деревянные обелиски, детские скелеты, чучела животных, римские погребальные урны, мозаики, монеты и т.д.¹¹ Музей был укомплектован диковинными изобретениями самого Кирхера – говорящими машинами, подслушивающими устройствами, автоматами, извергающими напитки для гостей. Сохранились описи музея, составленные Кирхером. В 2001 г. в Риме, в палаццо Венеция по каталогам Кирхера его экспозиция была восстановлена и показана в рамках специальной выставки «Музей мира».

В 1667 г. вышла в свет книга Кирхера о Китае «Китайские монументы, как священные, так и мирские...»¹², составленная на основе донесений иезуитских миссионеров, работавших в Китае. Это было собрание разнообразных сведений о неизвестной стране, включающих описание географических условий, населения, религии, флоры и фауны. Возможно, самой большой заслугой Кирхера в этой книге стала история и расшифровка «Несторианской стелы», древнего христианского памятника с китайским текстом (датируется 781 г. н.э.), который был открыт

¹⁰Museo Kircheriano, Museum Kircherianum.

¹¹Lo Sardo E., Kircher's Rome, in Findlen, P., ed., Athanasius Kircher: The Last Man Who Knew Everything: New York, Routledge, 2004. P. 51–62; Godwin, J., 1978, Athanasius Kircher. A Renaissance Man and the Quest for Lost Knowledge. London: Thames & Hudson, 1979.

¹²China monumentis, qua sacris qua profanis...

а



б



в



Обложки сочинений А. Кирхера:

- а) «Наука света и тени», 1646 г.;
 б) «Всеобщая музыкальная стихия», 1650 г.;
 в) «Вавилонская башня», 1679 г.

в 1625 г. Книга была прекрасно иллюстрирована, включала довольно подробную карту Китая, пользовалась большой популярностью и неоднократно переиздавалась¹³.

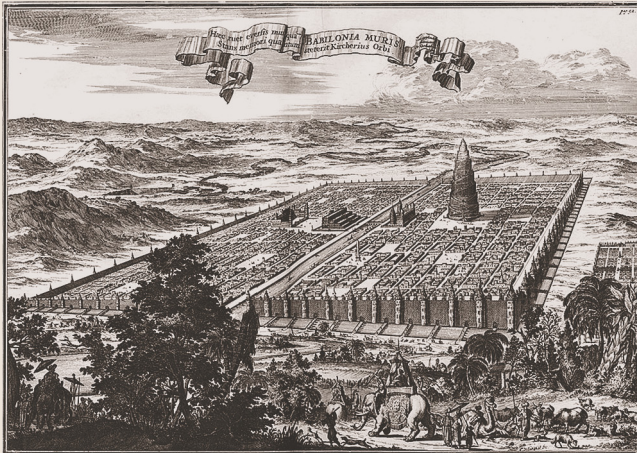
Среди других работ Кирхера следует назвать следующие: «Наука света и тени» 1646 г. издания (именно этот труд пристально изучал Иоганн Гёте при самостоятельных занятиях светом

¹³Conor R. Athanasius Kircher – a master of a hundred arts, 1602–1689. *Studia Kircheriana*. Wiesbaden, 1974; Hsia F. *Athanasius Kircher's China Illustrata* (1667), *Athanasius Kircher: The Last Man Who Knew Everything*: New York, Routledge, 2004. P. 383–404.

а



б



Иллюстрации к книгам А. Кирхера:

а) «Ноев ковчег», 1675 г. (Ноев ковчег перед Потопом и его внутренний вид);

б) «Вавилонская башня», 1679 г.

и цветом), большой труд о музыке «Всеобщая музыкальная стихия или великое искусство консонанса и диссонанса» (1650), не потерявший своего значения до настоящего времени, а также издания «Ноев ковчег» (1675) и «Вавилонская башня» (1679)¹⁴. «Ноев ковчег» – весьма своеобразное в отношении достоверности сочинение, приводящее самые подробные сведения о его конструкции – размерах и материале, из которого было построено это сооружение, а также списком всех животных, спасшихся на нем от Потопа. Однако интересно то, что в этом труде можно найти проблески будущей теории эволюции: Кирхер объясняет появление некоторых неизвестных до Потопа животных изменением природных условий после ужасного наводнения. Так же фантастична и «Вавилонская башня», но и здесь рассыпаны остроумные соображения о едином праязыке человечества.

Литературное наследие Кирхера огромно: всего при его жизни было опубликовано около 40 книг, каждый том содержал до тысячи страниц и был изобильно и мастерски иллюстрирован. Над оформлением книг Кирхера трудился большой коллектив искусных художников-гравиров, и существует предание, что его книги покупались не столько для чтения, сколько в качестве художественных альбомов. Они ценились библиофилами всей Европы уже в то время, и этот интерес сохранился до сих пор. В 2004 г. 954-страничный труд «Подземный мир» был издан как факсимильное подарочное издание к 32-му Международному геологическому конгрессу, состоявшемуся во Флоренции. В 2011 г. было выпущено еще одно факсимильное издание этого труда – им награждаются почетные профессора итальянских университетов.

Специального внимания заслуживают изобретения Кирхера. Здесь уместно назвать только некоторые из них. Самым знаменитым из них был «Математический орган» (1668)¹⁵, который по праву рассматривается как прообраз первого компьютера. Это была своего рода вычислительная машина, позволяющая решать задачи арифметики, геометрии, фортификации, астрономии, астрологии и даже тайнописи, а также рассчитывать и определять время. К его изобретениям также относится прибор для слабослышащих, подобие будущего проекционного аппарата, музыкальные инструменты. К разряду курьезов можно отнести прибор для записи пения птиц, а также приспособление для устрашения противника в виде наполняемого светящимся газом огромного дракона, на животе которого была надпись «Гнев Божий»¹⁶.

Кирхер был широко известен в свое время, более того, историк и специалист по итальянскому Возрождению Л. Финдлен называет его «первым ученым с мировой репутацией». Этому способствовали не только труды, но и во многом его участие в т.н. «Республике писем», получившей широкое распространение в XVII в. Это была интенсивная переписка между европейскими интеллектуалами: «В течение всей жизни он вел постоянную переписку с образованнейшими людьми своего времени. В числе его корреспондентов были такие ученые, как Лейбниц, Торричелли, Гассенди. С ним переписывались императоры Священной Римской империи, главы римско-католической церкви, кардиналы, курфюрсты, епископы и другие знатные люди тогдашней Европы. В одном только архиве Папского гри-

¹⁴ *Ars Magna Lucis, Musurgia universalis, sive ars magna consoni et dissoni, Arca Noe et Turris Babel.*

¹⁵ *Organum Mathematicum.*

¹⁶ *Fletcher J. A study of the life and works of Athanasius Kircher, Germanus Incredibilis.* Brill, 2011. 607 с.

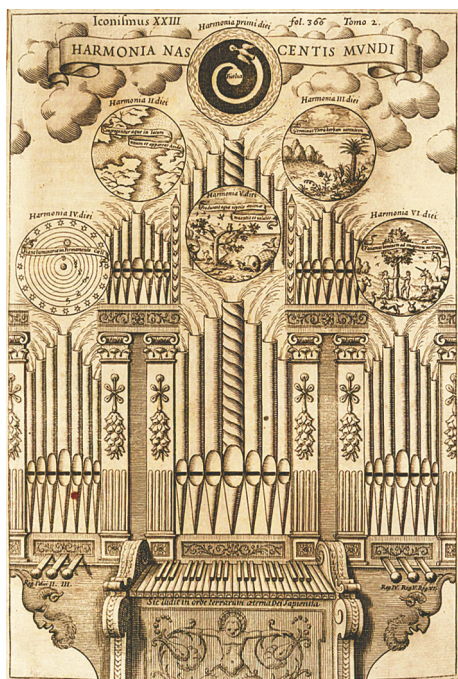


Иллюстрация из книги А. Кирхера
«Математический орган», 1668 г.

горианского университета в Риме хранится 2291 письмо Атанасиусу Кирхеру на латинском, итальянском, испанском, французском, немецком, голландском, фарси, арабском, китайском, армянском, коптском и других языках. Письма же самого Кирхера разбросаны по европейским архивам. Из них опубликована лишь мизерная часть»¹⁷.

Однако сохранившиеся свидетельства об отношении к Кирхеру других выдающихся ученых, его современников, далеко не однозначны. Рене Декарт высокомерно заметил: «...он больше шарлатан, чем ученый». Зато известно восторженное письмо от 16 мая 1670 г. молодого Г.В. Лейбница Кирхеру после знакомства с его работой по Китаю: «В остальном я желаю тебе, о ты, кото-

рый достоин бессмертия – в той мере, в какой оно выпадает на долю людей, чему счастливым подтверждением служит твое имя, – бессмертия в энергичной, полной юношеских сил старости». Но главной причиной было изменение исторических условий, в которых менялось и содержание вызовов времени. Подступала научная революция и лучше всего изменившееся отношение к знаниям выразил Декарт, сказавший, что готов забыть все, что знал, чтобы понять кое-что. Какой это вызов *Omnia in omnibus* Кирхера!

Интерес для сообщества наук о Земле представляет самое известное произведение Кирхера «Подземный мир», изданное в 1664–1665 гг. и позже неоднократно переиздававшееся¹⁸. В нем изложены взгляды Кирхера на устройство планеты и освещены многие вопросы, до сих пор определяющие проблематику наук о Земле. Кирхер касается вопросов геологии, палеонтологии, океанографии, химии, биологии, астрономии, метеорологии, математики. При таком универсальном интересе к окружающему миру Кирхер был обречен на создание этого труда. В каком-то смысле он перенес свой интерес к иероглифам на природу, проводя аналогию между расшифровкой первых и пониманием второй. При этом Кирхер отвергал чудеса, полагая, что природа, повинувшись своим естественным законам, много чудесней.

Ему пришлось стать свидетелем грандиозных явлений природы, что не могло не послужить толчком для активной работы мысли в направлении, связанном с устройством Земли. Несмотря на преимущественно оседлую жизнь в Риме, Кирхеру довелось совершить насыщенное приключениями путешествие на юг Италии

¹⁷ Томсинов В.А. Краткая история египтологии. М.: Зерцало; Издательский дом «Вече», 2004. С. 65.

¹⁸ *Mundus subterraneus, quo universae denique naturae divitiae.*

в 1637–1638 гг., когда он сопровождал гессенского ландграфа Фридриха на Мальту, будучи назначенным его личным духовником и исповедником. Тогда он стал зрителем, по его словам, «величественного театра природы» с участием грозных стихий: извержение вулканов Везувий, Этна и Стромболи и сильное землетрясение (Великое Калабрийское землетрясение), жертвами которого стали около 10 тыс. человек. Везувий начал извергаться в 1630 г., и это было самое сильное извержение после извержения 79 г. н.э., погубившего Помпею и Геркуланум. К 1637 г. пик деятельности вулкана был позади, но он продолжал извергать лаву. Кирхер решил на рискованное предприятие – спустился в кратер Везувия: «...когда я достиг кратера, страшно сказать, я увидел, что он весь в огне, с невыносимым запахом серы и горящего битума. Мне казалось, я смотрю на царство мертвых и вижу ужасные фантомы демонов, воспринимаю стоны и конвульсии ужасной горы, необъяснимый смрад, темный дым, смешанный с огненными шарами, которые продолжали извергать дно и стены горы из одиннадцати различных мест, вызывая рвоту и у меня»¹⁹. Утром он измерил пантометром (прибор, им сконструированный) размеры вулкана.

