

УДК 550.834

DOI: 10.52531/1682-1696-2025-25-1-97-105

Научная статья

EDN: NNEESQ

ПРИМЕНЕНИЕ ШИРОКОАЗИМУТАЛЬНОЙ СЕЙСМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ КОНТРАСТНОСТИ СЕЙСМИЧЕСКОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ

С.А. Кириллов,
А.М. Алисолтанов,
Э.М. Халиуллин, А.В. Юрикова
АО «ЦЕНТРАЛЬНАЯ ГЕОФИЗИЧЕСКАЯ
ЭКСПЕДИЦИЯ», МОСКВА, РОССИЙСКАЯ
ФЕДЕРАЦИЯ

Original article

THE USE OF WIDE-AZIMUTH SEISMIC PROCESSING TO INCREASE THE CONTRAST OF A SEISMIC IMAGE

S.A. KIRILLOV, A.M. ALISOLTANOV,
E.M. KHALIULLIN, A.V. YURIKOVA
JSC «CENTRAL GEOPHYSICAL EXPEDITION»,
MOSCOW, RUSSIAN FEDERATION

Предлагается технология применения широкоазимутальной сейсмической обработки для повышения разрешенности сейсмического изображения геологического разреза с использованием анизотропной глубинно-скоростной модели на примере сейсмических 3D-данных, полученных после 5D-регуляризации с максимальным ослаблением регулярных и нерегулярных волн помех исходных сейсмограмм в различных сортировках.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: широкоазимутальная обработка, поперечно-изотропные свойства, горизонтально-поперечная изотропия, 5D-регуляризация, изотропная и анизотропная глубинно-скоростная модель, верхняя часть разреза, временная и глубинная миграция по сейсмограммам, азимутальные динамические атрибуты сейсмических данных, дифракционная сейсмограмма, разбиение данных на классы удалений азимутов

The technology of using wide-azimuth seismic processing is proposed to increase the resolution of the seismic image of a geological section using an anisotropic depth-velocity model using the example of 3D seismic data obtained after 5D regularization with maximum attenuation of regular and irregular interference waves of the original seismograms in various sorts.

KEYWORDS: wide-azimuth processing, transverse-isotropic properties, horizontal-transverse isotropy, 5D regularization, isotropic and anisotropic depth-velocity model, upper part of the section, temporal and deep migration by seismograms, azimuthal dynamic attributes of seismic data, diffraction seismogram, data division into azimuth removal classes, fracture zone

С усложнением геологических условий залегания и уменьшения размеров исследуемых залежей углеводородов возникает необходимость применения современных цифровых технологий, способных обеспечить высокую четкость сейсмического изображения геологического разреза для уверенного определения геометрии залежи и повышения достоверности прогнозирования коллекторских свойств, оценки зон трещиноватости по комплексу геофизических данных [3].

Трещиноватые коллекторы, обладающие анизотропными свойствами, демонстрируют изменения сейсмических характеристик волны в зависимости от

направления ее распространения, таких как амплитуда, скорость и направление поляризации сейсмических волн, и значительно влияет на результаты сейсмических исследований. Эти факторы необходимо учитывать при обработке и интерпретации сейсмических данных.

Параллельные трещины и переслаивающие тонкие слои могут создавать так называемые поперечно-изотропные свойства (ТИ). Параллельные трещины часто расположены почти вертикально, ось их симметрии горизонтальна, что объясняет название горизонтально-поперечной изотропии (НТИ).

При изучении залежей углеводородов правильное распознавание и учет анизотропных свойств коллекторов имеет решающее значение для оценки их продуктивности, для проектирования схем разработки и оптимизации методов добычи. Например, применение

© С.А. Кириллов, А.М. Алисолтанов, Э.М. Халиуллин, А.В. Юрикова
Поступила в редакцию 14.01.2025

технологии проведения полевой широкоазимутальной сейсморазведки МОГТ-3D и специализированных методов широкоазимутальной обработки сейсмических данных для анализа анизотропных свойств существенно улучшает оценку коллекторских свойств месторождений и повышает информативность сейсмогеологических моделей.

Таким образом, понимание анизотропии и ее влияния на распространение сейсмических волн является одним из основополагающих аспектов эффективной разведки и разработки углеводородных месторождений. Для получения оптимального геологического результата требуется применение комплексных аналитических и численных методов обработки, которые смогут учесть все специфические особенности влияния геологической среды на волновое сейсмическое поле.

В последние годы в мировой практике применения сейсмического метода разведки широкое распространение получили технологии обработки и интерпретации азимутально-зависимых характеристик геологических пластов, основанные на данных пространственных широкоазимутальных работ МОГТ-3D. Эти технологии направлены на повышение разрешенности сейсмической записи и выявление зон трещиноватых коллекторов, что существенно увеличивает возможности метода для успешной дальнейшей добычи углеводородов.

Характеристики сейсмического отклика от трещиноватых коллекторов могут изменяться в зависимости от полевых систем азимутального наблюдения, что свидетельствует об азимутальной анизотропии [8–10], которая, особенно в условиях горизонтально-поперечной изотропии (НТИ), проявляется в изменениях амплитуды, скорости и фазы сейсмических волн в зависимости от азимута линий полевой съемки [10].

Широкоазимутальная сейсморазведка эффективно используется для изучения изменения амплитуды сигнала в зависимости от смещения (AVO) [7], угла падения (AVA) и азимута (AVAZ), а также для анализа изменения скорости распространения волны в зависимости от азимута (VVA). Эти данные значительно улучшают качество сейсмической картины геологического разреза и позволяют идентифицировать разломы, трещины и изменения в литологии пласта.

Кроме того, анизотропные свойства влияют на характеристики AVO, которые могут увеличиваться или уменьшаться в зависимости от угла падения волны на отражающую границу. Эти характеристики AVO особенно важны для анализа мелких каналов и играют ключевую роль в разведке газоносных плотных коллекторов, особенно в русловых песчаных массивах. Широко известная методика AVO-анализа является частным случаем азимутального анализа амплитуд [4].

Широкоазимутальная сейсморазведка предлагает технологические решения различных разведочных задач, таких как выделение и визуализация мелких тек-

тонических нарушений, зон разломов, а также детальный анализ строения структур. Это особенно важно при изучении и анализе нефтегазоперспективных объектов в сложных геологических условиях, где традиционные методы могут не обеспечить полное представление о месторождении.

В ситуации, когда разведка нефтегазовых залежей смещается к изучению сложных литологических и нетрадиционных нефтегазовых коллекторов, узконаправленная азимутальная сейсморазведка все чаще заменяется широкоазимутальной, которая позволяет получать более детализированные результаты о геологических образованиях и повышает вероятность успешной разведки и разработки месторождений, что является ключевым фактором для эффективного использования ресурсов.

В современных стратегиях разведки углеводородов, которые учитывают наиболее сложные поверхностные и глубинные сейсмогеологические условия, широкоазимутальная сейсморазведка приобретает особую значимость.

Сокращение экономических затрат на проведение геологоразведочных работ для разведки нефтегазоперспективных объектов, ввода их в эксплуатацию требует значительного сокращения сроков получения конечного сейсмического результата, в том числе и сроков получения исходных полевых сейсмограмм.

Однако в условиях сложных поверхностных сейсмогеологических условий, таких как интенсивное движение транспорта на дорогах, постоянная работа промышленных предприятий, трубопроводов и линий электропередач, исходные сейсмограммы часто характеризуются небольшим соотношением сигнал/помеха, различным частотным составом с переменной амплитудой на фоне случайных и регулярных волн-помех.

В связи с этим основные проблемы, связанные с повышением соотношения сигнал/помеха с согласованием амплитудного и частотного состава для улучшения разрешенности метода, ложатся на процесс цифровой обработки сейсмических данных.

Этот процесс необходим для выделения опорных и целевых сейсмических горизонтов на волновой картине, по которым решаются основные геологические задачи по построению сейсмогеологической модели залежей углеводородов, зон трещиноватости и прогнозированию коллекторских свойств продуктивного пласта.

Предлагаемую технологию широкоазимутальной обработки продемонстрируем на исходных сейсмических данных МОГТ-3D, полученных с высокой кратностью перекрытия (более 190), которая в итоге значительно снижает влияние внешних мешающих факторов на конечный сейсмический результат.

На этапе предварительной обработки основной задачей является увеличение соотношения сигнала к

помехе, а также гармонизация частотных и фазовых характеристик сейсмического сигнала. Для достижения этой цели рекомендуется максимально ослабить исходное волновое поле от промышленных, нерегулярных и регулярных волн-помех, а затем разместить скорректированные сейсмические данные на регулярной сетке. Такой подход позволит в дальнейшем эффективно и оптимально применять пространственные процедуры обработки для согласования динамических характеристик сейсмического сигнала с целью синфазного суммирования и последующего использования в широкоазимутальной обработке.

На данном этапе осуществляется компенсация геометрического расхождения, расчет априорных статических поправок, полученных за рельеф и по первым вступлениям волн на сейсмограммах МОВ (рис. 1, 2).

Определение априорных статических поправок по первым вступлениям волн позволило учесть влияние скоростных неоднородностей верхней части разреза (ВЧР) на волновое поле отраженных волн от глубоких границ и создать глубинно-скоростную модель ВЧР, которая в дальнейшем будет дополнять ГСМ всего геологического разреза при глубинной миграции.

Далее происходит полный цикл подавления промышленных помех и случайных шумов исходных полевых сейсмограмм в сортировках ОГТ и cross-spread по технологической схеме предварительной обработки, приведенной на рис. 3. Технология SWAMI применяется для ослабления поверхностной волны, процедура «NUCNS» – для уменьшения линейных помех (рис. 4 Б).

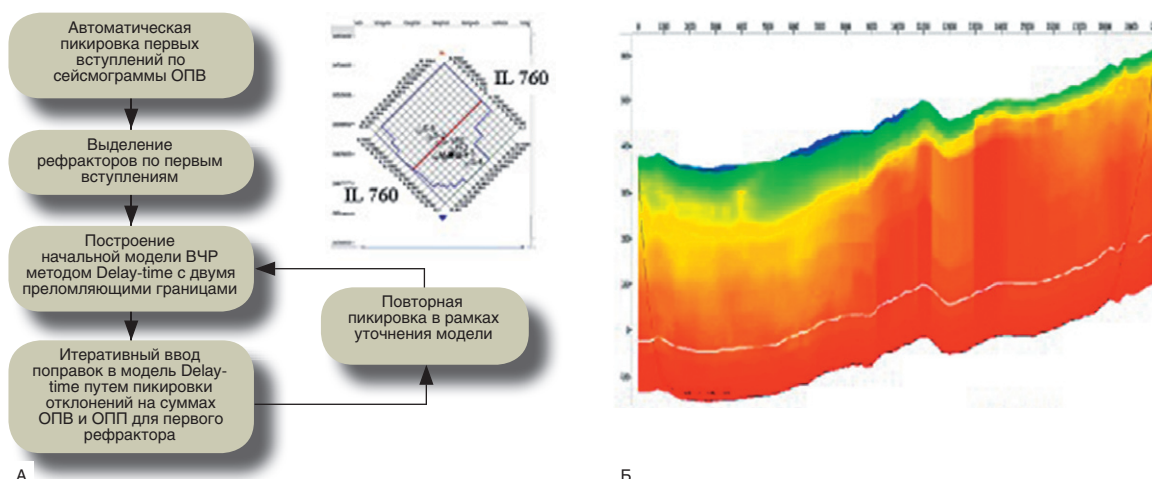


РИС. 1.

Расчет скоростной модели ВЧР по первым вступлениям. А – Блок-схема изучения модели ВЧР. Б – скоростная модель ВЧР после алгоритма томографии. InLine 160



РИС. 2.