Уже тогда Кирхер сделал некоторые важные выводы, вошедшие в будущую книгу. Так, испытанные запахи дали ему основание полагать, что вулканическая деятельность обязана стогранию серы, битумов и селитры (порохообразное взрывчатое соединение), что приводит к взрыву и извержению горящего материала. Тем самым вулканы представляют отдушину для выхода горящего внутри Земли вещества, объем которого превышает раз-

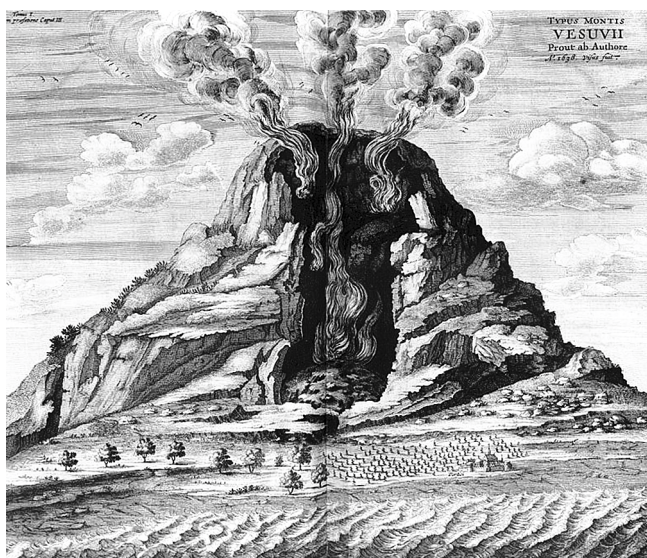
¹⁹ Scott M. 2012. Happy birthday, Athanasius Kircher. Earth Observatory. April 30th



Фронтиспис книги А. Кирхера «Подземный мир», 1664 г.

меры конкретного вулкана, а вулканическая деятельность может создавать и уничтожать горы. Одновременное извержение Везувия, Этны и Стромболи привело Кирхера к выводу о том, что под землей существовала связь между источниками вулканических извержений.

Рисунок Кирхера, изображающий извергающийся Везувий, украсил книгу «Подземный мир», вышедшую спустя почти 30 лет после описанных событий. Труд состоит из двух томов, первый том описывает «замечательную структуру земного глобуса», а во втором рассматриваются экологические проблемы о рациональном использовании земных благ. В целом в этой работе (как и в других трудах Кирхера) затрагиваются самые разнообразные темы, касающиеся как внутреннего устройства Земли, так



Извержение Везувия. Рисунок из книги Кирхера «Подземный мир», 1664 г.

и отвлечений на рассуждения о Солнце, Луне, затмениях, фейерверках, ископаемых, гравитации, горном деле, астрологии, горном деле и т.д. «Подземный мир» великолепно иллюстрирован, среди иллюстраций – карта Атлантиды, заимствованная Кирхером из древнеегипетских манускриптов.

По представлениям Кирхера, внутренняя часть Земли содержит пустоты, занятые огнем, водой и воздухом. Есть под землей переходы-вместилища семян для образования минералов и пород. В центре Земли находится «Центральный огонь», промежуточные очаги располагаются выше и наиболее близкие к поверхности питают вулканы. В Земле наблюдается равновесие между разогреванием и охлаждением: «вода, огонь, взаимно оберегают друг друга и по взаимному согласию охраняют геокосм, или земной мир»²⁰. Кирхер один из первых предположил увеличение температуры с глу-

²⁰ Fletcher J. A study of the life and works of Athanasius Kircher, 'Germanus Incredibilis'. Brill, 2011. 607 с.

биной в недрах Земли. Он находил связи между горами, вулканами, реками и океаном, усматривая их в круговороте воды на Земле, полагая, что все водные потоки берут начало из водяных камер, расположенных под крупными горными массивами. Соображения о разрушительной работе воды в известняковых массивах позволяют называть Кирхера среди основоположников карстологии.

Интересны представления Кирхера об ископаемых (в ту эпоху так на-

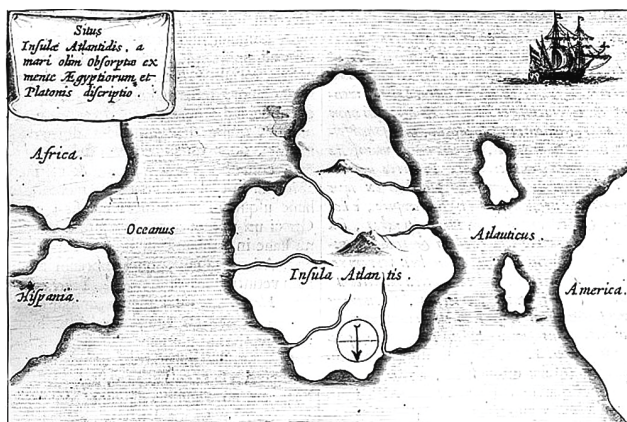
зывали все подземные образования), различая «фигурные камни» и минералы. Он «развил целую теорию об истинном принципе окаменения». Дискуссия о «фигурных камнях» была одной из наиболее длительных в истории геологии, взгляды ее участников различались от признания органической природы ископаемых до отнесения их к разряду «курьезов природы». Кирхер не сомневался в органическом происхождении множества окаменевших организмов – устриц, моллюсков и других обитателей морского дна.

Кирхер предполагал упорядоченное расположение горных хребтов на поверхности земного шара – на его схеме они следовали строго по двум направлениям – широтному и меридиональному. Следует упомянуть о его знакомстве с Николаусом Стено (1636–1686), основоположником научной геологии, обосновавшим принцип первоначального горизонтального залегания слоев и их суперпозиции. Известно, что они переписывались и даже встречались в Риме (предположительно в 1666 г.).

Труд Кирхера «Подземный мир» рассматривается в настоящее время как соединительное звено между средневековыми представлениями и нарожда-

ющимися эмпирическими знаниями, положившими начало научной революции в геологии. В нем были освещены практически все основные проблемы натуральной философии, поэтому символические образы, аллегории и метафоры используются наряду с эмпирическими заключениями. При этом наблюдения соседствуют с картинами из жизни подземных обитателей с той же степенью убедительности. Мировоззрение Кирхера соответствовало платоновской философии, он был сторонником синтетического, целостного, в современных терминах холистического, взгляда на природу. Он искал тайные узлы, связывающие все явления в мире, и наиболее отчетливо выразил эти представления в «Подземном мире». В этой работе ясно проводится идея, активно развиваемая впоследствии Дж. Геттоном (1726–1797) и ставшая снова популярной со второй половины XX в., о том, что Земля («сферический геокосм») – живое существо, равновесие геокосма определяется гармоничным соотношением огня и воды. В свою очередь это служит предпосылкой для безопасного существования человечества.

В области астрономии интересы Кирхера сводились к изучению солнечных пятен еще в 1624 г. в немецком Майнце и наблюдению за солнечным затмением в Риме в 1635 г. По его проекту в Авиньоне был построен планетарий, где системой зеркал проецировались отражения Солнца и Луны на карты с зодиакальными созвездиями, а также показаны города на разных широтах с разницей во времени. Данные об астрономических наблюдениях Кирхер упоминал в переписке, где обосновывал необходимость создания единого центра по сбору и анализу астрономической информации.

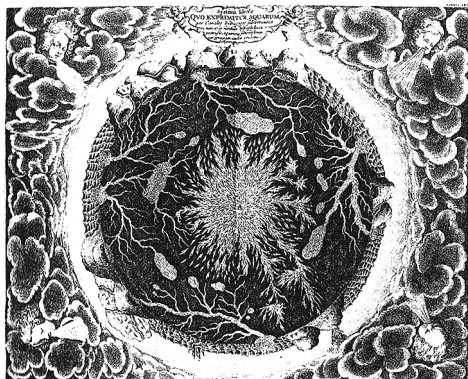


Карта Атлантиды. Рисунок из книги А. Кирхера «Подземный мир», 1664 г.

С космогонией, хотя и причудливо, связаны два произведения Кирхера скорее научно-фантастического, чем научного характера – «О восторге небесном» и «Экстатическое путешествие»²¹, написанные во второй половине 1650-х гг., оказавшие влияние разве что на писателей-фантастов. Это описание путешествия по планетам Солнечной системы с рассуждениями о существующих космогонических научных гипотезах и иллюстрированное фантастическими картинками. При описании Солнца Кирхер указывает на его дефекты, ссылаясь на лично виденные им пятна в телескопе. Кирхер придерживался гео-гелиоцентрической гипотезы Тихо Браге (1546–1601), согласно которой Земля находится в центре мира, вокруг Земли обращаются Солнце и Луна, а пять известных тогда планет – вокруг Солнца.

Особый интерес для автора представляло выяснение вопроса, насколько давно Кирхер известен в России. Оказалось, что имя Кирхера и его труды по египтологии были предметом интереса царя Алексея Михайловича (1629–1676). В «Приказе Тайных дел» хранились прорисовки египетских

²¹Iter exstaticum celeste et Itinerarium exstaticum.



Взаимоотношение огня и воды в недрах Земли. Иллюстрация из книги Кирхера «Подземный мир», 1664 г.

иероглифов, заимствованные из «Эдипа Египетского», 1652–1654 гг. В октябре 1671 г. в очередной, подготовленный для царя сборник новостей – «Куранты»



Обложка книги А. Кирхера «О восторге небесном», 1657 г. Изображен герой книги Теодидакт (alter ego Кирхера) и его ангел-проводник Космиэль.

включили сообщение, пришедшее из Рима: «Да здесь же прислано... для показанию Афонасию Кирхерию, мужу zelo мудрейшему в науке математической, ему же чают нигде подобного не обретается». Известили «Куранты» и о смерти Кирхера в 1680 г.²² В журнале «Месячные исторические, генеалогические и географические примечания в ведомостях» (приложения к газете «Санкт-Петербургские ведомости», 1728–1742 гг.) обнаружилось, что авторы статей об извержениях вулканов цитировали Кирхера, в том числе описание его отважного путешествия в жерло Везувия.

Жизнь А. Кирхера полностью вошла в пределы XVII в., которое по праву называется великим из-за изобретения таких инструментов, как телескоп, микроскоп и барометр, давших мощный импульс развитию наблюдательной науки. На его веку произошли фундаментальные открытия в физике и астрономии, связанные с именами Кеплера, Галилея и Ньютона, ознаменовавшие начало научной революции. Однако, хотя Кирхер сам пользовался телескопом и микроскопом, на его мировоззрение важнейшие научные открытия не повлияли. Он изначально был уверен в том, что устройство Вселенной лучше выражено в эзотерических древних текстах, чем в работах его ученых-современников. Именно этим объясняются превратности его посмертной судьбы, он не был включен в пантеон великих ученых, совершивших научную революцию, но нашел позднее признание по универсальности подхода к загадкам мироздания и вернулся в научный дискурс как последний человек Возрождения.

²² Шамин С.М. Неизвестная тайнописная азбука из архива приказа Тайных дел // Древняя Русь. Вопросы медиевистики. М., 2010. № 2. С. 104.

ФОТОННАЯ РАКЕТА: ФАНТАЗИИ И ФИЗИЧЕСКАЯ РЕАЛЬНОСТЬ

АЛЕКСАНДРОВ Евгений Борисович,

академик РАН

Физико-технической институт им. А.Ф. Иоффе

DOI: 10.7868/50044394820100060

*Вот, двигаясь по световому лучу,
(Без помощи, но при посредстве),
Я к Тау-Кита этой самой лечу,
Чтоб с ней разобраться на месте.*

Владимир Высоцкий

Фотонные ракеты! Романтические звездолеты научно-фантастических романов полувековой давности! Их авторы ознакомились с элементами специальной теории относительности (СТО) и осознали, что для межзвездных перелетов не обойтись без звездолетов с субсветовыми скоростями – иначе никакой жизни не хватит долететь до ближайшей звездной провинции. Ничего похожего подобным фантастическим проектам современная техника создать не может. Тем не менее очень скромную по скоростным возможностям фотонную ракету, позволяющую достичь приращение скорости аппарата в невесомости порядка первой космической, можно осуществить весьма простыми средствами. Расскажем об этом подробнее.