InLine 160. Временные разрезы с априорными статическими поправками, полученными разными способами. А – предварительный временной разрез. Б – временной разрез после ввода априорной статики, полученной за рельеф. В – временной разрез после ввода априорной статики, полученной по первым вступлениям

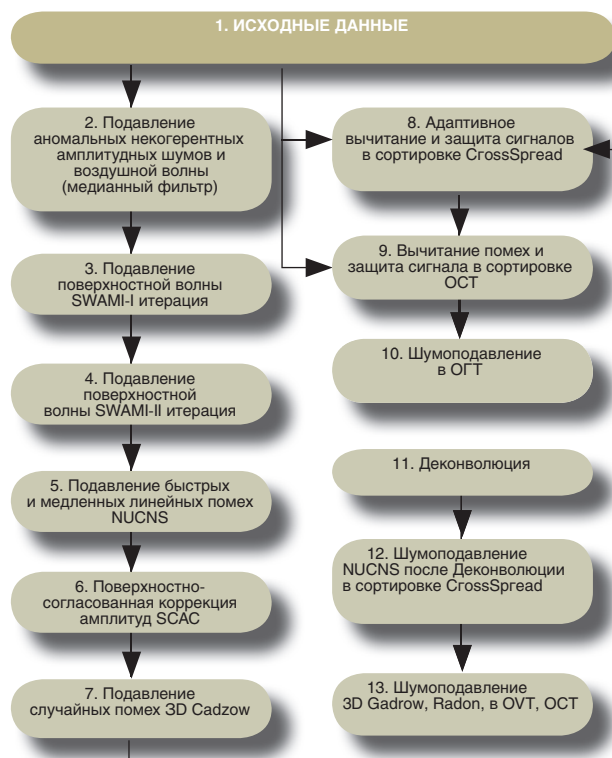


РИС. 3.
Блок-схема подавления помех

Для повышения качества исходных сейсмограмм используется линейная фильтрация Радона в различных сортировках, 3D-ФК фильтрация, Q-компенсация (рис. 4 В), поверхностно-согласованная деконволюция (рис. 4 Г) и в завершении этапа подавления волн-помех по алгоритму Radon ослабляется фон случайных и регулярных помех.

Перед 5D-регуляризацией и временной миграции по сейсмограммам проводится коррекция остаточных статических и кинематических поправок (рис. 5 А).

В результате предварительной обработки было достигнуто высокое соотношение сигнала к помехе, максимальное ослабление регулярных волн помех за счет моделирования и адаптивного вычитания этих волн из всего волнового поля, что позволило минимизировать искажения целевых волн. Адаптивное вычитание поверхностных волн значительно ослабило их фон на сейсмограммах, не исказив амплитудно-частотный состав волнового поля.

В итоге был получен высококачественный сейсмический материал в широком частотном диапазоне, готовый для анализа азимутального распределения скоростей по 3D данным, для временной и глубинной обработки.

Целью временной миграции по сейсмограммам является создание пространственного изображения геологической среды во временном масштабе [5], которое будет использоваться для визуального и инстру-

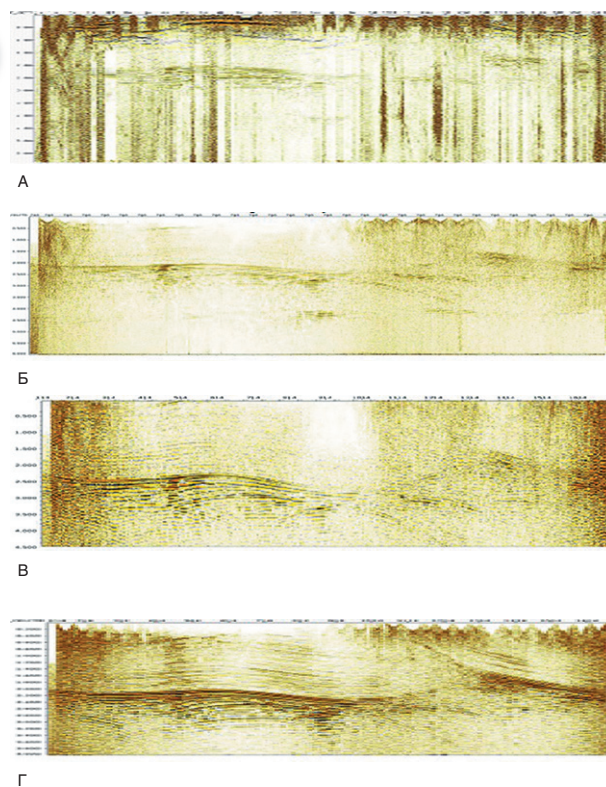


РИС. 4.
InLine 160. Подавления случайных и регулярных волн-помех в сортировках Cross-spread и ОГТ. А – временной разрез после ввода априорной статистики, определенной по первым вступлениям; Б – временной разрез после ослабления высокоамплитудных помех, поверхностной волны по алгоритму SWAMI, 3-х итераций уточнения остаточных статических поправок, с после ослабления линейных помех по алгоритму NUCNS, поверхностно-согласованной коррекции амплитуд SCAC, подавления случайных помех 3D Cadzow; В – временной разрез после применения Q-компенсации ($Q=140$); Г – временной разрез после деконволюции, шумоподавления, ослабления линейных помех

ментального анализа волновой картины для выделения и картирования опорных отражающих горизонтов и дифрагирующих объектов (рис. 5 В). Полученные горизонты используются для создания изотропной и анизотропной глубинно-скоростной модели разреза при глубинной миграции. Кроме того, сечения временного сейсмического куба будут сравниваться с аналогичными сечениями, полученными после глубинной и широкоазимутальной миграции.

На этапе глубинной обработки временные данные преобразуются в глубинные с помощью глубинной миграции до суммирования по методу Кирхгофа, который обеспечивает точное определение геометрии пластов, используя детальную изотропную или анизотропную глубинно-скоростную модель (ГСМ) среды с учетом ГСМ ВЧР и значительно повышает детализацию сейсмических исследований [7].

Последовательность построения изотропных и анизотропных глубинно-скоростных моделей показана

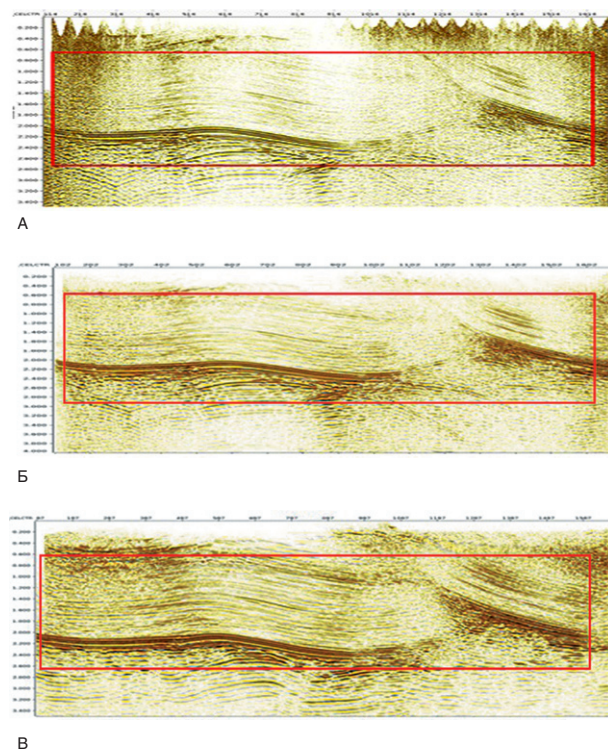


РИС. 5.

InLine 160. Временной разрез после 5D регуляризации, подавления волн-помех и изотропной временной миграции PSTM. А – временной разрез после коррекции статических и уточнения кинематических поправок; Б – временной разрез после регуляризации и подавления нерегулярных помех, SRAAC; В – временной разрез после изотропной временной миграции по сейсмограммам

на на рис. 6 с примерами сечений ГСМ (рис. 7).

Окончательная анизотропная модель (рис. 7 В, Г) обеспечивает корректное спрямление годографа как на близких, так и на дальних расстояниях.

Полное выпрямление сейсмограмм на всех этапах говорит о том, что результаты APSDM оказались наи-

лучшими (рис. 8 Б). Таким образом, окончательная глубинно-скоростная модель считается оптимальной и не требует дальнейшего улучшения.

Финальная анизотропная ГСМ используется для выполнения полноазимутальной глубинной миграции в технологии EarthStudy 360 (ES360), которая предназначена для исследования освещенности точек геологической среды 3D-сейсмической съемкой с оценкой параметров, определяющих соотношение энергий зеркально отраженной и рассеянной компонент, наличием азимутальной анизотропии скоростей и амплитуд волнового поля.

В технологию ES 360 заложены следующие три основных принципа [8]:

- трассирование лучей, начиная с точек 3D-геологической среды;
- задание каждой пары лучей «падающий – отраженный/рассеянный» четырьмя углами в Локальной Области Углов (Local Angle Domain – LAD);
- отображение и анализ освещенности точек среды по раствору данной пары лучей, уточнение скоростей и оценка их анизотропии с помощью «Рефлексионных сейсмограмм»;
- отображение освещенности точек среды по направлению данной пары лучей, локализация зон Френеля, оценка условий залегания и соотношения зеркально отраженной и рассеянной компонент волнового поля с помощью «Дирекционных сейсмограмм».

Технология ES 360 позволяет перевести все сейсмические данные в области локальных углов, описать двумя взаимодополняющими полноазимутальными наборами: дирекционными и рефлексионными [8].

Направленная угловая декомпозиция позволяет получать отраженные и дифракционные изображения трехмерных геологических моделей, на которых одновременно выделяются непрерывные структурные поверхности и разрывные объекты.

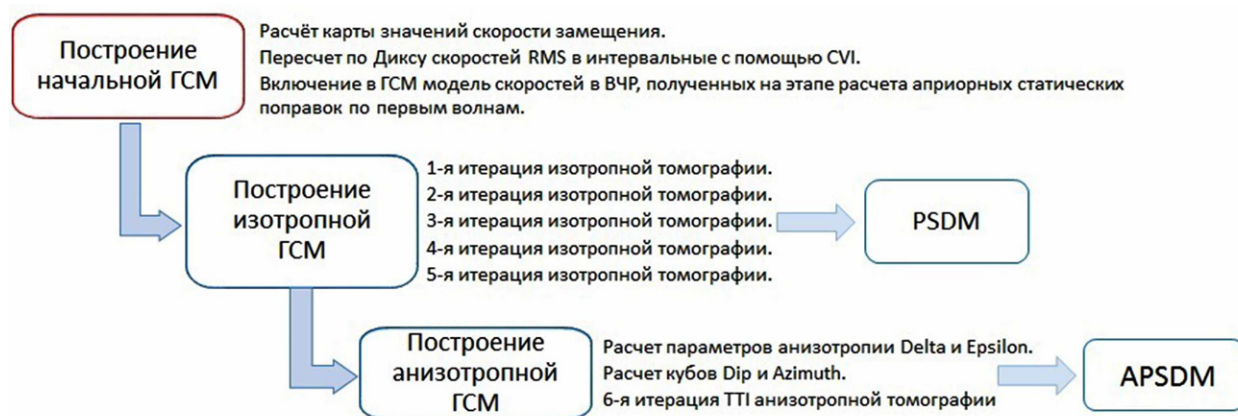


РИС. 6.

Блок-схема построения изотропной и анизотропной глубинно-скоростной модели

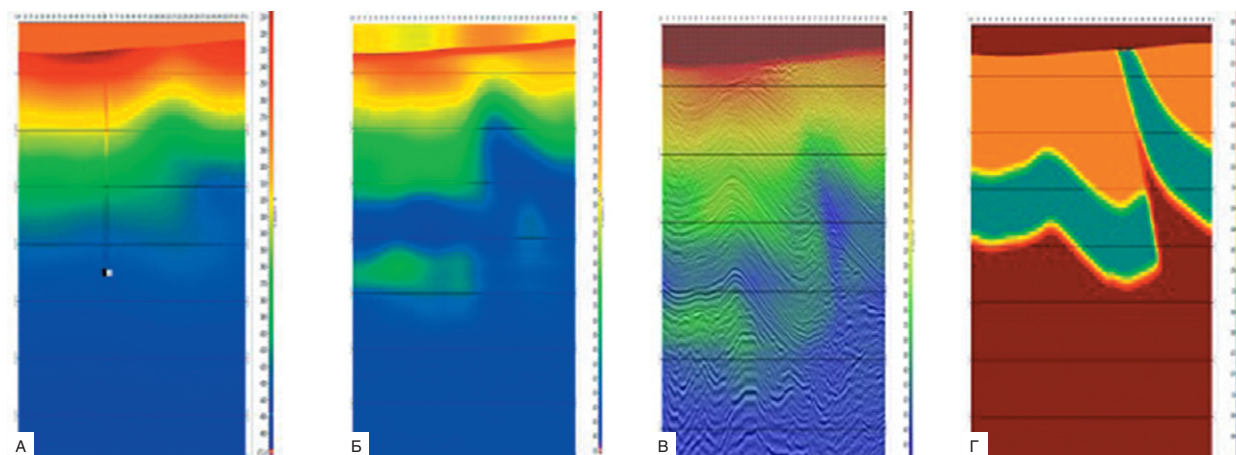


РИС. 7.