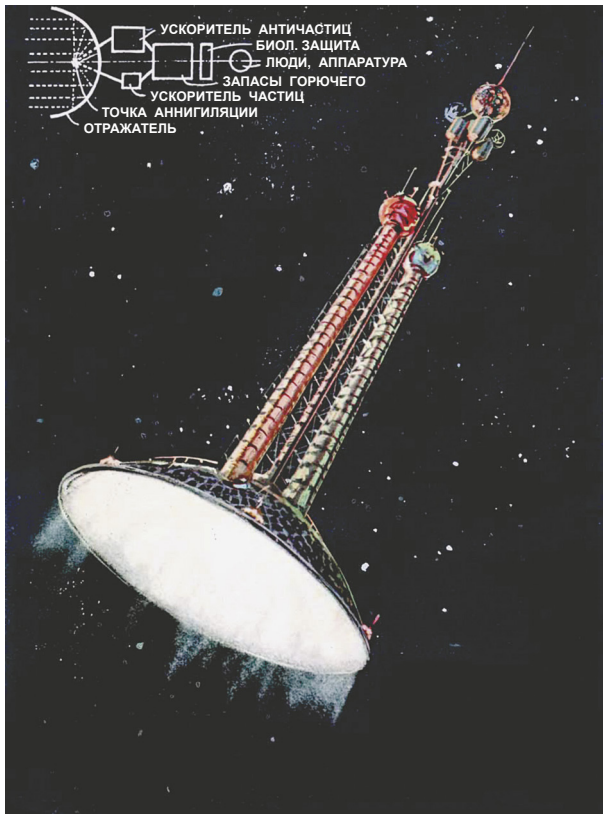
Как известно, реактивный (ракетный) двигатель имеет в основе закон сохранения импульса: выбрасывая реактивную струю, ракета подвержена силе реакции F , приводящей ее в движение. Эта сила равна количеству движения, уносимого в секунду реактивной струей: $F = \dot{m}v$, где \dot{m} – масса вещества струи, выбрасываемая ракетой в секунду, а v – скорость струи. Эффективность ракетного двигателя существенно характеризуется величиной

удельного импульса¹, нормированного на величину выбрасываемой в секунду массы. Очевидно, что ракета тем эффективнее, чем меньше она теряет рабочего вещества при заданной силе тяги. Анализ показывает, что удельный импульс тем больше, чем выше скорость струи и чем меньше молекулярный вес вещества струи. Максимально высоким удельным импульсом должна обладать ракета, у которой реактивная струя представляет собой луч света – поток фотонов, т.е. частиц, движущихся с предельной в природе скоростью – со скоростью света c .

Идея подобной *фотонной ракеты* была выдвинута ракетчиками в середине прошлого века, и до настоящего времени она нашла воплощение только на страницах научной фантастики². Дело в том, что, будучи предельно экономной в отношении расходуемой массы рабочего вещества (в качестве которого выступает лучистая энергия), такая ракета нуждается в чудовищных расходах энергии. В самом деле, зададимся единичной тягой $F = 1$ ньютон.

¹ https://ru.wikipedia.org/wiki/Удельный_импульс

² https://ru.wikipedia.org/wiki/Фотонный_двигатель



Проект фотонной ракеты Эйгена Зенгера. 1957 год.
 Источник: Wikipedia, https://ru.wikipedia.org/wiki/Фотонный_двигатель

Полагая скорость $v = c$, находим требуемую секундную массу \dot{m} лучистой энергии E , используя соотношения $E = mc^2$ и $F = \dot{m}c$: $\dot{m} = 1 \text{ Н}/c \cong 3.3 \cdot 10^{-9} \text{ кг}$ и $E \cong 3 \cdot 10^8 \text{ Дж}$.

Результат впечатляющий: излучаемая энергия почти ничего не весит – всего 3.3 микрограмма в секунду, но ее мощность грандиозна – три десятых гигаватта. Достаточно вспомнить, что мощность 1 ГВт – типичная единица измерения мощностей блоков атомных электростанций. И все это для обеспечения тяги в 1 Н, т.е., всего $\cong 102$ грамма силы!

Сопоставим это фантастическое чудо с реальным чудом техники – с ракетой «Сатурн-5», доставлявшей людей на

Луну³. Вторая и третья ступени этой ракеты были оснащены кислородно-водородными двигателями J-2 Rocketdyne, каждый из которых развивал тягу около 1 миллиона ньютонов (10^6 Н), сжигая в одну секунду около 80 кг водорода, что соответствует тепловой мощности около 10 ГВт. В пересчете на тягу в 1 Н это дает потребляемую мощность около 10 кВт, что на 4 порядка меньше энергии, излучаемой фотонной ракетой при равной тяге!

Вообще говоря, энергетический проигрыш на 4 порядка – это еще не смертный приговор. Огромный проигрыш можно восполнить соответственным повышением эффективности горючего. Действительно, великолепный кислородно-водородный двигатель использует химическую реакцию окисления водорода с энергетическим выходом около 120 МДж на 1 кг водорода, или около 2.5 эВ на одну молекулу водорода. Естественно, казалось бы, перей-

ти от химических реакций к ядерным, где счет энергии идет уже на миллионы электрон-вольт! Поэтому рассмотрим перспективы ядерных фотонных ракет, каковыми (т.е. ядерными) они, впрочем, и виделись исходно авторам этих идей.

Идеальная (фантастическая) фотонная ракета подразумевала использование реакции аннигиляции вещества и антивещества, в результате чего якобы вся масса топлива превращается в лучистую энергию, которая с помощью отражателей преобразуется в направленный луч. Однако подобный проект оказался неосуществимым по ряду причин. Во-первых, мы

³https://en.wikipedia.org/wiki/Saturn_V

не умеем создавать значительные количества антивещества и не умеем его запасать. До недавнего времени ядерщики умели производить только незначительные потоки позитронов, которые удавалось удерживать в накопительных кольцах. Во-вторых, аннигиляция приводит к полному превращению вещества в излучение только в случае электрон-позитронных столкновений. В-третьих, не существует эффективных отражателей для γ -излучения.

Тем не менее идея фотонной ракеты с ядерным источником энергии не представляется безнадежной, имея в виду весь уже 80-летний опыт ядерной энергетики. Отвлечемся от нереальной идеи аннигиляции и обратимся к другим источникам ядерной энергии. Таковых имеется три:

1) ядерный синтез; впрочем, этот источник явно не пригоден в обозримой перспективе, потому что до сих пор реализован только в режиме разрушительного взрыва, несмотря на уже затраченные 70 лет на разработку путей управляемого синтеза и почти 60 лет на попытки осуществления дозированных мини-взрывов;

2) ядерный реактор;

3) радиоактивный изотоп.

Если сравнивать энергетические возможности ядерных источников энергии, то они распределяются следующим образом⁴. Приняв за единицу эффективности реакцию аннигиляции электрона и позитрона, эффективности преобразования массы в энергию (любого сорта – кинетическую энергию частиц и лучистую энергию) трех перечисленных ядерных источников распределяются так:

1) в реакции ${}^3\text{H} + {}^2\text{H} \Rightarrow {}^4\text{He} + n + 17.6 \text{ MeV}$ (реализована в водородной бомбе) преобразование массы ядерной взрывчатки в кинетическую энергию

нейтронов происходит с эффективностью всего около 0.4%;

2) эффективность реакции деления урана-235 (или плутония) близка к 0.1%;

3) эффективности выделения ядерной энергии при распаде радиоактивных изотопов сильно различаются от изотопа к изотопу, не превышая, однако, эффективности реакции деления урана (или плутония). Но при этом необходимость наработки и хранения значительных количеств «горючего» требует использовать только долгоживущие изотопы, выбор среди которых не велик – это прежде всего изотопы полония с энергией α -распада около 5 МэВ и с эффективностью около 0.003%.

Начнем с третьей возможности. Несмотря на ее наименьшую энергетическую эффективность, она имеет преимущество необычайной технической простоты и надежности фотонного двигателя на ее основе. Нет ничего проще! Достаточно заключить, например, изотоп полония ${}^{210}\text{Po}$ в вольфрамовый контейнер необходимого объема, чтобы этот объем разогрелся до достаточно высокой температуры (один кубический сантиметр ${}^{210}\text{Po}$ выделяет мощность около 1320 Вт). При этом ядерная энергия распада будет целиком преобразовываться в тепло, которое будет в условиях космического вакуума полностью уходить в виде теплового излучения. Если поместить контейнер в фокус параболического алюминиевого зеркала, почти идеального отражателя для теплового излучения, то получится источник квазипараллельного луча. Выбор размера контейнера и массы полония, обеспечивающих безопасный разогрев подобного ядерного светильника, – простая инженерная задача, на деталях которой нет смысла останавливаться на этом этапе. Важнее оценить динамические возможности подобной «ракеты», чтобы понять, стоит ли овчинка выделки.

⁴Таблицы физических величин. Справочник под редакцией академика И.К. Кирина. Москва, Атомиздат, 1976.

Оценим предельное ускорение, которое может обеспечить описанный ядерный фонарь. Для этого будем считать, что всю массу ракеты M определяет радиоактивное топливо и что вся энергия радиоактивного распада переходит в направленное излучение. При известном времени жизни τ изотопа ($\tau = \tau_{1/2} \ln 2$, $\tau_{1/2}$ – время полураспада) мощность $W(t)$ уходящего излучения от ядерного фонаря массы M равна, очевидно,

$$W(t) = \epsilon a M \exp(-t/\tau) / (A\tau), \quad (1)$$

где ϵ – энергия α -частицы, A – атомный вес изотопа, a – число Авогадро. Экспоненциальный множитель учитывает распад изотопа со временем t . Ускорение $G(t)$ находится делением силы $F = W/c$ на массу M :

$$G(t) = G_0 \exp(-t/\tau), \quad G_0 = \epsilon a / (A\tau), \quad (2)$$

При использовании в качестве топлива радиоактивного изотопа ^{210}Po ($\epsilon = 5.3$ МэВ, $\tau_{1/2} = 138$ дней) получаем в качестве верхней оценки ускорения $G_0 = 0.047$ см/сек². Оценка эта является верхней в двух смыслах: во-первых, мы пренебрегли массой конструкционных материалов «ракеты», в том числе массой контейнера и отражателя, не говоря уже о массе полезной нагрузки (подобного рода пренебрежение типично для нынешней ракетной техники). Действительно, при стартовом весе заправленной топливом ракеты «Сатурн-5» около 2900 тонн, ее сухой вес составлял всего 177 тонн. Во-вторых, такое ускорение соответствует моменту $t = 0$, т.е. «свежей» заправке изотопом, количество которого экспоненциально убывает со временем. При этом масса «фотонной ракеты» практически не меняется (что резко отличает ее от «химической ракеты») вследствие очень низкой эффективности конверсии массы в энергию: при α -распаде ядра ^{210}Po превращаются в стабильные ядра ^{206}Pb почти той же массы.

Ничтожное на первый взгляд ускорение 0.047 см/сек² способно, однако, сообщить «фотонной ракете» за достаточно большое время (много большее времени жизни изотопа) дополнительную скорость ΔV , равную в пределе $t \rightarrow \infty$ величине $G_0 t = \epsilon a / (Ac)$. Это следует из (2). Переписав его в виде

$$G(t) = dV/dt = G_0 \exp(-t/\tau)$$

и интегрируя по времени от 0 до бесконечности, для V получаем:

$$V = V_0 + G_0 \tau$$

В отличие от ускорения G предельное приращение скорости ΔV не зависит от времени жизни изотопа, определяясь только энергией распада и атомным весом. Для ^{210}Po дополнительная скорость $\cong 8.1$ км/сек, т.е. скорость вполне «космического» масштаба.