InLine 160. Глубинно-скоростные модели. А – Начальная ГСМ+ГСМ ВЧР со скоростью по данным ВСП; Б – ГСМ после 5-й итерации изотропной томографии; В – анизотропная ГСМ после 6-й итерации томографии; Г – параметр анизотропии Эпсилон

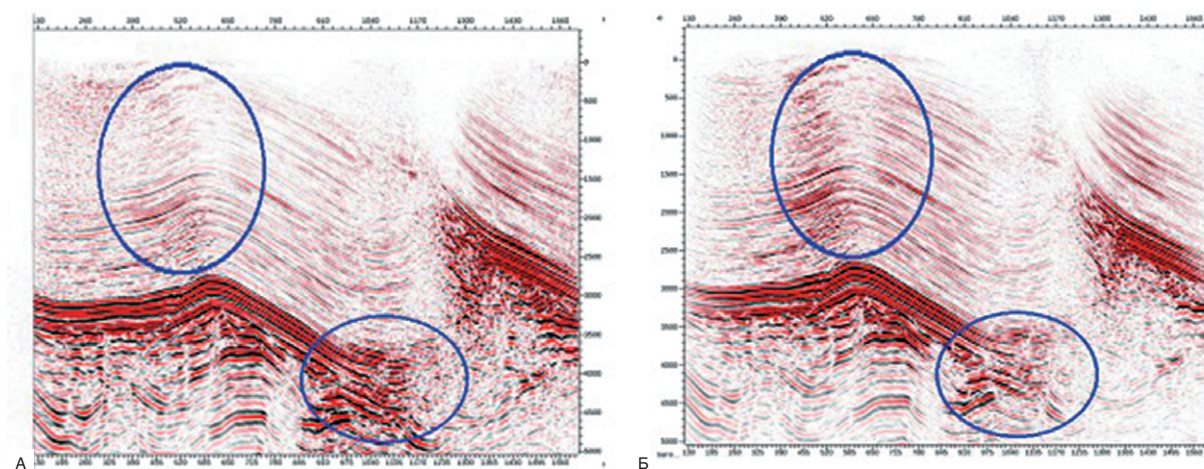


РИС. 8.

InLine 160. Временные разрезы после изотропной и анизотропной глубинной миграции Кирхгофа. А – PSDM; Б – APSDM

Рефлекционные угловые сейсмограммы показывают амплитуды отражений в зависимости от углов раскрытия и азимутов и используются для автоматического прослеживания полноазимутальной угловой остаточной кинематики. Полноазимутальные угловые изменения амплитуд используются для исследования зависимостей амплитуды отражения от угла и азимута (для AVAZ-анализа).

Т.е., основное преимущество технологии ES360 перед традиционной глубинной миграцией Кирхгофа заключается в обеспечении максимальной освещенности точек изображения со всех направлений в геологической среде и с учетом расположения источников и приемников на поверхности.

Широкоазимутальная миграция позволяет оптимизировать обработку данных и получить более вы-

соко разрешенную и детальную информацию о геологических структурах. Использование широкой базы данных в азимутальных направлениях дает возможность учитывать сложные анизотропные эффекты.

На рис. 9 представлены результаты оценки сейсмических изображений, полученных с помощью различных методов: PSTM, APSDM (Кирхгофа) и ES360 [1, 3, 5, 6].

На рис. 9 стрелой и двумя прямоугольниками (синим и зеленым) отмечены одинаковые зоны на сечении InLine 160 кубов различных миграций. Как видно, общая картина не меняется, но на сечении рис. 9 Г появляются детали и четкость изображения сейсмических горизонтов и зон нарушений.

На рис. 10 показаны амплитудно частотные спектры сейсмических кубов после разных видов

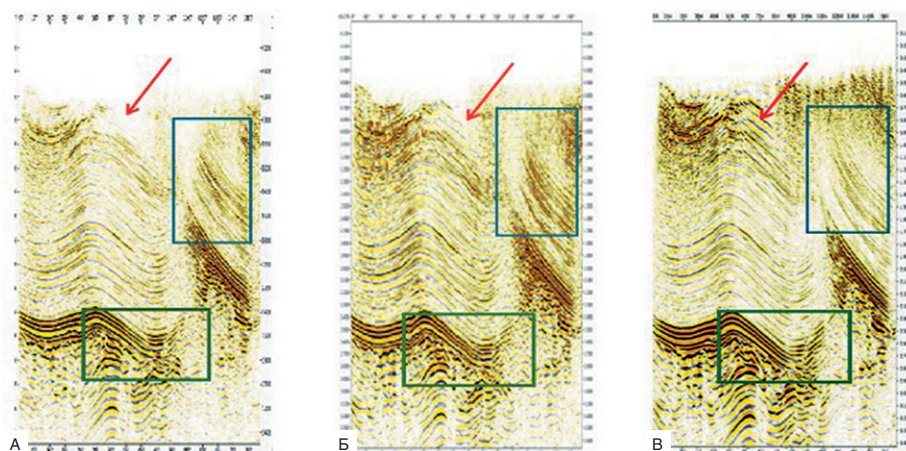


Рис. 9.

InLine 160. Сопоставление временных разрезов после применения миграций. А – PSTM; Б – APSDM; Г – PSDM ES360

миграции, на которых наблюдается расширение амплитудного спектра в области высоких частот при широкоазимутальной миграции по сравнению с глубинной миграцией с анизотропной скоростью.

На первоначальном этапе динамической и структурной интерпретации данных после глубинной миграции до суммирования (PSDM) и полноазимутальной глубинной миграции в системе ES360 была выполнена сейсмостратиграфическая увязка скважинных и сейсмических кубов после APSDM и ES360 для идентификации в волновом поле отражающих горизонтов, соответствующих основным стратиграфическим границам, контроля качества скважинных и сейсмических данных, создания основы для преобразований из временного масштаба в глубинный и обратно.

Для скважинной привязки глубинных разрезов PSDM и ES360 используются данные акустического и плотностного каротажа, годографы двойных времен ВСП и импульс, описывающий амплитудно-частотный состав сейсмических данных, а качество привязки глубинных разрезов контролируется путем оценки коэффициента взаимной корреляции между синтетической и реальной трассой во временном окне, охватывающем целевые интервалы разреза.

Анализ сопоставления результатов одномерного моделирования, рассчитанных в точках скважин, и трасс кубов ES360 и PSDM показал, что коэффициенты корреляции полноазимутальной обработки составляет $K_{кор}=0,82$, а анизотропной глубинной миграции – $K_{кор}=0,77$.

Результаты полноазимутальной глубинной миграции в сравнении с кубом PSDM иллюстрируют значительное улучшение фокусировки сигнала в целевых отложениях и прослеживаемости отражающих горизонтов. Куб ES360 характеризуется более высоким со-

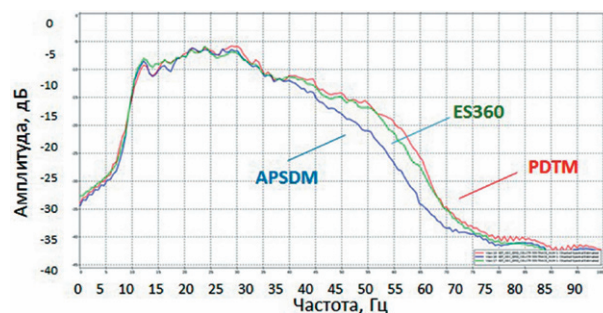


Рис. 10.

Амплитудно-частотные спектры кубов после различных миграций

отношением сигнал/шум и более высокой разрешающей способностью (рис. 9, 10). Одним из основных преимуществ обработки ES360 является более высокая степень достоверности полученного структурного плана изучаемого разреза.

Использование анизотропных моделей в сочетании с данными AVO, AVAZ (рис. 11) и другими сейсмическими атрибутами позволяет создавать комплексные и информативные модели геологической среды.

Важную информацию о положении разломов и зон трещиноватости предоставляет рассеянная или дифракционная компонента волнового поля.

Применение анизотропных моделей, сопоставление атрибутов анизотропии, энергии рассеянных волн, относительной проницаемости со скважинной информацией показывает, что привлечение дополнительной сейсмической информации может помочь в более глубоком понимании геологического строения интервала, способствует лучшему пониманию структуры и поведения коллекторов.

Представленные этапы графа широкоазимутальной обработки сейсморазведочных МОГТ-3D-дан-

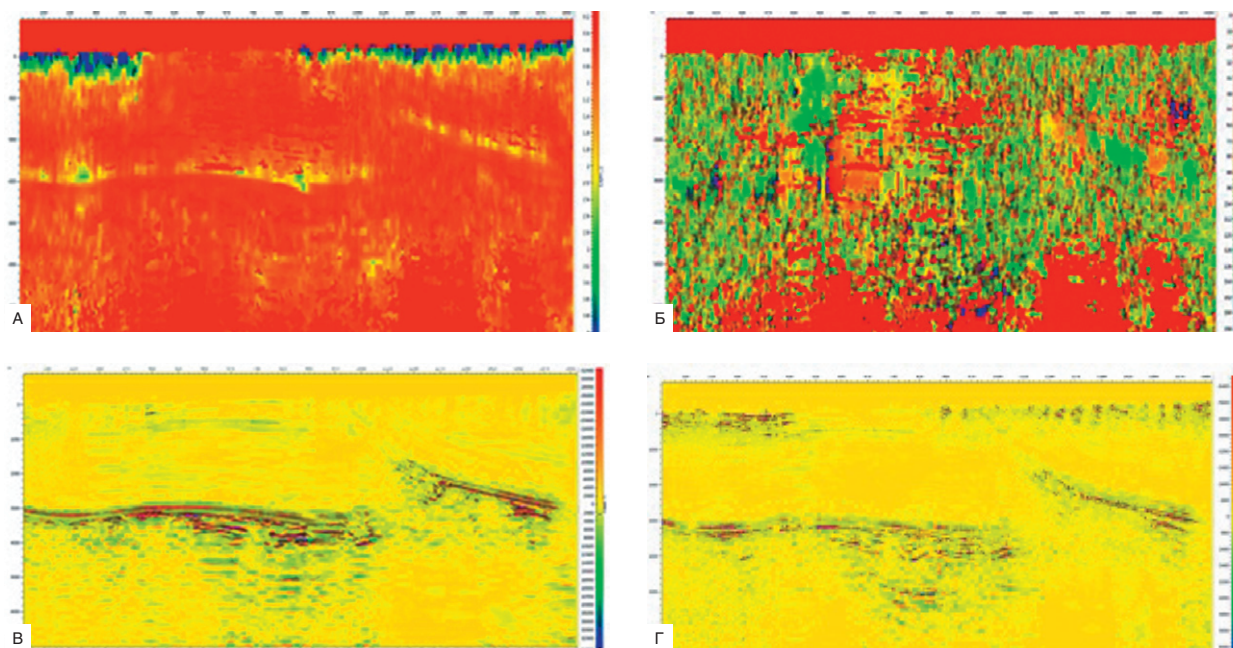


Рис. 11.

InLine 160. Сечения кубов атрибутов AVAZ. А – атрибут интенсивности; Б – атрибут ориентации анизотропии; В – атрибут изотропного градиента; Г – атрибут анизотропного градиента

ных полевых систем азимутального наблюдения позволяют дополнительно повысить разрешенность волновой картины и информативность сейсмической разведки нефтегазоперспективных объектов в сложных поверхностных и глубинных геологических условиях и позволяют при комплексной геологической интерпретации сейсмических атрибутов и скважинной параметров свойств горных пород создавать более детальные и информативные пространственные модели залежей углеводородов.

ЛИТЕРАТУРА

1. ВОСКРЕСЕНСКИЙ Ю.Н. Построение сейсмических изображений. Учебное пособие для вузов. М.: РГУ нефти и газа, 2006. 116 с.
2. ИНОЗЕМЦЕВ А.Н., ГАЛКИН А.В., СТЕПАНОВ И.В., ЕРЧЕНКОВ М.В. Применение системы получения и интерпретации полно-азимутальных сейсмических изображений EarthStudy 360 и AVAZ инверсии для изучения трещин и разломов карбонатных коллекторов Средневолжского региона России // Oil&Gas, EURASIA-2012. 2013. №12, декабрь–январь.
3. КОБРУНОВ А.И., КИРИЛЛОВ С.А. К задаче повышения контрастности сейсмических изображений. Научная мысль, Доклады АН УССР. Киев. 1979. Серия Б. №4. С. 256–259.
4. КИРИЛЛОВ С.А., ЛАВРИК А.С., САМОЙЛОВ А.В. Обнаружение зон трещиноватости пород в отложениях баженовской свиты по данным сейсморазведки 3D // ОЕНТЖ «Приборы и системы разведочной геофизики». Саратов, 2015. №3(53). С. 40–44.
5. КОЗЛОВ Е.А. Недр, миграционные преобразования в сейсморазведке. М., 1986. 247 с.
6. СОРОКИН А.С., ЛЮБИМОВ Е.В., ДИДЕНКО П.В., ИНОЗЕМЦЕВ А.Н. Построение анизотропной глубинно-скоростной модели для проведения миграционных преобразований по данным одного из месторождений Восточной Сибири // Нефтяное хозяйство. М., 2016. Апрель. С. 44–47.
7. CANNING A., MALKIN A. Paradigm-Emerson, Azimuthal AVA Analysis Using Full-Azimuth 3D Angle Gathers: SEG, Houston, International Exposition and Annual Meeting, 2009.
8. INOZEMTSEV A., STEPANOV I., GALKIN A., KOREN Z. Applying full-azimuth angle domain prestack migration and AVAZ inversion to study fractures in carbonate reservoirs in the Russian Middle Volga region, First Break, volume 31, February 2013.
9. JONES I.F., BRIDSON M.L., BERNITSAS N. Anisotropy ambiguities in a transversely isotropic medium.
10. KOREN Z., RAVVE I. Full-azimuth subsurface angle domain wavefield decomposition and imaging, Geophysics, 2011, Vol. 76. N1, January-February. P. S1-S13.

REFERENCES

1. VOSKRESENSKY Y.N. Construction of seismic images. Textbook for universities. Moscow: RGU nefti i gaza. 2006:116. (In Russian).
2. INOZEMTSEV A.N., GALKIN A.V., STEPANOV I.V., YERCHENKOV M.V., Application of the system for obtaining and interpreting full-azimuthal seismic images of EarthStudy 360 and AVAZ inversion for studying cracks and faults of carbonate reservoirs of the Middle Volga region of Russia, *Oil&Gas, EURASIA*-2012. 2013;(12). December–January. (In Russian).
3. KOBRUNOV A.I., KIRILLOV S.A. On the problem of increasing the contrast of seismic images. Scientific Thought, Reports of the Academy of Sciences of the Ukrainian SSR. Kiev, 1979; series B;(4):256–259. (In Russian).
4. KIRILLOV S.A., LAVRIK A.S., SAMOILOV A.V. Detection of rock fracture zones in sediments of the Bazhenov formation according to 3D seismic data. *OENTZH "Pribory i sistemy razvedochnoy geofiziki"* Saratov, 2015;3;(53):40–44. (In Russian).
5. KOZLOV E.A., Subsoil, Migration transformations in seismic exploration. Moscow, 1986:247. (In Russian).
6. SOROKIN A.S., LYUBIMOV E.V., DIDENKO P.V., INOZEMTSEV A.N. Construction of an anisotropic depth-velocity model for migration transformations based on data from one of the deposits in Eastern Siberia. *Neftyanoye khozyaystvo*, Moscow, April, 2016:44–47. (In Russian).
7. CANNING A., MALKIN A. Paradigm-Emerson, Azimuthal AVA Analysis Using Full-Azimuth 3D Angle Gathers: SEG, Houston, International Exposition and Annual Meeting, 2009.
8. INOZEMTSEV A., STEPANOV I., GALKIN A., KOREN Z. Applying full-azimuth angle domain pre-stack migration and AVAZ inversion to study fractures in carbonate reservoirs in the Russian Middle Volga region, First Break, February 2013;(31).
9. JONES I.F., BRIDSON M.L., BERNITSAS N. Anisotropy ambiguities in a transversely isotropic medium.
10. KOREN Z., RAVVE I. Full-azimuth subsurface angle domain wavefield decomposition and imaging, Geophysics, January-February. 2011;76(1):S1–S13.

Кириллов Сергей Александрович,
д.т.н., к.ф.-м.н., доцент, советник АО «Центральная геофизическая экспедиция»

✉ e-mail: sakirillov@cge.ru

Алисолтанов Алибек Магомедмуратович,
управляющий директор АО «Центральная геофизическая экспедиция»

✉ e-mail: AlisoltanovAM@rusgeology.ru

Халиуллин Эдуард Марсович,
главный специалист АО «Центральная геофизическая экспедиция»

✉ e-mail: KhaliullinEM@rusgeology.ru

Юрикова Анна Владимировна,
главный специалист АО «Центральная геофизическая экспедиция»

✉ 123298, г. Москва, ул. Народного Ополчения, 38/3
123298, Moscow, 38/3 Narodnaya Opolcheniya str.,
e-mail: geomsu@mail.ru

УДК 622.245(98)

DOI: 10.52531/1682-1696-2025-25-1-106-117

Обзорная статья

EDN: NVLEBA

РЕЗУЛЬТАТЫ ВНЕДРЕНИЯ КОМПЛЕКСНЫХ МЕТОДОВ И ТЕХНОЛОГИЙ ВТОРИЧНОГО ВСКРЫТИЯ ПРОДУКТИВНЫХ ПЛАСТОВ И ЗАКАНЧИВАНИЯ СКВАЖИН НА ИСТОЩЕННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ УГЛЕВОДОРОДОВ

А.А. Сингуров¹,
В.И. Нифантов²,
В.М. Пищухин²

¹ ООО «РусхимАльянс», Москва,
Российская Федерация

² ООО «Газпром ВНИИГАЗ», Москва,
Российская Федерация

Статья посвящена актуальным научно-практическим проблемам: разработке и внедрению эффективных технологий капитального ремонта газовых скважин в суровых условиях Крайнего Севера. Изложены результаты применения в промышленной практике современных технологий и технических средств, приборов и оборудования с акцентом на эффективность их использования. Раскрыты особенности сложных видов капитального ремонта скважин, в том числе на завершающей стадии разработки месторождений. Рассмотрены вопросы экономики и управления капитальным ремонтом скважин на предприятиях.

Ключевые слова: технологические жидкости, газожидкостные системы, газовые скважины, аномально низкие пластовые давления, вскрытие продуктивного пласта, ремонт скважины, вторичное вскрытие продуктивного пласта

Original article

RESULTS OF IMPLEMENTATION OF INTEGRATED METHODS AND TECHNOLOGIES SECONDARY PENETRATION OF PRODUCTIVE FORMATIONS AND WELL COMPLETIONS AT DEPLETED HYDROCARBON FIELDS

A.A. SINGUROV¹, V.I. NIFANTOV²,
V.M. PISCHUKHIN²

¹ LLC RUSKHIALLIANCE
MOSCOW, RUSSIAN FEDERATION

² GAZPROM VNIIGAZ LLC, Moscow,
RUSSIAN FEDERATION

The article is devoted to actual scientific and practical problems – development and implementation of effective technologies for workover of gas wells in the harsh conditions of the Far North. The results of application in field practice of modern technologies and technical means, devices and equipment with emphasis on the efficiency of their use are presented. The peculiarities of complex types of well workover, including at the final stage of field development are disclosed. The issues of economics and management of well workover at enterprises are considered. The peculiarities of complex types of well workovers, including those at the final stage of field development are described.

KEY WORDS: process fluids, gas-liquid systems, gas wells, abnormally low formation pressures, reservoir penetration, well workover, secondary reservoir penetration

ВВЕДЕНИЕ

Одним из приоритетных направлений развития газовой промышленности России, в частности в западносибирском и восточносибирском регионах, а также в акваториях морских месторождений является повышение степени извлечения нефти, газа и газового конденсата из недр, что предъявляет высокие требования к разработке новых технико-технологических ре-

шений по первичному и вторичному вскрытию продуктивных пластов в условиях пониженных давлений. Особенно остро эта проблема стоит при бурении и эксплуатации скважин на завершающей стадии разработки месторождений.

Постоянное совершенствование и внедрение передовых технологий при строительстве, эксплуатации и ремонте нефтяных и газовых скважин требует разработки, обоснования и выбора эффективных методов и технических средств с учетом горно-геологических условий и их технического состояния. Были раз-

работаны и внедрены новые способы, технологии и технические средства для бурения, заканчивания и ремонта скважин на месторождениях Крайнего Севера (МКС). В связи с падением пластового давления на многих крупнейших месторождениях МКС продолжает оставаться актуальным поиск новых комплексных (технологических, технических, экономических) решений, повышающих эффективность технологических процессов при бурении и ремонте скважин и обеспечивающих повышение извлечения углеводородов из пласта.

Разработка большинства крупнейших МКС ведется на завершающей стадии (Медвежье, Уренгойское, Ямбургское, Вынгапуровское, Комсомольское, Ямсовейское, Юбилейное и др.) в условиях проявления упруговодонапорного режима, который сопровождается избирательным продвижением воды по площади и мощности продуктивного пласта. Кроме этого, завершающая стадия разработки месторождений характеризуется высокими темпами падения пластового давления, снижением дебита, продвижением подошвенных и законтурных вод, нарастающим обводнением добывающих скважин, интенсивным выносом механических примесей в ствол скважины и разрушением призабойных зон, что ведет к сокращению сроков эксплуатации скважин.

Ухудшающиеся геологические и газогидродинамические условия бурения и разработки нефтяных и газовых залежей, износ скважинного оборудования, а также несовершенство нефтегазосборных систем приводит к тому, что в силу пониженных эксплуатационных характеристик некоторые скважины не способны работать в проектом режиме. Работа скважин при критических режимах приводит к образованию гидратных пробок или их самоглушению поступающей пластовой водой, которая не может быть поднята на дневную поверхность вследствие недостаточной скорости восходящего потока газожидкостной смеси (ГЖС). Кроме этого, идет естественный подъем нефтеводяного (НВК) и газоводяного (ГВК) контактов, которые приводят к преждевременному обводнению нижней части продуктивного пласта за счет локального подъема подошвенных вод вследствие нарушения режимов отбора продукции скважин. В результате резко снижается продуктивность скважин, которые частично переводятся в бездействующий фонд, либо подлежат ликвидации, либо передаются в капитальный ремонт (КРС). При подготовке скважин к ремонту особенно важно определить наиболее эффективный в сложившихся условиях комплекс работ и обосновать оптимальные технологии их выполнения. Именно от подготовительного этапа зависит успешность проведения геолого-технических операций, их продолжительность и финансовые затраты на ремонт скважины.

Исследованиями ООО «Газпром ВНИИГАЗ» установлено, что невыполнение объемов КРС может

приводить к снижению добычи газа в сеноманских залежах МКС на 5–10 % от проектного уровня при газоотдаче пласта 70–90%. Освоение же новых месторождений, таких как Бованенковское и Харасавэйское, является длительным по времени процессом и потребует больших инвестиций [1, 2].

Действующий фонд газовых скважин на месторождениях Западной Сибири составляет около 4,5 тыс. единиц, из которых более трети требуют текущего или капитального ремонта. Для поддержания добычи газа на проектных уровнях и сокращения осложненного фонда скважин необходимо наращивать объемы бурения новых скважин и капитального ремонта простаивающих.

Опыт бурения и КРС на МКС на завершающей стадии эксплуатации выявил необходимость комплексного подхода к технологиям вторичного вскрытия и заканчивания скважин, который должен включать в обязательном порядке в процессе их ремонта следующие этапы: глушение скважины, промывку песчаной пробки, изоляцию притока пластовых вод, закрепление пород ПЗП, устранение негерметичности эксплуатационной колонны и цементного камня за колонной, интенсификацию и вызов притока углеводородов из пласта [2, 3].

Необходимо учитывать, что с каждым годом происходит снижение пластового давления и блокирующие композиции должны временно, на период ремонта скважины, изолировать пласт, а потом быстро его разблокировать, не ухудшив ФЕС ПЗП, без применения дополнительных и порою дорогостоящих способов интенсификации. В то же время сами жидкости глушения (ЖГ) должны иметь плотность, достаточную для создания ее столбом необходимого противодавления на пласт (с одной стороны), но не должны интенсивно им поглощаться.