Для каких задач имело бы смысл прибегать к подобному фотонному двигателю? Пожалуй, только для исследований дальнего космоса – за пределами Солнечной системы. В ее пределах доступны другие способы увеличения скорости космического аппарата. Это прежде всего использование гравитационных маневров в окрестности планет, что позволяет изменять скорость аппарата на величины порядка орбитальных скоростей планет. Возможно также использование солнечного паруса в качестве версии фотонного двигателя⁵ (действительно, в окрестности орбиты Земли мощность

⁵См., например, *McInnes C.R. Solar Sailing: Technology, Dynamics and Mission Applications. London: Springer, 2013. Опубликованы, впрочем, и проекты достижения релятивистских скоростей мини-аппарата, снабженного зеркалом, освещаемым с Земли мощным лазером: Ilic O., Went C.M., and Atwater H.A. Nanophotonic light sails for relativistic spaceflight by high-power laser beams // Conference on Lasers and Electro-Optics, OSA Technical Digest (online) (Optical Society of America, 2018), paper FF1H.6.*

солнечного излучения равна примерно полутора киловаттам на квадратный метр, что обеспечивает тягу того же порядка, что и «полониевый фонарь» весом в десяток граммов). Применительно же к миссии вне Солнечной системы уместнее в качестве топлива «фотонной ракеты» использовать более долгоживущий изотоп ^{208}Po , для которого $\tau_{1/2} = 2,9$ года или даже ^{209}Po с $\tau_{1/2} = 103$ года.

Как уже было отмечено, главным достоинством описанной «фотонной ракеты» выступает предельная простота ее конструкции. Существенно повысить ускорение и максимальное приращение скорости (скажем, на порядок) можно, перейдя к использованию ядерного реактора в качестве источника света, однако ценой очень значительного усложнения конструкции. Скорее всего, при этом идея «фотонного двигателя» уже не выдержит конкуренции с электрическими и плазменными ракетными двигателями,

также питаемыми от ядерного реактора. Дело в том, что, обладая предельно высоким удельным импульсом, фотонный двигатель крайне затратен в отношении расхода энергии, в то время как фактор преимущества высочайшего удельного импульса становится несущественным при малом расходе рабочего вещества по сравнению с полной массой ракеты. В самом деле: ракета с рекордным удельным импульсом, сжигающая 0.003% начальной массы, не имеет реальных преимуществ перед ракетой, сжигающей хотя бы в 100 раз больше топлива (при равных тягах). Иными словами, «фотонный двигатель» обладает избыточно высоким удельным импульсом, не дающим ему никаких преимуществ перед «нехимическими» ракетными двигателями электрического или плазменного типа, которые также имеют достаточно высокий удельный импульс, но зато много экономнее в отношении расхода энергии.



ИЗДАТЕЛЬСТВО НАУКА
1727
naukapublishers.ru

ЭКСКЛЮЗИВНЫЙ ПЕРЕПЛЕТ

Рисунок на коже
Все виды тиснения
Кожанный переплет
Рельефное тиснение
Клише любой сложности
Полноцветная роспись обзоров

А также адресные папки, дипломы, футляры

Берёмся за работы любой сложности!
По всем интересующим вопросам пишите на почту kiseleva@tnauka.ru

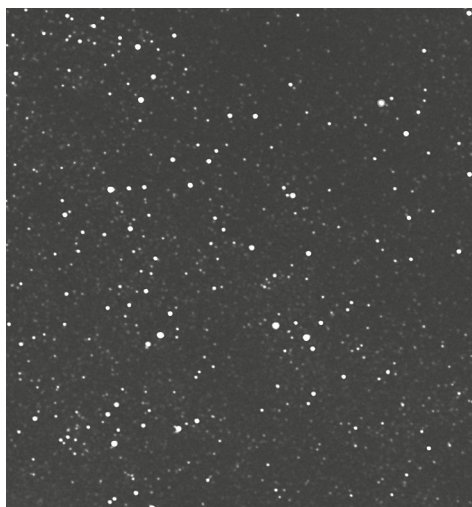
реклама

«НЕБЕСНАЯ ФРАНЦИЯ»

СОЛОМОНОВ Юрий Владимирович

DOI: 10.7868/50044394820110067

Четкого определения слова «астеризм» в астрономии нет. Этим термином могут называть небольшие группы звезд, похожие на рассеянные звездные скопления и большую группу звезд, не являющихся созвездием, но имеющую знакомые всем формы (ЗиВ, 2015, № 5; 2017, № 1). Например, ковши созвездий Большой и Малой Медведицы или Северный Крест в созвездии Лебедя или Ложный крест в созвездии Киля, похожих на созвездие Южного Креста. Самый известный пример астеризма – объект Коллиндер-399, больше известный как Вешалка из созвездия Лисички.



Участок неба в созвездии Щит с астеризмом «Небесная Франция», находящемся в центре. Снимок получен автором 18 августа 2020 г. с помощью фотоаппарата Canon-1110D, 135-мм объектив «Юпитер-37», сложение 40 кадров по 15 с (общая экспозиция 600 с), ISO-3200, обрезка кадра для выделения астеризма

Последнее время любители астрономии ведут списки подобных объектов и даже каталоги: Harrington, Ratledge, C2A американского астрономического клуба «Сагуардо». Какие только причудливые рисунки не создают звезды и фантазии наблюдателей: малый Орион, Кассиопея и Гиады, Смайлик, Черепаха, а уж одних колец и сережек можно насчитать несколько.

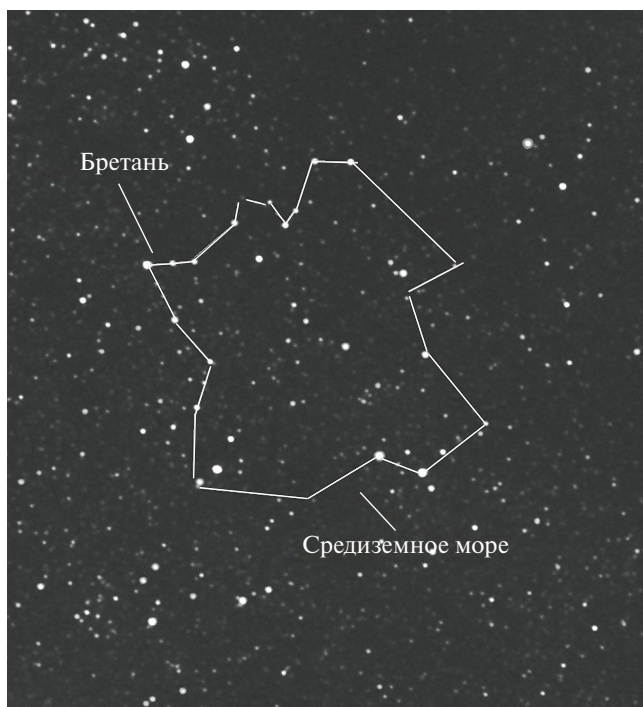
Не остался в стороне и автор этой заметки. Вечером 18 августа 2020 г. я фотографировал яркие диффузные туманности Орел (M16, или NGC 6611) в созвездии Змеи и Омега (M17, или NGC 6618; другие названия: Лебедь, Подкова, Лобстер) в созвездии Стрельца. В кадр также попал астероид Главного пояса (490) Веритас, открытый 3 сентября 1902 г. немецким астрономом М. Вольфом, который располагался в самой восточной части созвездия Щита, вблизи границы Змеи и Щита – большое угловое поле объектива «Юпитер-37» позволило сделать широкоугольные кадры.

Во время поиска астероида на одном из снимков я обнаружил удивительную группу звезд, своим очертанием похожую на границы государства Франция, поэтому астеризм я назвал «Небесная Франция». Звезды расположились таким образом, что можно представить себе очертания полуострова Бретань, прямую границу между ней и Испанией по Пиренейским горам и даже изгиб Средиземного моря, который омывает побережье этой страны.

Астеризм «Небесная Франция» состоит из 24 звезд 11–13^m и включает в себя рассеянное звездное скопление NGC 6631

Астеризм
«Небесная Франция»,
выделенный на снимке
автора, полученного
18 августа 2020 г.

в созвездии Щит – его местоположение в астеризме соответствует городу Страсбургу и окрестностям на карте Франции. Размер астеризма около 0.5° , почти такой же угловой размер у полной Луны, находится он в западной части созвездия Щита, чуть правее и выше известной диффузной туманности M16. Впрочем, читатель может посчитать звезды по-другому или включить все звезды внутри астеризма.



**А вы отправили
обязательный
экземпляр?**

Издательство «Наука» предлагает организациям
и независимым издателям услугу по отправке
Обязательного Электронного Экземпляра
в Российскую государственную библиотеку
и Российскую книжную палату

При размещении научных, научно-популярных книг и журналов в Электронной библиотечной системе
Издательства «Наука» (libnauka.ru) данную услугу мы предоставляем бесплатно.
Задать вопрос и узнать о стоимости услуги вы можете по адресу oe@naukaran.com

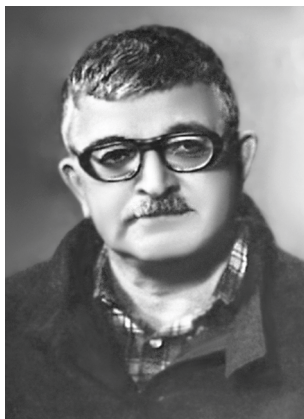
ПРОГРЕССОР СТРУГАЦКИЙ — В НАСТОЯЩЕМ И БУДУЩЕМ

АРБИТМАН Роман Эмильевич,

писатель

DOI: 10.7868/50044394820120063

В 2020 году Аркадию Стругацкому – старшему из двух братьев – исполнилось бы 95 лет. Аркадий Натанович был замечательным переводчиком, чутким редактором, вдумчивым рецензентом (он помог публикации многих достойных авторов), но прежде всего он был, конечно, прекрасным писателем. Книги, написанные им вместе с Борисом Натановичем, продолжают регулярно переиздаваться, о них спорят, а это значит, что произведения эти по-прежнему современны (хотя некоторые из них созданы еще полвека назад). Когда Аркадия Натановича не стало, «двуединый» писатель-фантаст ушел от нас – и одновременно остался: братья Стругацкие стали частью истории советской литературы второй половины XX столетия, не утратив популярности. И поскольку мир Стругацких был рожден воображением авторов в годы расцвета советской цивилизации и достиг зрелости в час небывало яркого ее заката, он – еще и призма, магический кристалл, с помощью которых иные поколения могут наблюдать «ушедшую натуру». В любом случае забвение книгам Стругацких явно не грозит. Дон Румата Эсторский, Саша Привалов, Иван Жилин, Максим Каммерер, Перец с Кандидом – эти и им подобные персонажи появились своевременно и, надо полагать, уйдут в тень еще очень и очень нескоро.



Аркадий Натанович Стругацкий. Фотография из архива официального сайта <http://www.rusf.ru/abs/>

Чтобы лучше понять Стругацких сегодня, попробуйте читать их в хронологическом порядке – от первых, еще ученических рассказов до позднейшего «Града Обреченного», – и вы станете свидетелями уникального процесса их эволюции, творческой и человеческой: от искренних адептов светлого коммунистического будущего (время «Страны Багровых туч» и «Стажеров»), до мудрых и печальных реалистов (время «За миллиард лет до конца света» и «Гадких лебедей»). Космические приключения уступали место земным пробле-

мам, прекрасный «полдень XXII века» становился лишь литературным антуражем, а каждый следующий роман все труднее преодолевал редакторское и цензорское сито. Знаете, сколько времени занял путь от журнальной версии одного из самых известных романов Стругацких «Пикник на обочине» до отдельного книжного издания? Восемь лет. Плюс «двести уничижительных исправлений текста» (цитируя воспоминания Бориса Стругацкого).

Уже к концу 60-х гг. братья Стругацкие расстались с иллюзиями. Они осознали, что «нами управляют жлобы и враги культуры» и что мир Полудня – недостижимая утопия. Став старше и многое поняв на собственном горьком опыте, писатели постарались честно, не роняя себя, продолжать существовать в заданных условиях и выжимать максимум из тех очень

немногих степеней свободы, которые им в данный момент предоставляло Гомеостатическое Мироздание. Хотя у Стругацких больше не было иллюзий, они не стали циниками. Их героям окружающий мир по-прежнему небезразличен, вот только хэппи-энд в их историях уже нет, и даже у победы добра над злом вдруг окажется терпкий привкус поражения. Временного, впрочем. Борьба Хаоса с Космосом никогда не кончается, так устроен мир.