Установлено, что в условиях АНПД, когда забойное давление закачиваемых в скважину жидкостей значительно превышает пластовое в интервалах высокопроницаемых горных пород, возникают различные осложнения технологических процессов бурения и ремонта скважин. Из-за поглощений промывочных жидкостей, нарушений устойчивости ствола скважины и других осложнений снижается качество и повышается стоимость выполняемых работ.

СОСТАВЫ ДЛЯ ВТОРИЧНОГО ВСКРЫТИЯ ПРОДУКТИВНЫХ ПЛАСТОВ ПЕРФОРАЦИЕЙ

Анализ патентной и научно-технической литературы, а также промысловая практика показывают, что свойства пен недостаточно изучены. В связи с этим была разработана методика измерения реологических параметров двух- и трехфазных пенных систем, учитывающая изменение их свойств во времени.

На основе исследований изменения реологических параметров пен установлено: наибольшее изменение

реологических свойств с течением времени наблюдается у двухфазных пен за счет быстрого изменения газосодержания при коалесценции и перераспределении фаз из пленочного каркаса; для трехфазных – происходит стабилизация реологических свойств со временем (в течение 30 мин), и они характеризуются большей устойчивостью своих параметров во времени по сравнению с двухфазными; трехфазные пены обладают большей степенью консистенции (K) с увеличением ее во времени, которая изменяется в меньшей степени, чем у двухфазных пен.

Для оценочных расчетов на основе модели Бингама, предложены уравнения для определения реологических характеристик двухфазных пен с учетом изменения газосодержания в пределах $0,75 \leq \beta \leq 0,96$ (75–96%):

$$\tau_{0n} = \frac{\tau_{0\text{пож}}}{1 - \beta^a}, \eta_n = \frac{\eta_{\text{пож}}}{1 - \beta^b}, \mu_n = \frac{\mu_{\text{пож}}}{1 - \beta^c},$$

где, τ_{0n} , $\tau_{0\text{пож}}$ – динамическое напряжение сдвига пены и ПОЖ, Па; η_n , $\eta_{\text{пож}}$ – пластическая вязкость пены и ПОЖ, Па·с; μ_n , $\mu_{\text{пож}}$ – эффективная вязкость пены и ПОЖ, Па·с; β – газосодержание пены.

Следует отметить, что при промывке скважины с использованием пенных систем возникает ряд трудностей в прогнозировании поведения системы, связанные с определением выносной и удерживающей способности из-за совместного влияния многочисленных факторов.

Анализ лабораторных исследований и теоретических расчетов показал, что пенные системы обладают высокими выносной и удерживающей способностями, особенно это характерно для устойчивых трехфазных пен.

С учетом геолого-технических условий бурения и КРС на МКС и основных требований, предъявляемых к жидкостям для удаления ПГП, исследованы различные составы ПОЖ и предложены следующие рецептуры для получения двухфазных пен (табл. 1).

Разработанные составы и рецептуры достаточно легки в приготовлении и обладают высокой удерживающей и выносной способностью. Применение в составе триэтиленгликоля в водном растворе CaCl_2 и $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ позволяет использовать их при пониженных температурах.

Приведены результаты исследований по разработке и применению наполнителя к жидкостям, используемым для блокирования продуктивного пласта. Из многочисленных наполнителей, проверенных в ходе поисковых исследований, только наполнители растительного происхождения позволяют получить пенную систему, выдерживающую значительные перепады давления на пласт и способную при низких депрессиях (0,1–0,5 МПа) легко

удаляться из пласта и сохранять его первоначальную проницаемость [4].

Эффективность вторичного вскрытия продуктивных пластов перфорацией с применением предложенных составов повышается за счет использования образующейся пены с повышенной стабильностью и ингибирующей способностью по отношению к набухающим глинистым материалам. Это приводит к снижению кольтирующего действия на пласт и способствует сохранению целостности обсадной колонны и цементного камня.

Основными критериями, влияющими на выбор материала наполнителя, были его массовость, доступность, инертность по отношению к основным технологическим свойствам блокирующей жидкости, наличие волокнистой структуры – с целью создания более прочного экрана. В качестве блокирующей добавки было предложено использовать измельченную древесную кору.

Исследования закупоривающей способности проводились на модели горной породы пористостью 30–37% и проницаемостью по воздуху не более 10,0 мкм². Разработанный наполнитель «НДК–ЛХ–3» не уступает по своим свойствам реагенту «Полицелл–ЦФ».

Промысловые испытания на скважинах Комсомольского газового месторождения (КГМ) и Вынгапуровского газового месторождения (ВГМ) показали, что применение наполнителя «НДК–ЛХ» в пенной системе для блокирования продуктивного пласта в ходе КРС позволяет: надежно изолировать ПЗП от скважины на время проведения КРС; предотвратить глубокое проникновение технологических жидкостей в ПЗП и сохранить ФЕС горных пород; сократить сроки освоения скважин и затраты на проведение ремонтных работ.

Для глушения скважин автором разработан гелеобразный блокирующий состав, состоящий из лигносульфонатного реагента (ЛР), гелеобразователя, воды и наполнителя «НДК–ЛХ». В качестве гелеобразователя выступает материал полимерный «Конкрепол».

Установлено, что применение гелеобразующего состава в качестве блокирующей жидкости позволяет: повысить эффективность глушения скважины образованием более прочной структуры геля при сохранении низких значений фильтратоотдачи; сохранить естественную проницаемость ПЗП после деблокирования; расширить ассортимент гелеобразующих веществ; снизить затраты времени на приготовление состава.

ТЕХНОЛОГИИ УДАЛЕНИЯ ПЕСЧАНО-ГЛИНИСТЫХ ПРОБОК С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОЛТЮБИНГОВЫХ УСТАНОВОК

Разбуривание и промывка ПГП является наиболее распространенным видом работ, который проводит-

ТАБЛИЦА 1.

Составы двухфазных пен и их основные показатели

Рецептура состава ПОЖ						Основные показатели пены		
Триэтилен-гликоль	Поливиниловый спирт (ПВС)	Сульфат (порошок)	Лигно-сульфонат технический порошкообразный (ЛСТП)	Карбоксиметилцеллюлоза (КМЦ-500)	Костный клей	Плотность пены, кг/м ³	Кратность	Устойчивость, мин
25–30	2,0–2,5	1,0–1,5	–	–	–	240–290	3,4	30
–	2,0	–	–	–	–	200–273	5,0–5,5	10–17
–	–	0,2–0,4	–	0,5	–	168–180	5,5–6,2	15–19
–	1,0	–	1,0	–	–	180–200	5,0–5,5	11–14
–	1,0	–	–	1,0	–	300–315	3,0–3,2	24–24
–	1,0	–	–	–	–	160–170	6,0–6,2	12–13
–	–	–	–	–	2,0	200–350	3,6 – 4	>30
–	–	–	1,5–2,0	–	–	300–350	3,5– 4	32–35

ся на ряде месторождений, находящихся на поздней стадии эксплуатации. Для удаления песчаных пробок на скважинах МКС применяются разработанные автором эффективные технологии, связанные с использованием колтюбинговых установок с безмуфтовой длинномерной трубой (БДТ) [5, 6].

Для успешного разбуривания ПГП рекомендуется использовать комбинацию ударного воздействия и гидромониторного эффекта. Для этих целей разработаны гидроударные устройства УГ-С-56 и УГ-50. На гидроударные устройства типа УГ (ТУ 3666-005-73197192-04) получен сертификат соответствия Госстандарта России, а также получено разрешение Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору на применение устройств гидроударных типа УГ-46, УГ-50, УГ-100.

Для разбуривания ПГП с применением гидроударных устройств разработана технология промывки в импульсном режиме, которая предусматривает попеременную подачу порций ПОЖ и инертного газа в осевой канал БДТ. В результате в межтрубном пространстве скважины образуется пена с давлением ниже или равным пластовому, что позволяет осуществить освоение скважины сразу после проведения КРС (рис. 1).

По разработанной технологии удаления ПГП в импульсном режиме работы проводились на скважине № 195 ВГМ. Продолжительность ремонта снизилась в 2,4 раза. В последнее время на ВГМ разбуривание ПГП с использованием колтюбинговой установки осуществляется по разработанной автором технологии.

Сущность технологии разбуривания ПГП в импульсном режиме заключается в следующем:

- производится расчет необходимых технологических параметров процесса промывки;

- производится корректировка расстановки специальной техники и обвязки устья скважины в соответствии с утвержденной схемой;

- в скважину до поверхности песчаной пробки спускают БДТ и фиксируют счетчиком глубину спуска;

- включают бустерную установку для закачки газа при открытом затрубном пространстве на факельную линию, на которой установлен регулятор давления (клапан);

- через БДТ закачивают расчетную порцию ПОЖ с помощью насосного агрегата, а затем пачку продавливают газом бустерной насосно-компрессорной установки;

- через расчетный промежуток времени операция повторяется;

- после выхода на режим начинают спуск БДТ;

- технологическая информация фиксируется на мониторе ЭВМ в режиме реального времени и сравнивается с расчетными величинами;

- после достижения искусственного забоя осуществляют проработку интервала до полного удаления частиц ПГП;

- производят продувку забоя скважины инертным газом.

На основе математического моделирования и опытно-промышленных испытаний установлено, что применение импульсной промывки позволяет снизить гидростатическое давление на пласт и уменьшить количество промывочной жидкости на разбуривание ПГП. Как показали опытно-промышленные испытания на скважинах ООО «Газпром добыча Ноябрьск», применение гидроударного устройства позволило повысить механическую скорость разбуривания пробки вдвое.

Результаты экономического расчета от применения УГ-С-56 с использованием кольтюбинговой установки свидетельствуют об эффективности КРС, так как величина чистого дохода по четырем скважинам составила 324,7 тыс. руб. Экономический эффект при разбуривании ППП достигнут за счет сокращения времени на проведение операции и уменьшения расхода ПОЖ.

Интенсивная добыча газа на многих МКС в значительной степени осложнила горно-геологические и гидродинамические условия в скважинах и повысила перепады давления между водоносными и продуктивными пластами. Прорыв воды в скважины и полное их обводнение в подавляющем большинстве случаев происходит задолго до достижения потенциально возможного отбора пластового флюида.

Состояние ПЗП можно условно охарактеризовать тремя зонами: повышенной проницаемости (кавернообразования); переходной с частично измененными ФЕС; с естественной продуктивностью пластов-коллекторов.

В зонах кавернообразования и переходной скорость движения газа увеличивается, что приводит к росту депрессионной воронки и преждевременному обводнению скважины по нарушенной крепи эксплуатационной колонны. Поэтому основной причиной преждевременного и непрогнозируемого обводнения скважин является нарушение герметичности эксплуатационных колонн. Восстановление герметичности и устранение заколонных перетоков достигается в основном: а) исправлением негерметичности цементного кольца способом его наращивания; б) устранением негерметичности колонны; в) изоляцией подошвенных контурных вод.

Наиболее распространенный вид ремонтно-изоляционных работ (РИР) на «сеноманских» газовых скважинах МКС является изоляция подошвенных вод при вторичном вскрытии ПЗП и заканчивании скважин. Данный вид изоляции негерметичности рекомендуется применять в зависимости от геологических характеристик ПЗП месторождения и истории бурения и ремонтов скважин. Одним из основных факторов для выбора технологии РИР автором предлагается использовать величину K_a .

Так, например, при коэффициенте $K_a > 0,3$ и, если на данной скважине не проводились РИР, то нижний интервал отсыпается песком, а верхний интервал крепится дисперсноармированным цементом. Далее цементный стакан разбуривается долотом меньшего диаметра с сохранением корки на эксплуатационной колонне не менее 10 мм, а песчаная пробка вымывается. Затем проводятся РИР по нижнему интервалу на двухрастворной системе (водоизоляционный состав и докрепление цементным раствором с комплексными добавками). После ожидания затвердевания цемента (ОЗЦ) цементный стакан разбуривается на 2 м ниже

верхнего эксплуатационного интервала и проводится реперфорация (рис. 2). Также по указанной технологии возможны разные вариации, например, разбуривание цементного стакана проводится долотом большего диаметра без оставления цементного кольца с опрессовкой верхнего интервала. Работы по закачке цемента проводятся до получения герметичности верхнего интервала перфорации. Однако это может привести к снижению продуктивных характеристик верхнего интервала пласта.

При $K_a < 0,3$ и, если на данной скважине проводились неоднократные РИР с отрицательным результатом, то ликвидация негерметичности эксплуатационной колонны проводится путем установки хвостовика (потайной колонны). Дополнительными причинами для установки потайной колонны могут быть: а) отсечение продуктивного пласта (необходимую его часть) от воздействия технологической жидкости на время проведения работ; б) обеспечение селективности процесса изоляции; в) устранение дефектов в эксплуатационной колонне.

Сравнительно низкая себестоимость приготовления и простота в применении обеспечила широкое распространение такой технологии при ремонте скважин на МКС. Укрепленный цементным раствором хвостовик исключает сообщение продуктивного пласта со скважиной (рис. 3). Это, в свою очередь, предотвращает контакт ПЗП с раствором глушения, минимизирует насыщение пласта жидкостью и, как следствие, повышает эффективность ремонта в целом.

Принципиальное значение в конструкции хвостовика имеет разъединительная часть (ниппель и муфта, закрепленная на хвостовике).

Изначально применялись резьбовые разъединители с левым переводником (рис. 3А). Данная конструкция применялась на ВГМ, где практически на каждой скважине фиксировалось нарушение (смятие) эксплуатационной колонны. Однако эффективность такого вида разъединителя определяется динамическим сопротивлением вращения хвостовика к ниппельной части. Отворот ниппеля гарантируется при массе хвостовика не менее 3 т в случае дефектов в интервале перфорации, способствующих заклиниванию колонны. Длина хвостовика редко превышала 60 м и соответственно максимальная масса была 1 т. Этот фактор значительно усложнял возможность отследить момент отворота ниппеля после продавки цемента. Нередки были случаи подъема левого переводника с хвостовиком после отворота и повторение операции, а это приводило к дополнительным затратам и увеличению продолжительности ремонта скважины.

Разработана и внедрена новая конструкция разъединителя с креплением ниппель-муфты на срезных штифтах, изготовленных из латуни (рис. 3 Б). Хвостовик крепится цементным раствором, после чего ниппель беспрепятственно извлекается из скважины.

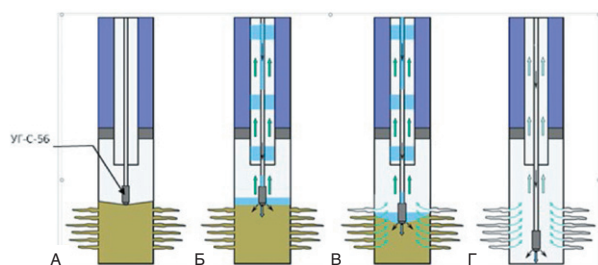


РИС. 1.

Технология разбуривания ПГП в импульсном режиме.

А – спуск БДТ с УГ–С-56 до контакта с ПГП; Б – выход на заданный режим промывки; В – промывка ПГП с подключением пластовой энергии; Г – проработка интервала и освоение скважины

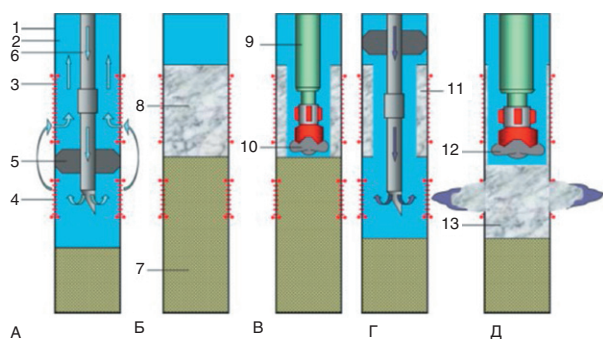


РИС. 2.

Технология закачивания скважин при восстановлении герметичности эксплуатационной колонны путем установки отсекающего моста. А – Определение негерметичности эксплуатационной колонны; Б – Отсыпка нижнего интервала песком и установка отсекающего моста; В – Разбуривание цементного стакана долотом меньшего диаметра; Г – РИР на двухрастворной системе; Д – Разбуривание долотом большего диаметра с последующей перфорацией. Условные обозначения: 1 – эксплуатационная колонна; 2 – межколонное пространство; 3 и 4 – интервалы перфорации; 5 – пакер; 6 – колонна насосно-компрессорных труб (НКТ); 7 – песчаная пробка; 8 – цементный стакан; 9 – буровая колонна; 10 – долото; 11 – цементная корка; 12 – долото большого диаметра; 13 – водоизоляционный экран

Также при необходимости есть возможность сделать срезку цементного раствора, оборудовав низ ниппеля промывочным пером. Разработаны различные конструкции хвостовиков, в том числе с использованием циркуляционных клапанов.

С целью повышения эффективности РИР разработаны следующие технологические рекомендации:

1. Для заполнения каверны в стволе скважины водоизоляционные работы необходимо проводить до получения противодействия на пласт. Минимальное устьевое давление P_u при закачке должно быть не менее $2,0 \div 2,5$ МПа. При отсутствии требуемого противодействия необходимо произвести перепродавку водоизоляционного состава в пласт жидкостью в объеме не менее 5 м^3 .

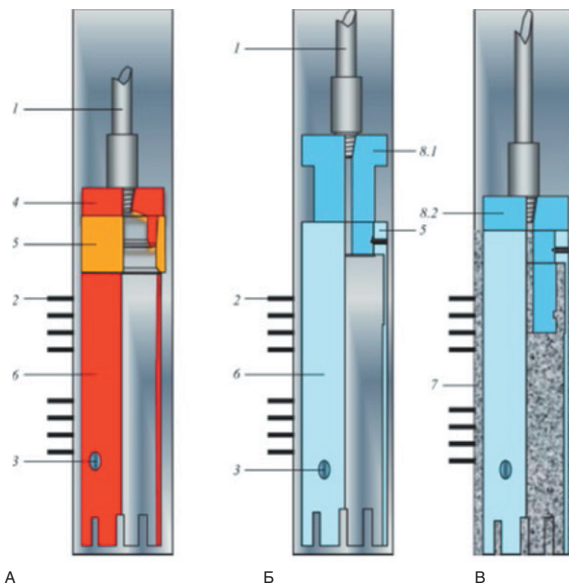


РИС. 3.

Спуск потайной колонны на левом переводнике (А) и на ниппеле со срезными штифтами (Б).

Условные обозначения: 1 – труба ТТ95; 2 – интервал перфорации; 3 – специальное отверстие для продавки цемента; 4 – левый переводник; 5 – муфта с воронкой; 6 – хвостовик; 7 – цементный раствор; 8.1 – ниппель в транспортном положении; 8.2 – ниппель при закачке цементного раствора

2. РИР необходимо проводить только с использованием пакера. Максимальное устьевое давление при закачке не должно превышать 10 МПа для исключения гидравлического разрыва пласта (ГРП) и образования новых каналов притока воды, в том числе при прорыве образованного водоизоляционного экрана.

3. С целью получения равномерного водоизоляционного экрана перед проведением РИР закачивать (на 2 часа) в пласт до 2 м^3 кислоты (на 2 м интервала перфорации) для выравнивания профиля приемистости (табл. 2).

4. Для исключения эффекта «размазывания» водоизоляционного состава и поглощения его более высокопроницаемыми пропластками закачку растворов проводить не более чем в двух-трехметровый интервал перфорации.

5. При наличии в пласте глинистых пропластков РИР проводить под них.

6. В процессе РИР особое внимание необходимо уделять конечному давлению и отслеживать его изменение при техническом отстое с фиксацией динамики падения давления. Минимальное время технического отстоя – 15 минут после момента стабилизации давления.

7. После технического отстоя стравливать давление по трубному пространству постепенно. При вытеснении продажной жидкости более $0,3 \text{ м}^3$ произвести допродавку на объем вышедшей жидкости с отслежи-

ТАБЛИЦА 2.

Результаты проведения работ по выравниванию профиля приемистости перед проведением РИР на скважинах Западно-Таркосалинского месторождения

№ скв.	Объем лимоннойкис- лоты, м ³	Параметры работы скважины		Коэффициент результативности Кр, 1
		до отработки	после обработки	
1231	2	Приемистость 240 м ³ /сут при Р=6,0–7,0 МПа	Приемистость 442 м ³ /сут при Р=2,0 МПа	1,84
1134	2	Приемистость 120 м ³ /сут при Р=6,0–7,0 МПа	Приемистость 430 м ³ /сут при Р=4,0 МПа	3,58

ванием конечного давления. Данный этап характеризует формирование экрана и заполнение каверн.

8. Объем водоизоляционного состава на 3 м интервала перфорации не менее 10 м³ геля и 4÷5 м³ цементного раствора. Объем водоизоляционного раствора подбирался на основе промысловых исследований на скважинах ВГМ, где при отходе на 2,5 м от оси ствола скважины был получен вход в пласт с проектными продуктивными характеристиками.

Метод последовательной закачки тампонирующей композиции и цементного раствора за одну скважинооперацию является наиболее эффективным при заканчивании скважин. Такой подход обеспечивает образование практически монолитного водоизоляционного экрана. Результативность работ удалось поднять больше, чем на 80%. Несмотря на то, что осуществление операций оказалось дорогостоящим, срок окупаемости затрат составил 120 суток. Большинство скважин, числившихся до ремонта в бездействующем фонде, после проведения в них РИР успешно запущены в эксплуатацию. Фактический экономический эффект только за 2 года внедрения составил более 200 млн руб.

Таким образом, разработанный комплекс различных способов восстановления обводненных газовых скважин в условиях АНПА, наличия смятия нижней части эксплуатационной колонны со сложно построенными коллекторами и большой степени обводненности позволяет: проводить ремонты скважин, которые в предыдущие годы считались бесперспективными и ликвидировались или переводились в наблюдательный фонд; отсечь продуктивный пласт (необводненную его часть) от воздействия технологической жидкости на время производства работ; обеспечить селективность процесса изоляции и направить изоляционную жидкость непосредственно в обводненную часть пласта; создавать экран большей толщины (при проведении РИР под давлением с пакером); сократить время на освоение скважины после КРС.

Результаты перфорационных работ на депрессии в газовой среде показали, что скважина самостоятельно выходит на режим и проведение операции по вызову притока газа не требуется.

При дефиците гидростатического давления в скважине возникает деформация перфораторов, что осложняет их извлечение на поверхность. Экспериментально было установлено, что минимально допустимое давление использования перфораторов составляет 1,9–2,0 МПа. Соблюдение данного условия позволяет проводить перфорационные работы при депрессии на пласт без каких-либо технических осложнений.

Освоение скважин при коэффициенте аномальности пластового давления $0,7 < K_a \leq 0,9$ и оборудованных пакером рекомендуется проводить в следующей последовательности: провести обвязку устья осваиваемой скважины по схеме, приведенной на рис. 9 А; спустить БДТ под уровень ЖГ, находящейся в скважине; закачать в БДТ продавочную техническую воду с добавлением ПАВ (в летний период) или водномисцеллярный раствор (ВМР) с добавлением ПАВ, газового конденсата или нефти (в зимний период); закачать продавочную жидкость в кольцевое пространство (КП), вытесняя и удаляя из него ЖГ на устье скважины; продолжить плавный спуск БДТ в скважину с закачиванием через них продавочной жидкости до вызова притока; при получении притока прекратить подачу продавочной жидкости в БДТ и продолжить выпуск смеси ЖГ, продавочной жидкости и газа из скважины в сборную емкость с последующим переключением газожидкостного потока на факельную линию (ФЛ); при получении устойчивого притока газа извлечь БДТ из скважины; провести отработку скважины на факельное устройство до выхода скважины на рабочий режим.

Операции по вызову притока из пласта рекомендуется проводить через сужающие устройства, обеспечивающие депрессию на пласт до 5% от пластового давления. В процессе отработки скважины рекомендуется осуществлять контроль за величиной межколонного давления (Р_{мк}) и при возрастании его выше величины, указанной в плане работ на КРС, вызов притока следует прекратить и провести работы по ликвидации межколонных проявлений в соответствии с нормативными документами, действующими на месторождениях.

При необходимости для создания циркуляции в скважине вместо КП возможно использовать затрубное пространство скважины по схеме, приведенной на рис. 4 Б.