Фантасты – не пророки, они не ставят своей целью предсказать какую-то конкретику, но им по плечу точно обозначить место Человека на Земле, а Земли – во Вселенной. И если в их книгах наша планета для иных цивилизаций может выглядеть «обочиной», это – не выражение пессимизма, но, прежде всего, метафора: разум гуляет, где хочет, впереди – миллиарды лет, и мы еще успеем переместиться с периферии обитаемого космоса. Было бы желание. В конце концов, придуманная писателями теория «вертикального прогресса» когда-нибудь может оказаться не такой уж фантастической.

Художественные открытия Стругацких, ставшие поворотными в развитии жанра отечественной научно-фантастической литературы, уже вписаны в анналы: тут и перенос смыслового акцента с машинерии на героев, и ломка стереотипов господствовавшей прежде «фантастики ближнего прицела», с проблем технологических – на проблемы этические; тут и подкоп под железобетонную ограду узко понятой «научности» жанра, и дерзкое сочетание традиционной *science fiction* с сатирой, памфлетом, детективом, сказкой; тут и конструирование целой Вселенной с уже знакомыми персонажами, «мерцающими» в каждой вещи; тут и грамотный сплав ненамного интеллектуализма с *action*, и провокативность открытых финалов...

Разумеется, Стругацкие были в первую очередь писателями, которые умели главное – рассказать историю так, что читать ее было интересно. Все дело в том, что с конца 50-х и вплоть до се-

редины 80-х гг. XX века фантастика в СССР играла особую роль. Оставаясь как бы на периферии литературного процесса, она долгое время – вплоть до полного сворачивания процессов «оттепели» в конце 60-х (а отчасти и позднее) – была не в фокусе внимания наиболее бдительных советских идеологов. То есть да, время от времени волны вскипали, и тогда, например, появлялась разоблачительная статья академика Францева в «Известиях» (о тех же Стругацких), но все же фантастику по инерции считали «неглавной» литературой, развлекательной, ставили ее на одну полку с детской, детективной и проч. Это позволяло фантастике «замещать» то, чего у нас просто не могло существовать – от социальной прогностики до социальной сатиры. Конструируя фантастические миры, Стругацкие легко заходили в «смежные» области и, в конце концов, выработали особую манеру: всякая история, ими рассказанная, несла и дополнительные смыслы. Иногда их «меседж» был явным, иногда подспудным, однако любитель фантастики был умен и умел читать между строк...

Так что же из наследия Стругацких воздействует на читателя первой половины XXI столетия? Как мне кажется, многое. И сегодня наука стоит бастионом на пути мракобесия. Человек Познающий по-прежнему борется с Человеком Зашоренным. Книги Стругацких помогают существовать свободным людям, даже если они оказались в несвободном мире, и противостоять – пусть и личным примером – сознательному оглулению этого мира. Сегодня, когда телевышки все больше начинают походить на башни-излучатели из «Обитаемого острова», а пропагандисты в штатском «дурака лелеют, дурака заботливо возвращивают, дурака удобряют» (цитирую «Хищные вещи века»), социальная, «антитоталитарная» фантастика Стругацких так же актуальна, как и полвека назад. Возможно, в грядущем на первый план выйдут какие-то иные составляющие наследия писателей. Если доживем – проверим.

In memoriam

Михаил Игоревич ПАНАСЮК (14.08.1945–03.11.2020)

З ноября 2020 г. из жизни ушел директор Научно-исследовательского института ядерной физики имени Д.В. Скобельцына МГУ им. М. В. Ломоносова, заведующий Отделением ядерной физики физического факультета МГУ, автор нашего журнала профессор Михаил Игоревич Панасюк.

Михаил Игоревич Панасюк в 1969 г. окончил физический факультет МГУ, в 1972 – аспирантуру и в том же году защитил кандидатскую диссертацию, а в 1988 г. – докторскую диссертацию. Вся жизнь Михаила Игоревича была неразрывно связана с Научно-исследовательским институтом ядерной физики МГУ, в котором он проработал более 50 лет, из них почти 30 лет – в должности директора.

Научные интересы М.И. Панасюка были связаны с физикой космоса: исследованием космической радиации, магнитосфер планет и космических лучей с помощью космических и наземных экспериментов.

Широкую международную известность получили инициированные им исследования кольцевого тока в магнитосфере, ответственного за генерацию геомагнитных бурь, и роли ионосферного кислорода как основного компонента кольцевого тока, определяющего, наряду с протонами солнечной плазмы, энергетику геомагнитных бурь.

М.И. Панасюк – автор уникальных спутниковых экспериментов по изучению аномальных космических лучей, благодаря которым было открыто новое явление в околоземном пространстве – формирование радиационного пояса Земли, состоящего из частиц аномальных космических лучей, и доказана его связь с нейтральными частицами межзвездного газа.

Под руководством М. И. Панасюка осуществлены четыре международных эксперимента (АТИС) на высотных аэростатах в Антарктике по изучению космических лучей в малоизученном интервале энергий. Он был одним из координаторов работ по развиваемому в настоящее время проекту TAIGA.

М. И. Панасюк инициировал и осуществил с сотрудниками института многочис-



ленные космические эксперименты на спутниках, которые легли в основу Программы космических исследований МГУ им. М.В. Ломоносова, в числе которых спутники «Татьяна-1» (2005) и «Татьяна-2» (2009). Под его руководством были осуществлены космические эксперименты на борту спутника «Вернов» (2014) и «Ресурс-П» (эксперимент «Нуклон»). М.И. Панасюк был научным руководителем экспериментов на борту уникальной астрофизической лаборатории – Российского университетского спутника «Ломоносов» (2016), руководил проведением научных и прикладных экспериментов по мониторингу космической радиации на борту российских метеорологических спутников серий «Метеор», «Электро», «Глонасс», «Космос» и Международной космической станции.

С 2018 г. М.И. Панасюк был вице-президентом международного Комитета по космическим исследованиям (COSPAR).

М.И. Панасюк вел активную преподавательскую деятельность на физическом факультете МГУ. Под его руководством двенадцать аспирантов физического факультета и сотрудников института подготовили и защитили кандидатские диссертации.

Он состоял в редколлегиях нескольких научных журналов и многое сделал для популяризации науки, в частности, стал автором прекрасной книги «Странники Вселенной, или Эхо Большого взрыва», посвященной космическим лучам. Михаил Игоревич опубликовал много статей и в нашем журнале. Новую статью о явлениях в высотной атмосфере он прислал в редакцию незадолго до своей кончины. Статья будет опубликована в следующем номере журнала.

Редакция скорбит об уходе Михаила Игоревича и выражает глубокие соболезнования родным и близким.

ВИКТОРИНА ЮНЫХ ФИЗИКОВ ОТДЕЛЕНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ НАУК РАН

Решения

Задачи см. на стр. 72

Задача 6

Черная дыра – это область с интенсивным гравитационным полем, размеры которой определяются гравитационным радиусом, или радиусом Шварцшильда. Этот радиус намного меньше реального физического размера физического объекта ввиду того, что он характеризует предельное состояние объекта, в котором внутреннее давление становится недостаточным для противостояния гравитационному сжатию под действием собственного гравитационного поля объекта. Чисто гипотетически черную дыру можно сделать из Земли, если ее уменьшить до радиуса, который меньше радиуса Шварцшильда – < 1 см. В процессе такого сжатия между частицами вещества внутри объекта начинаются термоядерные реакции, сопровождаемые большим выделением энергии в виде различного рода излучений. То есть объем тела уменьшается, при этом масса этого объекта начинает концентрироваться в малой (по сравнению с первоначальными размерами) зоне, внутри и вблизи которой действует гравитационное поле высокой интенсивности. Теоретически можно породить черную дыру на Земле путем столкновения высокоэнергетичных элементарных частиц, однако даже качественные оценки (расчеты) показывают, что для реализации такого сценария частицы нужно разогнать до энергий, не достижимых в современном эксперименте.

Задача 7

Олимпиадный стиль задачи определяется тем, что нужно было применить эффект Доплера. Наша планета Земля входит в состав Солнечной системы, где все естественные космические объекты вращаются вокруг центральной звезды – Солнца. По мере удаления от Солнца рассматривают обычно планеты Меркурий, Венеру, Землю, Марс, Юпитер, Сатурн, Уран, Нептун, Плутон, а также астероиды, которые объединены в несколько поясов. По отношению к Земле две планеты: Меркурий и Венера – являются внутренними, т. е. вращаются по орбитам, находящимся между Солнцем и Землей, а все остальные планеты – внешние, т. е. размеры их орбит больше орбиты Земли. Интересно, что все объекты движутся вокруг Солнца в одном направлении, но с разными скоростями. Средние линейные скорости движения планет в гелиоцентрической системе отсчета (т. е. относительно Солнца) имеют следующие значения (см. таблицу).

Планета	Меркурий	Венера	Земля	Марс	Юпитер	Сатурн	Уран	Нептун	Плутон
Скорость в км/с	47,4	35,0	29,8	24,1	13,1	9,7	6,8	5,4	4,7

Здесь, конечно, нужно помнить, что чем сильнее орбита отличается от круговой (чем больше эксцентриситет эллипса), тем больше меняется скорость планеты в разных участках орбиты: максимальная скорость бывает в момент, когда планета находится в перигелии (т. е. максимально близко к Солнцу), минимальная скорость, когда планета находится на максимальном от Солнца расстоянии (т. н. афелий).



Задача 7. Рисунок. 1

Источник: <https://easy-physic.ru/opredelenie-skorostej-obektov-v-razlichnyx-tochkax-ix-traektorij/>

Более сложная картина возникает, если будем рассматривать движение планеты в геоцентрической системе отсчета, т. е. их движение по отношению к Земле. Дело в том, что запаздывание сигнала будет происходить по причине наличия ненулевой скорости движения планеты по отношению к Земле. При чем обсуждать нам нужно т. н. лучевую скорость, т. е. компоненту скорости планеты в геоцентрической системе отсчета по направлению линии, соединяющей центры Земли и планеты. Чтобы оценить, какова должна быть лучевая скорость планеты, проще всего воспользоваться уравнением, описывающим классический эффект Доплера.

Все, конечно, привыкли, что в случае распространения электромагнитных волн в вакууме нужно обсуждать изменение частоты (длины волны) электромагнитного излучения вследствие взаимного перемещения источника и приемника света. Наш случай будет несколько иным (в этом и состоит «изюминка» задачи).

Мы будем рассматривать изменение частоты периодического сигнала с периодом $1 \text{ час} = 3600 \text{ с}$, распространяющегося в космическом пространстве со скоростью света $c \approx 300\,000 \text{ км/с}$ вследствие эффекта Доплера, возникающего из-за наличия ненулевой лучевой скорости V движения планеты относительно Земли. Причем рассматривать мы будем именно классический эффект,

поскольку частота импульсов весьма малая. Из теории эффекта Доплера известно, что детектируемая частота ν связана с частотой источника ν_0 соотношением:

$$\nu = \nu_0 \cdot \left(1 + \frac{V}{c}\right)$$

учитывая, что частота выражается через период как $T = 1/\nu$, можно записать:

$$\frac{1}{T} = \frac{\left(1 + \frac{V}{c}\right)}{T_0}, \text{ откуда } V = c \cdot \left(\frac{T_0}{T} - 1\right) = c \cdot \frac{T_0 - T}{T}$$

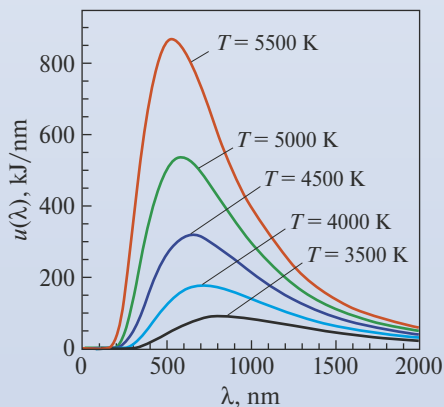
где период $T = 3600$ с, а период $T_0 = 3600.6$ с. Отсюда получаем: $V = 50$ км/с.