При освоении газоконденсатных скважин рекомендуется выкидную линию оборудовать газосепаратором (ГС) (рис. 4 В).

Освоение скважин в условиях $0,3 < K_a \leq 0,7$ и при $K_a \leq 0,3$, оборудованных пакером, предложено проводить с использованием схем обвязки устья подобных схемам рисунка 4 с изменениями для закачки пены и газа. Различие заключается в том, что необходимо обеспечить безопасную репрессию, которая достигается изменением степени аэрации пены, а в случае необходимости закачкой инертного газа от азотно-компрессорной установки (АКУ).

ТЕХНОЛОГИИ ОСВОЕНИЯ ГАЗОВЫХ СКВАЖИН С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОБРАТНОЙ ПОДАЧИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ГАЗА «ВЫСОКОЙ СТОРОНОЙ»

Использование комплексного подхода к освоению газовых скважин, сочетающих методы отбора газа из скважины-донора, его компримирования с помощью бустерной установки, очистки ГЖС от жидкой фазы и закачивания в осваиваемую скважину высоконапорного газа, позволило создать новую технологию осво-

нения скважин в условиях АНПД и отсутствия АКУ.

Для освоения скважины используется отсепарированный и скомпримированный газ с заданным давлением и расходом от установки комплексной подготовки газа (УКПГ) через систему факельных трубопроводов по шлейфу к заданной скважине.

Особенностями освоения скважин с использованием обратной подачи газа «высокой стороной» после расстановки специальной техники и обвязки устья скважины являются: понижение уровня жидкости в скважине для снижения гидростатического давления ниже пластового поинтервальной продувкой через каждые 50–100 м с допуском БДТ и подачи газа; перфорация производится на депрессии перфораторами большой пробивной способности; спуск БДТ и плавное освоение скважины с отработкой на факел и периодической продувкой забоя до заданной отметки; отработка скважины ведется до момента создания условий устойчивого выноса ЖГ и пластового песка; отработка продолжается до вывода скважины на режим, обеспечивающий ее работу в шлейф.

Освоение скважин с использованием обратной подачи газа «высокой стороной» начали проводить на МКС при падении давления в шлейфах газосборного коллектора (ГСК) до 0,8 МПа в 2006 г. Результаты внедрения показали высокую эффективность этой технологии освоения скважин, а также возможность

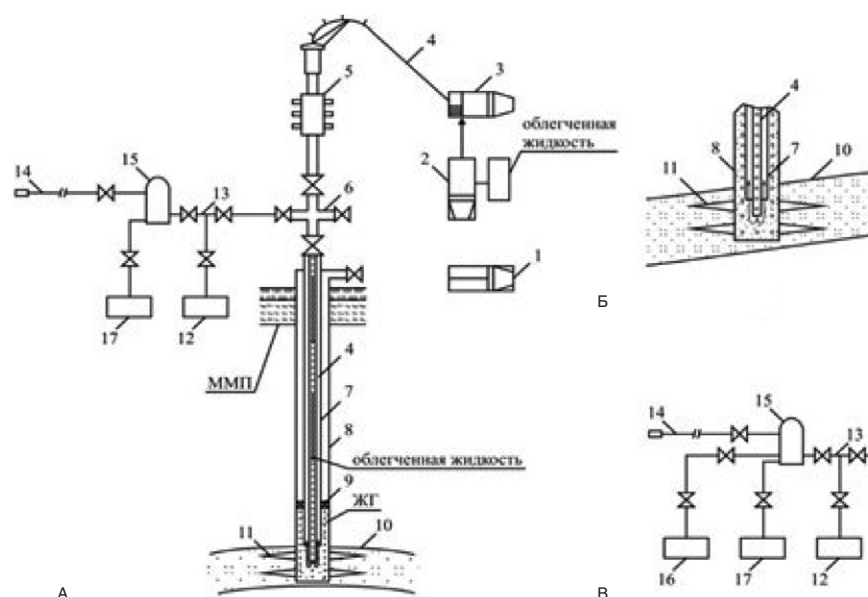


РИС. 4.

Схема обвязки устья осваиваемой скважины в условиях $0,7 < K_a \leq 0,9$.

1 – паровая передвижная установка (ППУ); 2 – цементировочный агрегат (ЦА); 3 – колтюбинговая установка; 4 – БДТ; 5 – колтюбинговое устьевое оборудование; 6 – фонтанная арматура (ФА); 7 – НКТ; 8 – эксплуатационная колонна; 9 – пакер; 10 – продуктивный пласт; 11 – интервал перфорации; 12 – емкость для сбора ЖГ; 13 – выкидная линия; 14 – факельная линия (ФЛ); 15 – газосепаратор (ГС); 16 – емкость для сбора конденсата; 17 – емкость для сбора продажной жидкости.

А – схема обвязки устья осваиваемой скважины, оборудованной пакером; Б – забой осваиваемой скважины, не оборудованной пакером; В – узел ФЛ газоконденсатной скважины

применения бустерных установок на заключительной стадии разработки газовых месторождений.

Для интенсификация «сеноманских» газовых скважин разработан новый состав жидкости освоения, исключаящий разрушение ПЗП, на основе лимонной кислоты в составе лимонной кислоты и добавки «Фосфол С12». Снижение стоимости материалов, необходимых на одну обработку, составило 3,3 раза по сравнению со стандартной обработкой.

С участием А.А. Сингурова разработаны рекомендации Р Газпром 2–3.3–495–2010 «Технологии освоения газовых и газоконденсатных скважин в условиях аномально низкого пластового давления с помощью кольтюбинговых установок на месторождениях Западной Сибири», а также разработаны различные варианты технологических схем обвязки устья скважины, обеспечивающие подачу газа под высоким давлением в скважину и позволяющие проводить различные технологические операции по освоению, удалению ГПП, обработке ПЗП раствором ПАВ, и др.

ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ДЕЙСТВИЙ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАЗРАБОТКИ ГАЗОВЫХ И ГАЗОКОНДЕНСАТНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ В УСЛОВИЯХ ПАДАЮЩЕЙ ДОБЫЧИ

Одной из особенностей КРС на МКС является удаленность буровых и ремонтных бригад от производственных баз и аппарата управления. Поэтому одной из наиболее важных задач при организации производственного процесса бурения и ремонта скважин является обеспечение бесперебойной двухсторонней связи между подразделениями предприятия с целью повышения оперативности принятия решений о дальнейших работах. В связи с этим была разработана и внедрена система обмена информацией посредством сотовой связи с бригадами [5, 7].

Внедрение разработанной системы сбора и обмена информацией позволяет: обеспечить бесперебойную двустороннюю связь между бригадами, цехами КРС и УБР и аппаратом управления; свести к минимуму простой бригад, связанные с принятием решений о дальнейших работах; значительно сократить пробег спецтехники. Создание базы данных об имеющемся оборудовании позволило оптимизировать производственный процесс, связанный с использованием бурового и ловильного оборудования, в кратчайшие сроки проводить анализ данных, корректировать планы работ бригад, оперативно согласовывать изменения с Заказчиком; повысить общую оперативность проведения буровых и ремонтных работ.

Для того чтобы видеть полную картину экономической деятельности предприятия, необходимо использовать анализ постоянных и переменных издержек. Целесообразно внедрить данный вид анализа при рассмотрении экономических результатов как

А.А. СИНГУРОВ,
В.И. НИФАНТОВ, В.М. ПИЩУХИН
РЕЗУЛЬТАТЫ ВНЕДРЕНИЯ КОМПЛЕКСНЫХ МЕТОДОВ
И ТЕХНОЛОГИЙ ВТОРИЧНОГО ВСКРЫТИЯ ПРОДУКТИВНЫХ
ПЛАСТОВ И ЗАКАНЧИВАНИЯ СКВАЖИН НА ИСТОЩЕННЫХ
МЕСТОРОЖДЕНИЯХ УГАЕВОДОРОДОВ

отдельных филиалов, так и Общества в целом. Анализ постоянных и переменных издержек может показать готовность предприятия к преодолению экономических спадов, при которых снижаются объемы производства. Соответственно, для ведения анализа постоянных и переменных издержек требуется разработка классификационного справочника по затратам.

Для комплексного решения задач повышения результативности и производительности труда целесообразно использовать групповой анализ социально-производственной ситуации и удовлетворенности трудом работников. Результаты коллективного анонимного опроса дают более достоверные данные, особенно полезные в условиях административно-управленческих перемен как руководству, так и основным работникам для скорейшего установления эффективных трудовых взаимоотношений.

Проведенный анализ удовлетворенности трудом работников на примере одного из филиалов ООО «Газпром подземремонт Уренгой» показал, что снижение удовлетворенности трудом отрицательно влияет на эффективность труда персонала, приводя при этом к негативным последствиям.

Полный анализ всех показателей выявил неблагоприятную тенденцию результатов по удовлетворенности трудом работников цеха КРС.

На основании проведенного исследования разработанные операции основываются на учете следующих факторов:

1. Усиление осведомленности работников с помощью контроля за процессом передачи различной информации непосредственными руководителями структурных подразделений. Введение в практику обучение мастеров управленческим навыкам.
2. Необходимости разработки и реализации программы технического переоснащения.
3. Улучшении санитарно-гигиенических условий, которые способствуют повышению уровня работоспособности и степени удовлетворенности условиями труда в целом.

Для обеспечения долгосрочного развития предприятий КРС и УБР предложенная система сбалансированных ключевых показателей позволит связать ежедневную оперативную работу всех сотрудников с целями и стратегией предприятия, отслеживать эффективность работы всех сотрудников и детализировать планирование. Система мотивации на основе этих показателей позволит повысить эффективность труда и оптимизировать затраты на проведение бурения и КРС.

ВЫВОДЫ

Суммируя изложенное можно сделать следующие выводы:

1. В результате теоретических и экспериментальных исследований разработаны и внедрены в произ-

водство новые технологии вторичного вскрытия ПЗП и заканчивания скважин при бурении и КРС на МКС в условиях пониженных пластовых давлений и интенсивного обводнения залежей углеводородов.

Комплексное применение разработанных технологий обеспечивает повышение коэффициента извлечения углеводородов из пласта, продление срока эксплуатации скважин и их межремонтного периода.

2. Предложена методика исследования реологических характеристик пенных систем, учитывающая изменение их во времени вследствие разрушения пены. На основе теоретических и экспериментальных исследований предложены зависимости для расчета удерживающей способности двух- и трехфазных пенных систем различного состава, которые можно использовать для проведения оценочных расчетов, обоснования технологических параметров режима промывки скважины и выбора технических средств при проведении бурения и КРС.

3. С учетом геолого-технических условий эксплуатации месторождений Западной Сибири и основных требований, предъявляемых к промывочным жидкостям, в лабораторных условиях исследованы различные составы ПОЖ и предложены рецептуры для получения двухфазных пен. Разработанные составы рекомендуется применять в различное время года, в том числе при отрицательных температурах.

4. Проведенные лабораторные исследования пенных систем позволили разработать новые составы, которые рекомендуются для использования при вторичном вскрытии продуктивных пластов перфорацией.

5. На основе лабораторных исследований разработан новый наполнитель на основе древесной коры. В качестве жидкости носителя была выбрана незамерзающая ПОЖ, нашедшая широкое применение на месторождениях Западной Сибири. По результатам стендовых исследований разработана рецептура нового наполнителя и изготовлена опытная партия для проведения опытно-промышленных испытаний (ОПИ).

6. Для проведения длительных КРС с применением обычных ППА с целью исключения попадания в коллектор значительных объемов промывочной жидкости и негативного ее влияния на устойчивость пород ПЗП рекомендуется временно блокировать ее гелеобразными системами. Для глушения скважин разработан гелеобразный блокирующий состав, состоящий из лигносульфонатного реагента, гелеобразователя, воды и наполнителя «НДК-ЛХ, а также полимерного материала «Конкрепол», лигносульфоната, КССБ, ФХЛС и лигназа.

7. Разработаны устройства, обеспечивающие, ускорение процесса разбухания ППП. Для решения этих проблем были разработаны гидроударные устройства УГ-С-56 и УГ-50, гидроударное промывочное устройство УПГ-54. Для решения проблемы уда-

ления ППП разработана технология их разбухания в импульсном режиме.