Если рассмотреть возможные взаимные скорости планеты относительно Земли, становится понятно, что все планеты, кроме Меркурия, могут иметь заметно меньшие скорости. Самый сильный эффект будет, когда Меркурий движется в перигелии, а на Земле он наблюдается в восточной элонгации, на максимальном удалении к востоку от Солнца. В этот момент скорость Меркурия в направлении Земли максимальна и равна 59 км/с (с учетом эксцентриситета орбиты Меркурия). Проекция скорости Земли на направление от Меркурия 9 км/с, поэтому максимальное значение лучевой скорости Меркурия будет $59 - 9 = 50$ км/с, поэтому $\Delta T = 0,6$ с, что соответствует условию задачи.

Ответ: Меркурий.

Задача 8

По большому счету, пятна на Солнце имеют тот же самый цвет, что и остальная поверхность звезды. Главное отличие состоит в том, что яркость пятен ниже, так как температура пятен меньше, из-за чего они нам кажутся темными. Солнечное пятно может иметь температуру вблизи $3500\text{--}3700^\circ\text{C}$. Но по сравнению с температурой фотосферы Солнца, которая составляет приблизительно 5500°C , разница существенна. Рассматривая вопрос более глубоко, нужно изучить спектральную яркость различных участков Солнца. Спектр теплового излучения твердого тела зависит от температуры в соответствии с формулой Планка (см. рисунок 1). Для наиболее простого случая излучения абсолютно чёрного тела изменение температуры на 2000 К приведёт к изменению кривой, что можно в каком-то смысле расценивать как изменение цвета.



Задача 8. Рисунок 1

Задача 9

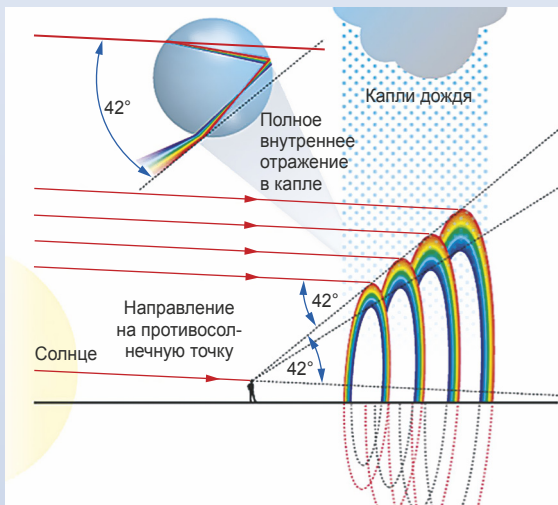
Есть довольно простой элегантный способ приблизительно вычислить массу атмосферы. Для этого достаточно знать давление воздуха у поверхности Земли и площадь поверхности Земли. Дело в том, что давление воздуха у поверхности Земли определяется весом атмосферы P . У поверхности Земли $P = mg$, где m – масса атмосферы, а g – ускорение свободного падения. Далее вспомним, что давление p можно выразить через силу, действующую на известную площадь: $p = F/S$. Используя эти два выражения, получаем $p = mg/S$. Остается лишь вспомнить, что площадь поверхности шара S связана с его радиусом соотношением $S = 4\pi R^2$. Хорошо известно, что нормальное атмосферное давление – это приблизительно 10^5 Па, а радиус Земли примерно 6371 км. Отсюда можно выразить и найти массу: $m = 4\pi p R^2/g$. Примерно равно $5 \cdot 10^{18}$ кг.

Иллюстрация на обложке книги «Золотой теленок» И. Ильфа, Е. Петрова, где главный герой Остап Бендер говорил: «На каждого человека, даже партийного, давит атмосферный столб весом в двести четырнадцать кило. Вы этого не замечали?»

«Не сердитесь, Зося. Примите во внимание атмосферный столб. Мне кажется даже, что он давит на меня значительно сильнее, чем на других граждан».

Задача 10

Радуга – оптическое явление, которое может наблюдаться во время или после дождя в солнечную погоду (т. е. при освещении ярким удаленным источником света множества водяных капель дождя или тумана). Первая радуга образуется в результате однократного отражения внутри каждой капли водяного пара (поэтому радугу можно видеть не только после дождя, но и при других условиях, например, около фонтанов в солнечный день). Луч солнечного света, где есть компоненты разных длин волн (от ультрафиолетового до инфракрасного), попав на поверхность капли, частично отразится и частично войдет



Задача 10. Рисунок 1. Условие формирования радуги.
Источник <http://www.vokrugsveta.ru/quiz/263381/>

внутри капли, испытав при этом преломление, описываемое известным законом Снеллиуса. Угол, под которым пойдет внутри капли преломленный луч, зависит от показателя преломления воды, который, вследствие дисперсии, несколько отличается для разных длин волн (1330 для красного цвета, 1337 для фиолетового цвета). Таким образом, разные по цвету компоненты белого светового пучка внутри капли после преломления пойдут

под несколько отличающимися углами. Далее, дойдя до границы раздела «вода–воздух», световые пучки снова испытают отражение и преломление. Отраженный свет, вышедший из капель, наблюдатель увидит в виде радуги. Важное условие образования радуги – положение Солнца над уровнем горизонта не должно быть более 42 градуса (см. рисунок 1).

Под таким углом из капли будет выходить наибольшее количество отраженных лучей, которые окажутся параллельными друг другу, таким образом, радуга будет иметь максимальную яркость. Этот угол, по сути, является углом, под которым реализуется максимальное внутреннее отражение параллельных лучей света от солнца на границе раздела двух сред «вода–воздух» внутри каждой капли. Иногда этот угол называют углом, при котором реализуется полное (или максимальное) отражение внутри капли, однако этот угол не является углом полного внутреннего отражения (для воды – примерно 48 градусов). Для более подробного анализа механизма образования радуги, где показано, как можно найти величину оптимального угла максимального внутреннего отражения, рекомендуем обратиться к статье Е. Д. Трифонова «Еще раз о радуге»¹.

Двойная радуга образуется вследствие точно такого же физического явления – максимального отражения света внутри капли воды. Отличие от первичной радуги состоит в том, что отражение от внутренней поверхности капли реализуется не однократно, а два раза. Поскольку при каждом отражении значительная часть света теряется, интенсивность вторичной радуги значительно меньше, чем у первичной. Поскольку в этом случае реализуется обратный ход лучей, меняется и порядок цветов во вторичной радуге по сравнению с первичной (см. рисунок 2).

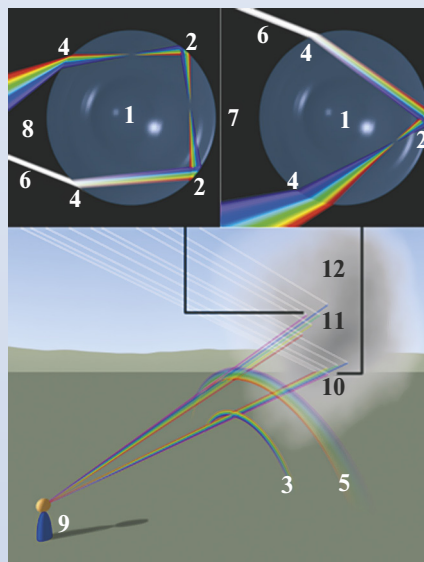
Интересно рассмотреть поляризационные характеристики обеих радуг. У первичной и вторичной радуг они различны. Нехитрый опыт, доказывающий это свойство, можно провести, если у вас есть т. н. поляризационные

Задача 10. Рисунок 2.

Схема образования двойной радуги:

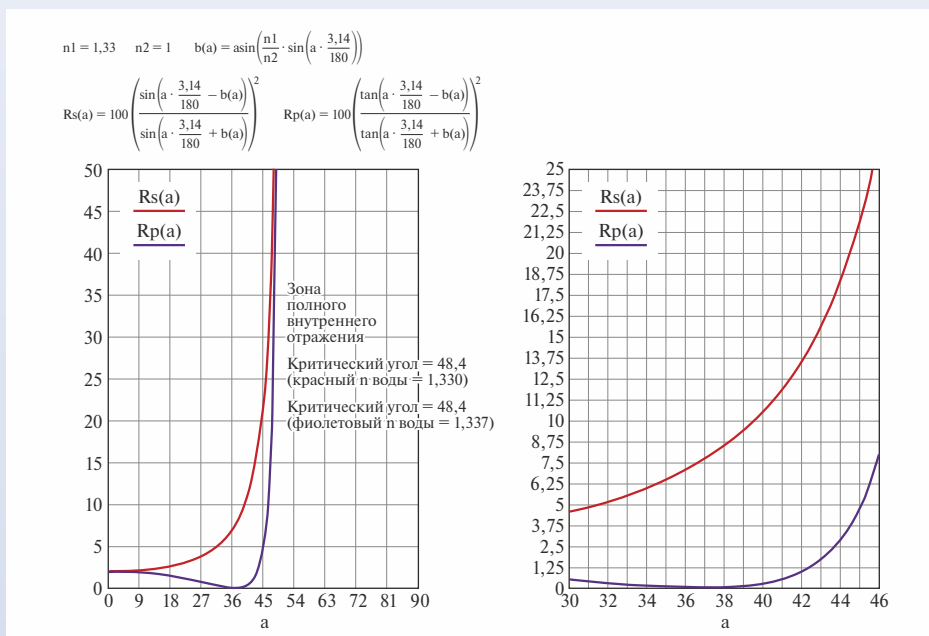
- 1) сферическая капля; 2) внутреннее отражение; 3) первичная радуга;
- 4) преломление; 5) вторичная радуга;
- 6) входящий луч света; 7) ход лучей при формировании первичной радуги;
- 8) ход лучей при формировании вторичной радуги;
- 9) наблюдатель; 10) область формирования первичной радуги;
- 11) область формирования вторичной радуги;
- 12) облако капелек.

Источник: <https://medium.com/paradox-review/радуга-с-точки-зрения-физики-4922a1cc3871>



¹ Трифонов Е.Д. Еще раз о радуге / Соросовский образовательный журнал, том 6, № 7, 2000 http://ocean.phys.msu.ru/courses/geo_common/2000ТрифоновЕ.Д.%2CЕЩЕРАЗОРАДУГЕ.pdf

солнцезащитные очки. Попробуйте вращать такие очки, рассматривая двойную радугу. Вы будете видеть то одну, то другую радугу в зависимости от угла поворота. Данное наблюдение может быть воспринято как ортогональная поляризация, но точный количественный учет требует рассмотрения формул Френеля (для справки), которые покажут, что первая радуга почти полностью поляризована в горизонтальном направлении, тогда как во второй радуге лучи поляризованы и в горизонтальном, и в вертикальном направлении. Этот вопрос выходит за пределы школьной программы, однако поскольку ряд школьников рассмотрел этот вопрос, мы приводим чуть более подробные рассуждения. Естественный солнечный свет деполаризован, но при отражении его от границы раздела двух сред «вода–воздух», s - (перпендикулярная плоскости падения луча) и p - (в плоскости падения) поляризованные компоненты будут отражаться с различной эффективностью, к тому же зависящей от угла падения на границу раздела. Зависимости интенсивности отраженного света для обеих поляризаций от угла падения (которые можно вывести из формул Френеля) приведены на рисунке 3.



Задача 10. Рисунок 3

Из рисунка видно, что, например, для p -поляризованного излучения при угле максимально внутреннего отражения 42 градуса отражается всего лишь чуть больше 1%, тогда как для s -компоненты отражается почти 14%.

Строгое рассмотрение двух преломлений и одного отражения для первичной радуги с учетом формул Френеля дает степень поляризации почти 94%, т.е. первичная радуга почти полностью поляризована по касательной к ее дуге. Для вторичной радуги необходимо учесть два преломления и два отражения, кроме того, лучи падают на границы раздела под несколько большими углами, в связи с чем итоговая степень поляризации достигает величины примерно

88%². Таким образом, вторичная радуга тоже поляризована по направлению касательной к ее дуге, но в меньшей степени. Были рассмотрены первые 20 порядков радуги и вычислены интенсивности *s*- и *p*-поляризованных компонент³. Было получено отношение $I_s/I_p = 0.08778 : 0.00425$ для радуги первого порядка и $0.03516 : 0.00371$ для радуги второго порядка.

В целом чем более высокий порядок радуги, тем меньше у нее степень поляризации. Отличие в степени поляризации приводит к тому самому любопытному экспериментальному наблюдению, который был описан в начале решения. Если ориентация поляризатора такова, что полностью проходит *s*-компонента, то первичная (яркая) радуга практически не меняет своей яркости, тогда как вторичная (более тусклая) радуга становится несколько менее яркой по причине подавления *p*-поляризованной компоненты, что на контрасте может выглядеть как исчезновение вторичной радуги на фоне первичной. Когда мы поворачиваем поляризатор на 90 градусов, первичная радуга почти полностью гасится, т. к. ее степень поляризации очень высока. Вторичная же радуга тоже ослабляется, но поскольку в ее составе имеется заметная доля *p*-поляризованного излучения, она подавляется не полностью, и становится более заметной на фоне почти полностью подавленной первичной.

Интересно, что, несмотря на многолетние исследования свойств радуги, физики продолжают заниматься описанием ее свойств. Например, в недавней работе ученых из Университета Нью-Йорка (США)⁴ приведено подробное теоретическое исследование оптических свойств этого интересного явления.

Задача 11

Межзвездным облаком называют скопление газа, пыли и плазмы. Свойства таких межзвездных газовых облаков в зависимости от температуры могут быть разными. В самых холодных и плотных областях межзвездной среды образуются облака, ядра которых содержат молекулярные газы, прежде всего состоящие из молекулярного водорода (H_2). Такие молекулярные облака имеют температуру всего около 1–10 градусов Кельвина и имеют высокую концентрацию частиц пыли. Если вблизи такого облака нет источника света, который вызывает увеличение температуры газа, вызывая тем самым распад молекулярного водорода на атомы, то случайным образом плотность газа может привести к нестабильной гравитации внутри облака и образованию протозвезды. Звезды образуются вследствие гравитационного притяжения частиц друг к другу в облаке. Мешает этому процессу турбулентное движение газов, которое тем интенсивнее, чем выше температура. В более холодных облаках с температурами ниже 10 градусов Кельвина гравитация побеждает турбулентное движение (кстати говоря, это можно показать, написав соответствующие уравнения), и сжатие приводит к рождению звезд.

²Подробное рассмотрение дано в статье: *Graham G.R. Polarization of rainbows, Physics Education (1975). Vol. 10. Issue 1. P. 12* <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/0031-9120/10/1/012>

³*Rösch S. Der Regenbogen in Wissenschaft und Kunst, Applied Optics (1968). Vol. 7. Issue 2. P. 233* <https://www.osapublishing.org/ao/abstract.cfm?uri=ao-7-2-233>

⁴*Masatsugu Suzuki, Itsuko Suzuki – Physics of rainbow (2010)* https://www.researchgate.net/publication/269929976_Physics_of_rainbow

УКАЗАТЕЛЬ СТАТЕЙ И ЗАМЕТОК, опубликованных в журнале “Земля и Вселенная” в 2020 г.

АНАНЬЕВА В.И., ТАВРОВ А.В., ПЕТРОВА Е.В., КОРАБЛЁВ О.И. Зоны обитаемости. От Солнечной системы к экзопланетам	3
АРЕФЬЕВ В.А. По следам очень большого взрыва	4
АПТЕКАРЬ Р.Л. Коллекция гамма-всплесков глубиной в четверть века. Какие результаты принес эксперимент КОНУС-ВИНД	2
БАРТАЛЁВ С.А., СТЫЦЕНКО Ф.В. Космические исследования лесов	6
ВЕРХОДАНОВ О.В. Постоянны ли космологические постоянные?	1
ВЕРХОДАНОВ О.В. Гигантские радиогалактики – уникальные объекты Вселенной	2
ГАДЕЛЬШИН Д.Р., ВАЛЯВИН Г.Г. Экзотариумы других солнц: крупные достижения в изучении внесолнечных планет	3
ГОРАДЖАНОВ В.С., ТОПТУН В.А., ЗОЛОТУХИН И.Ю., КАТКОВ И.Ю., ЧИЛИНГАРЯН И.В. Поиск и открытие черных дыр промежуточных масс при помощи крупных наземных и космических обсерваторий и данных Виртуальной Обсерватории	5
ИВАНОВ П.Б. «Горячие Юпитеры»: орбитальная эволюция, волны в звездах и приливы	3
КОРЖЕНКОВ А.М., АНАРБАЕВ А.А., УСМАНОВА М.Т., ЗАХИДОВ Т.К., МАКСУДОВ Ф.А., САИДОВ М.М., КУБАЕВ С.Ш., НАСРИДДИНОВ Ш.Н., РОДИНА С.Н., ВАРДАНЯН А.А. Сейсмические деформации в древнем поселении Кыркхуджра, расположенном на Великом Шелковом пути в Папском районе Узбекистана	6
ЛОБКОВСКИЙ Л.И. Сейсмогенно-триггерная гипотеза усиления эмиссии метана и изменения климата в Арктике	6
ЛУКИНА Н.В. Глобальные вызовы, леса и дистанционное зондирование Земли	6
МАРСАКОВ В.А. Пасынки Галактики, или Звездные объекты внегалактического происхождения внутри Млечного Пути	2
НОВИКОВ И.Д. Новый этап развития общей теории относительности	4
ПОСТНОВ К.А. Наша Вселенная и другие земли	1
СТЕПАНОВ А.В. Терагерцевое солнце	5
ЧЕРЕПАЩУК А.М. Университетская астрономия: наблюдения рентгеновских двойных систем на Кавказской горной обсерватории и Крымской станции ГАИШ МГУ	4
ШАЙХИСЛАМОВ И.Ф., ХОДАЧЕНКО М.Л. Горячие экзопланеты, новый класс планет, наблюдательные проявления и методы исследования	3
НОВОСТИ НАУКИ	
АНАНЬЕВА В.И. Второй «Лунный корабль» продолжает полет	6
ЛЮДИ НАУКИ	
БОРОВИН Г.К., ГОЛУБЕВ Ю.Ф., ЕФИМОВ Г.Б., КОЗЛОВ Н.Н., ТУЧИН А.Г. Тимур Магометович Энеев (к 95-летию со дня рождения)	4
ГЕРАСЮТИН С.А. Проложивший путь в космос (к 125-летию со дня рождения М. Валье)	1, 2

ЕРЕМЕЕВА А.И. Открывший конечность скорости света. Оле Рёмер (к 375-летию со дня рождения)	2
ЕРЕМЕЕВА А.И. Разрушивший «каналы» Марса... К 150-летию со дня рождения Э.М. Антониади	5
ИОГАНСОН Л.И. Путешествие А. Гумбольдта в России	1
ИОГАНСОН Л.И. Феномен Атанасиуса Кирхера (1602–1680)	6
ПАКШИН П.А., ПАКШИНА Н.А. Астроном-наблюдатель Михаил Васильевич Ляпунов	5
РОМЕЙКО В.А. Человек Вселенной (памяти Бориса Григорьевича Пшеничника)	4

ИСТОРИЯ НАУКИ

ВЕДЕШИН Л.А., ГЕРАСЮТИН С.А. Первые советские научные эксперименты на Луне. К 50-летию посадки на Луну «Лунохода-1»	5
ГЕРАСЮТИН С.А. Аварийный полет корабля «Союз-1» (расшифровка переговоров В.М. Комарова с Центром управления полетом)	4
ГРИБКО Л.П. Преподавание астрономии в Московском университете в начале XIX века	2
ИВАНОВ К.В. Корпус топографов. Двести лет со времени основания	1
КАЗАКОВ Е.В. Римские созвездия: темное прошлое, короткая жизнь	3
МАЛКОВ О.Ю., САМУСЬ Н.Н., РЯБОВ М.И., БОЧКАРЕВ Н.Г. Тридцатилетие Астрономического общества	1
СОЛОМОНОВ Ю.В., ГЕРАСЮТИН С.А. Крупнейшие рефракторы мира	2
СУДАКОВ В.С. Российские двигатели на американских ракетах	5
ЯЗЕВ С.А., ГОЛОВКО А.А. 80 лет наблюдений солнечных пятен в Иркутске	3

ОБРАЗОВАНИЕ

«Дорога в космос»: резолюция Первой всероссийской конференции по космическому образованию	1
ГОЛОВАНОВА А.В., МАГАРЯН К.А., НАУМОВ А.В. Викторина юных физиков Отделения физических наук РАН. Задачи и решения	5, 6
ХОХЛОВ А.В. Школа. Лето. Космос	6
ШУБИН П.С. Летняя космическая школа – 2020	6

ИНСТИТУТЫ. ОБСЕРВАТОРИИ

ГРИГОРЬЕВ В.М., ГОЛОВКО А.А. Переменная звезда Солнце и его магнитное поле	4
ЛИСОВ И.А. «Глаз небесный»	3
МЕДВЕДЕВ А.В., ЯЗЕВ С.А. В лучах звезды по имени Солнце Институту солнечно-земной физики СО РАН – 60 лет	4
СОЛОМОНОВ Ю.В., ЕРХОВА Н.Ф. Война и мир обсерватории Пик-дю-Миди (к 150-летию основания)	3
ЯСЮКЕВИЧ Ю.В., ЯСЮКЕВИЧ А.С. Взгляд на ионосферу Земли через GPS и ГЛОНАСС	4

КОСМОНАВТИКА XXI ВЕКА

АНАНЬЕВА В.И. Скрытый океан Цереры	5
Космические исследования в 2019 году. Хроника научных запусков и основных событий	2

ЛИСОВ И.А Великий марсианский десант 2020 года	5
ПАЙСОН Д.Б. Конец элитарного клуба	1, 2
IN MEMORIAM	
Олег Васильевич Верходанов (17.03.1965–05.04.2020)	3
АлександрАронович Гурштейн (21.02.1937–03.04.2020)	3
Михаил Николаевич Павлинский (08.12.1959–01.07.2020)	4
Михаил Игоревич Панасюк (14.08.1945–03.11.2020)	6
ХРОНИКА СЕЙСМИЧНОСТИ ЗЕМЛИ	
СТАРОВОЙТ О.Е., ЧЕПКУНАС Л.С., КОЛОМИЕЦ М.В. Сейсмичность Земли во втором полугодии 2019 года	3
ПЛАНЕТАРИИ	
КАЛЯКИНА Т.А., МИТЮГОВ А.К. Ночь. Небо. Телескоп	2
ПО ВЫСТАВКАМ И МУЗЕЯМ	
КУТУЗОВА Л.А. «Опередившие время»	1
НОВЫЕ КНИГИ	
ДЕГТЯРЁВ А.О., ПОЛЯЧЕНКО В.А., СМИРИЧЕВСКИЙ Л.Д. «Алмазы» без грифа «Секретно»	3
ЗАКУТНЯЯ О.В. Лев Оборин. Солнечная система. Космические стихи и научные комментарии	1
ЛИТЕРАТУРНЫЙ КОСМОС	
АРБИТМАН Р.Э. Прогрессор Стругацкий – в настоящем и будущем	6
МНЕНИЕ	
ШУБИН П.С. Непреодолимая «вторая ступень»? О проблемах современной популярной литературы	3
ГИПОТЕЗЫ, ДИСКУССИИ, ПРЕДЛОЖЕНИЯ	
АЛЕКСАНДРОВ Е.Б. Фотонная ракета: фантазии и физическая реальность	6
РУБАКОВ В.А., ШТЕРН Б.Е. Антропный принцип: «Постулировать нельзя объяснить?»	1
ЛЮБИТЕЛЬСКАЯ АСТРОНОМИЯ	
СОЛОМОНОВ Ю.В. «Небесная Франция»	6

EARTH & UNIVERSE

6 (336), 2020

November–December

TABLE OF CONTENT:

Lev M. ZELENYI Editorial	3
Sergey A. BARTALEV, Fedor V. STYTSENKO Forests From Space	5
Natalia V. LUKINA Global Challenges, Forests and Earth Remote Sensing	18
Leopold I. LOBKOVSKY Seismogenic-triggered hypothesis of reinforcement of gas emission and climate warming in the Arctic	27
Andrey M. KORZHENKOV, Abdulkhamid A. ANARBAEV, Makhira T. USMANOVA, Takhir K. ZAKHIDOV, Farkhod A. MAKSUDOV, Muminkhon M. SAIDOV, Surat Sh. KUBAEV, Shukurullo N. NASRIDDINOV, Svetlana N. RODINA, Asmik A. VARDANYAN Seismic Deformations in Kyrkhudzhra ancient settlement on the Silk Road in Pap Region of Uzbekistan	37
NEWS	
Vladislava I. ANANYEVA <i>Chandrayaan 2</i> Keeps On the Orbit	60
EDUCATION	
Alexander V. KHOKHLOV School. Summer. Space	64
Pavel S. SHUBIN Summer Space School 2020	69
Alina V. GOLOVANOVA, Konstantin A. MAGARYAN, Andrei V. NAUMOV Young Physicists Quiz of the RAS Physical Sciences Division. Part 2. Tasks	72
PEOPLE OF SCIENCE	
Lyudmila I. IOGANSON Athanasius Kircher (1602–1680)	75
HYPOTHESES, IDEAS, DISCUSSION	
Evgeny B. ALEXANDROV The Simplest Photon Rocket	89
AMATEUR ASTRONOMY	
Yuri V. SOLOMONOV France In the Sky	94
SPACE FICTION	
Roman E. ARBITMAN Progressor Strugazky In the Past And In the Future	96
IN MEMORIAM	
Mikhail I. Panasyuk (14.08.1945–03.11.2020)	98
EDUCATION	
Young Physicists Quiz of the RAS Physical Sciences Division. Part 2. Answers	99
Earth and Universe Index 2020	106
Table of Content and Selected Abstracts	109

Front page: Satellite-based view of the Arctic. Mosaic image by Terra/MODIS instrument created with *Worldview* service <https://worldview.earthdata.nasa.gov/> using the images taken from September 12 to November 12, 2020

EARTH & UNIVERSE

6 (336), 2020

November–December

Forests From Space

Sergey A. BARTALEV, Fedor V. STYTSENKO

Space Research Institute of the Russian Academy of Sciences

DOI: 10.7868/S0044394820060018

Forests are the most common type of the terrestrial ecosystems. Covering about one third of the total land area, they produce almost two thirds of organic matter, sustain oxygen and energy balance, and control global biochemistry and biophysics, including water and carbon cycles on our planet.

However, what can be said about the current state of terrestrial forests? Where do they grow, how many species are there, what is their productivity, how fast do they change? And, last but not the least, are they – and will they be – capable to regulate climate and water cycle, function as a habitat for many plant and animal species, factor of human health, and a source of timber. What is the scope of the impact, which anthropogenic (i.e. having human origin) factors have on the terrestrial forests, and will they result in the degradation of forests.

Global Challenges, Forests and Earth Remote Sensing

Natalia V. LUKINA

Centre of Forest Ecology and Productivity of the Russian Academy of Sciences

DOI: 10.7868/S004439482006002X

Closed cycle bioeconomy is an alternative to a linear economy based on fossil fuels, which has already led us to environment degradation and decrease of biodiversity. Development of such bioeconomy is an effective response to modern global challenges: Earth population growth, globalization, urbanization, migration, and climate changes. Preserving forest biodiversity and maintaining the balance between their ecosystem services are key prerequisites for biosphere to function and, in the same time, for our state – to develop economically.

Seismogenic-triggered hypothesis of reinforcement of gas emission and climate warming in the Arctic

Leopold I. LOBKOVSKY

P.P. Shirshov Institute of Oceanology of the Russian Academy of Sciences

DOI: 10.7868/S0044394820060031

A seismogenic-triggered hypothesis is proposed to explain the abrupt activation of methane emission and climate warming phases in the Arctic as a result of strong mechanical disturbances in the marginal region of the Arctic lithosphere. Those disturbances might have been caused by great earthquakes in the Aleutian subduction zone, and slowly propagated across the Arctic shelf and adjacent regions, triggering the methane release from permafrost and metastable gas hydrates, followed by greenhouse gas emissions into the atmosphere.

Seismic Deformations in Kyrkhudzhra ancient settlement on the Silk Road in Pap Region of Uzbekistan

Andrey M. KORZHENKOV¹, Abdulkhamid A. ANARBAEV²,
Makhira T. USMANOVA³, Takhir K. ZAKHIDOV³, Farkhod A. MAKSUDOV²,
Muminkhon M. SAIDOV², Surat Sh. KUBAEV², Shukurullo N. NASRIDDINOV⁴,
Svetlana N. RODINA¹, Asmik A. VARDANYAN¹

¹ O. Yu. Schmidt Institute of Physics of the Earth, Russian Academy of Sciences

² National Center of Archaeology Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan

³ Institute of Seismology named after G. Mavlyanov, Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan

⁴ Namangan State University, Republic of Uzbekistan

DOI: 10.7868/S0044394820060043

Results obtained during archeological and paleogeographic studies testify a fact that delta part of the Gavasay river (tributary of the Syrdariya river) was cultivated in X century BC. Irrigation agriculture was flourishing during 500 years here. Pap (Bap) city with its square 10 ha was built in V century BC in territory of Kyrkhudzhra ancient settlement. The city consists of three parts: citadel, shahristan, and suburb (rabat). After 4 centuries Kyrkhudzhra, as well as all other cities of the northern Fergana, suffered from a strong earthquake in 90s BC. New fort walls of 8 m width were built in Kyrkhudzhra after this, with old walls used as a basement. In IV–V century AD because of strong destructions during next strong earthquake the population left Kyrkhudzhra settlement. Severe destructions and damages of specific structure revealed during the study point undoubtedly on seismic genesis of deformations in Kyrkhudzhra settlement. Judging by a fact of impossibility to determine a systematics in Kyrkhudzhra ruins, the source of ancient earthquake was near the settlement. The settlement itself is on reworked adyrs – growing intradepression anticlinal uplifts. Seismically active faults located under adyrs are responsible for uplifts' formation, growth, and seismic activity. Rupture planes formed during ancient and recent strong earthquakes are also under the adyrs. Analysis of existing geological and tectonic materials on study region has allowed revealing geological reasons of seismic processes. These processes are predetermined by neotectonic history of tectonic development and by the position of the North Fergana seismic zone in general structure of the Western Tien Shan. It is necessary to consider an important factor of increasing of the seismic risk because Namangan Oblast' is in foothill territory – directly in the North Fergana fault zone and concurrently in flexure-rupture zone of the same name. Thus, Namangan Oblast' is in the sphere of their active influence. Summarizing, let's note that from one hand, geodynamic processes tied with tectonic regime of the North Fergana fault and flexure-rupture zone with the same name are continue to develop. On the other hand, taking into account strong earthquake reoccurrence interval, an absence of strong earthquake with magnitude of $M \geq 5.0$ in Namangan seismic zone during more than 36 years is a significant reason for declaration of alarm of expectation of the strong earthquake with $M \geq 5.0$ in Namangan Oblast', including Pap Region where Kyrkhudzhra archeological monument is located.

Индекс 70336

Земля и Вселенная, 6/2020

Заведующая редакцией А.Ю. Обод
Редакторы С.А. Герасютин, О.В. Закутняя, Д.А. Кононов
Корректоры А.Ю. Обод, С.О. Розанова
Верстка макета Н.В. Мелкова

Просим обращаться
по вопросам публикации материалов:
(495)276-77-35 (доб. 42-31), e-mail: zevs@naukaran.com

по вопросам сотрудничества:
(495)276-77-35 (доб. 43-01 или 43-02),
e-mail: journals@naukaran.com

Журнал зарегистрирован Государственным комитетом
Совета министров СССР по печати 28 июня 1991 г.
Свидетельство о регистрации № 2119

www.naukabooks.ru/zhurnali/katalog/zemlja-i-vselennaja/

Все права защищены.
Перепечатка материалов возможна только с разрешения редакции.
Мнение редакции может не совпадать с мнением автора.
Все иллюстрации в статьях предоставлены авторами.
Ответственность за точность и содержание рекламных
материалов несут рекламодатели

12+

Сдано в набор 29.10.2020 г. Подписано к печати 18.12.2020 г.
Дата выхода в свет 30.12.2020 г. Формат 70 × 100¹/₁₆
Цифровая печать Усл.печ.л. 9.75 Уч.-изд.л. 10.0 Бум.л. 3.75
Тираж 1000 экз. Зак. 39 Цена свободная

Учредители: РАН, ФГУП «Издательство «Наука»
Редакция и издатель: ФГУП «Издательство «Наука»
Адрес: 117997 Москва, ул. Профсоюзная, 90

Отпечатано в типографии ФГУП «Издательство «Наука»
Адрес: 121099 Москва, Шубинский пер., 6

АкадемКнига

Букинистический отдел осуществляет покупку и продажу научной литературы, книг по искусству, антикварных изданий, старинных открыток, гравюр и фотографий

Для оценки крупных библиотек выезжаем на дом

Принимаем заказы

Формируем библиотеки

Адрес: 101000, Москва, Б. Спасоглинишевский пер., 8, стр. 4

E-mail: bukinist@naukaran.com

Справки по телефону:

8 (495) 624-7219





НОВИНКИ И АКЦИИ В СОЦИАЛЬНЫХ СЕТЯХ



[instagram.com/naukapublishers](https://www.instagram.com/naukapublishers)



[facebook.com/naukapublishers](https://www.facebook.com/naukapublishers)



vk.com/naukapublishers



- переплетные работы
- тиснение фольгой
- цифровая печать
- офсетная печать
- ламинирование
- цветоделение
- сканирование
- брошюровка
- лакирование
- цветопроба
- нумерация
- высечка
- верстка
- СТР

Типографии ФГУП "Издательство "Наука"
www.tnauka.ru

- ▶ Разумная ценовая политика
- ▶ Высокое качество продукции
- ▶ Реальные сроки выполнения заказов
- ▶ Работа высококлассных профессионалов



- ◆ Удобное месторасположение
- ◆ Тиражи от 20 экземпляров

- афиши
- календари
- удостоверения
- адресные папки
- визитные карточки
- фирменные бланки
- брошюры, журналы
- эксклюзивные издания
- полноцветные плакаты
- художественные альбомы
- книги в твердом переплете
- листовки, рекламные буклеты
- наклейки на бумажных материалах

Москва

Санкт-Петербург

Новосибирск

КНИГИ ИЗДАТЕЛЬСТВА "НАУКА"

"Наука"
Индекс 70336

ПО 50 РУБ.

акция распространяется в сети магазинов "Академкнига"
и в интернет-магазине naukabooks.ru



ЕЩЕ БОЛЬШЕ КНИГ И БОЛЬШЕ СКИДОК

Реклама

ДО 80%

акция распространяется в сети магазинов "Академкнига"
и в интернет-магазине naukabooks.ru

условия акций на сайте naukabooks.ru