8. Для осуществления возможности применения технологии разбухания и промывки ППП в импульсном режиме осуществлено моделирование процесса. Применять импульсную промывку необходимо в сочетании с гидроударным устройством, что позволяет сочетать как гидромониторное, так и механическое воздействие на ППП. Как показали ОПИ на скважинах ООО «Газпром добыча Ноябрьск», применение гидроударного устройства позволило повысить механическую скорость процесса вдвое.

9. Предложена классификация для выбора технологии РИР с учетом коэффициента аномальности пластового давления.

10. На основе опыта КРС с $K_a \leq 0,3$ предложен комплекс технологий с установкой хвостовика (потайной колонны). Разработаны и внедрены различные конструкции разъединителей для потайной колонны при заканчивании скважин.

11. Разработан комплекс различных способов восстановления обводненных газовых скважин в условиях АНПД на месторождениях, находящихся на заключительной стадии разработки, наличия смятия нижней части эксплуатационной колонны со сложными построенными коллекторами и большой степенью обводненности. Применение данных разработок позволило: проводить ремонты скважин, которые в предыдущие годы считались бесперспективными и ликвидировались или переводились в наблюдательный фонд; отсечь продуктивный пласт (необходимую его часть) от воздействия технологической жидкости на время производства работ; обеспечить селективность процесса изоляции и направить изоляционную жидкость непосредственно в обводненную часть пласта; создавать герметичный изолирующий экран большей толщины при проведении РИР под давлением с пакером; сократить время на освоение скважины после капитального ремонта.

12. Разработан комплекс технологий вторичного вскрытия ПЗП по проведению РИР путем бурения бокового (неориентированного) ствола в скважинах с полным смятием, смещением эксплуатационной колонны или с осложнениями, полученными в процессе ремонта (прихват колонны труб в интервале перфорации). Данная разработка показала, что: нет необходимости использовать дорогостоящие телеметрические системы (набор угла искривления зависит только от угла клина отклонителя, а максимально возможный отход от ствола скважины составляет 3 м); время выполнения работ и затраты не превышают продолжительность и стоимость капитального ремонта по проведению водоизоляционных работ с установкой промежуточной колонны при заканчивании скважины; исключается насыщение пласта технологической жидкостью; данный способ позволяет

решить проблемы с полным смятием эксплуатационной колонны.

13. Разработана методика проведения исследования влияния характера вскрытия на производительность газовых скважин, а также факторов, влияющих на дебит перфорированных скважин. Проведенные исследования позволяют подбирать характеристики перфораторов для снижения скин-эффекта.

14. Разработан комплекс технологий освоения газовых и газоконденсатных скважин в условиях АНПД с помощью колтюбинговых установок на месторождениях Западной Сибири с различными коэффициентами аномальности.

15. Использование комплексного подхода к освоению газовых скважин, сочетающих методы отбора газа из скважины-донора, его компримирования с помощью бустерной установки, очистки ГЖС от водной фазы и закачивания в осваиваемую скважину высоконапорного газа, позволило создать новую технологию освоения скважин в условиях АНПД и отсутствия АКУ. Результаты внедрения показали высокую эффективность технологии освоения скважин с использованием обратной подачи газа «высокой стороной», а также возможность применения бустерных установок на заключительной стадии разработки месторождений углеводородов.

16. Разработан состав для обработки «сеноманских» коллекторов УГКМ и других месторождений, исключающий разрушение ПЗП. По результатам лабораторных исследований разработана рецептура раствора лимонной кислоты для интенсификации "сеноманских" газовых скважин. Показано снижение стоимости материалов на одну обработку в 3,3 раза по сравнению со стандартной обработкой.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сингуров А.А. Удаление глинисто-песчаных пробок в условиях АНПД (на примере газовых месторождений Западной Сибири // «LAP LAMBERT Academic Publishing». 2012. 153 с.
2. Кустышев А.В., Чабаяев А.У., Ваганов Ю.В., Сингуров А.А. и др. Осложнения, аварии и фонтаноопасность при строительстве, эксплуатации и ремонте нефтяных и газовых скважин. Учеб. пособи. Тюмень: ТюмГНГУ. 2015. 178 с.
3. Нифантов В.И., Пищухин В.М., Сингуров А.А., Гильфанова Е.В. Технологии и составы для изоляционных работ в скважинах // Реагенты и материалы для строительства, эксплуатации и ремонта нефтяных, газовых и газоконденсатных скважин: производство, свойства и опыт применения. Экологические аспекты нефтегазового комплекса: Мат-лы XVIII Межд-ая науч.-практ-ой конф., 3–6 июня 2014 г. г. Владимир: ООО "Аркаим". 2014. С. 108–113.
4. Сингуров А.А., Паникаровский Е.В., Ку-

А.А. СИНГУРОВ,
В.И. НИФАНТОВ, В.М. ПИЩУХИН
РЕЗУЛЬТАТЫ ВНЕДРЕНИЯ КОМПЛЕКСНЫХ МЕТОДОВ
И ТЕХНОЛОГИЙ ВТОРИЧНОГО ВСКРЫТИЯ ПРОДУКТИВНЫХ
ПЛАСТОВ И ЗАКАНЧИВАНИЯ СКВАЖИН НА ИСТОЩЕННЫХ
МЕСТОРОЖДЕНИЯХ УГЛЕВОДОРОДОВ

стышев Д.А. Кислотные обработки слабосцементированных коллекторов с использованием лимонной кислоты // Время колтюбинга. 2013. №4 (46). С. 70–78.

5. Сингуров А.А., Нифантов В.И., Пищухин В.М. Технологии капитального ремонта газовых скважин на месторождениях Крайнего Севера. М.: Газпром ВНИИГАЗ, 2020. 161 с.
6. Нифантов В.И., Пищухин В.М., Каминская Ю.В., Сингуров А.А. Исследование сжимаемости и растворимости газа в газожидкостных потоках и пенных системах / IV Межд-ая конф. "Наноявления при разработке месторождений углеводородного сырья: от наноминералогии и нанохимии к нанотехнологиям". Москва, 11–12 ноября 2014 г. С. 201–206.
7. Зозуля Г.П., Кустышев А.В., Сингуров А.А. и др. Организация супервайзерского контроля при капитальном ремонте нефтяных и газовых скважин. Тюмень: «Вектор Бук». 2012. 192 с.

REFERENCES

1. SINGUROV A.A. Removal of clay-sand plugs in conditions of unfavorable pressure (on the example of gas fields in Western Siberia. "LAP LAMBERT Academic Publishing". 2012:153. (In Russian).
2. KUSTYSHEV A.V., CHABAIEV L.U., VAGANOV YU.V., SINGUROV A.A. ET AL. Complications, accidents and fountain hazard during construction, operation and repair of oil and gas wells. Textbook. Tyumen: TyumGNGU. 2015:178. (In Russian).
3. NIFANTOV V.I., PISHCHUKHIN V.M., SINGUROV A.A., GILFANOVA E.V. Technologies and compositions for insulation work in wells. Reagents and materials for construction, operation and repair of oil, gas and gas condensate wells: production, properties and application experience. Environmental aspects of the oil and gas complex: Proc. XVIII Int. scientific-practical conf., June 3-6, 2014. Vladimir: ООО "Arkaim". 2014:108–113. (In Russian).
4. SINGUROV A.A., PANIKAROVSKY E.V., KUSTYSHEV D.A. Acid treatments of weakly cemented reservoirs using citric acid. *Vremya koltyubinga*. 2013;4; (46):70–78. (In Russian).
5. SINGUROV A.A., NIFANTOV V.I., PISHCHUKHIN V.M. Technologies for major workover of gas wells in the fields of the Far North. Moscow: Gazprom VNIIGAZ, 2020:161. (In Russian).
6. NIFANTOV V.I., PISHCHUKHIN V.M., KAMINSKAYA YU.V., SINGUROV A.A. Study of gas compressibility and solubility in gas-liquid flows and foam systems. IV Int. Conf. "Nanophenomena in hydrocarbon deposits development: from nanomineralogy and nanochemistry to nanotechnology". Moscow, November 11–12, 2014:201–206. (In Russian).
7. ZOZULYA G.P., KUSTYSHEV A.V., SINGUROV A.A.

ET AL. Organization of supervisory control during major workovers of oil and gas wells. Tyumen: "Vector Book". 2012:192. (In Russian).

Сингуров Александр Александрович,
главный инженер ООО «РусХимАльянс» Россия

☎ 199106, Санкт-Петербург, Шкиперский проток, д. 12,
корп. 2, стр. 1
тел.: +7 (812) 240-00-72

Нифантов Виктор Иванович,
пенсионер

☎ 142717, Московская обл., г. Видное, пос. Развилка,
тел.: +7 (965) 278-93-45

Пищухин Василий Михайлович,

ведущий научный сотрудник Отделения эксперименталь-
ных исследований Опытного-экспериментального центра
ООО «Газпром ВНИИГАЗ»

☎ 142717, Московская обл., г.о. Ленинский, п. Развилка,
ул. Газовиков, зд. 15, стр. 1,
тел.: +7 (498) 657-48-94, e-mail :basil1960@yandex.ru

УДК 662.013.3

DOI: 10.52531/1682-1696-2025-25-1-118-126

Научная статья

EDN: OURXRH

ПРИРОДНО-ТЕХНОГЕННЫЕ ИСТОЧНИКИ ПРОИЗВОДСТВА МЕТАЛЛОВ, ФОРМИРУЮЩИХ НЕИСЧЕРПАЕМУЮ СЫРЬЕВУЮ БАЗУ ДЛЯ УПРАВЛЯЕМОГО «СОЗИДАТЕЛЬНОГО ОСВОЕНИЯ НЕДР»

М.Ж. БИТИМБАЕВ¹,
М.С. КУНАЕВ²

¹ НАЦИОНАЛЬНАЯ ИНЖЕНЕРНАЯ АКАДЕМИЯ
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН,
Г. АЛМАТЫ, РЕСПУБЛИКА КАЗАХСТАН

² «CASPIAN SERVICES INC» Г. АЛМАТЫ,
РЕСПУБЛИКА КАЗАХСТАН

Научное и статистическое подтверждение практической вероятности истощения запасов металлов в континентальной земной коре до глубины 5 км требует, исходя из безальтернативности существования человечества без металлов, создания управляемого формата ресурсовоспроизводящего и ресурсосберегающего «созидательного освоения недр» с одновременным сохранением качественной природной среды. В связи с этим определены источники производства металлов во всем их многообразии, неисчерпаемые в историческом масштабе времени. Решение основано на базе использования неизвестных и неуставленных ранее свойств совокупного взаимодействия геологической среды и техногенных систем, создаваемых и используемых в этой среде и вне нее.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: сырьевая база металлов, источники производства, геологическая среда, техногенные системы, воссоздание георесурсов, созидательное освоение недр, циркулярное восстановление металлов вне недр

Original article

**NATURAL AND MAN-MADE SOURCES
OF METAL PRODUCTION, FORMING
AN INEXHAUSTIBLE RAW MATERIAL
BASE FOR CONTROLLED «CREATIVE
DEVELOPMENT OF SUBSOIL»**

M.ZH. BITIMBAYEV¹, M.C. KUNAYEV²

¹NATIONAL ENGINEERING ACADEMY OF
THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN, ALMATY,
REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

²«CASPIAN SERVICES INC.», ALMATY,
REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

Scientific and statistical confirmation of the practical probability of the exhaustion of metal reserves in the continental crust to a depth of 5 km requires, based on the lack of alternative to the existence of mankind without metals, the creation of a controlled format of resource-reproducing and resource-saving creative development of the subsoil with the simultaneous preservation of a high-quality natural environment. In this regard, sources of metal production in all their diversity, inexhaustible on a historical time scale, have been identified. The solution is based on the use of previously unknown and unidentified properties of the combined interaction of the geological environment and man-made systems created and used in this environment and outside it.

KEY WORDS: raw material base of metals, production sources, geological environment, man-made systems, recreation of georesources, creative development of subsoil, circular recovery of metals outside the subsoil

ВВЕДЕНИЕ

Стратегия устойчивого социального развития для мировой цивилизации в целом и для каждой отдельно

взятой страны строится на фундаменте освоения недр Земли как источника минерального сырья, которое, в свою очередь, состоит из металлов, химических удобрений, топливно-энергетических ресурсов и продуктов недр для повседневных нужд (строительные материалы). Прямая зависимость между состоянием благополучия и обеспеченностью минеральным сы-

© М.Ж. Битимбаев, М.С. Кунаев
Поступила в редакцию 03.02.2025

рьем, переработанным в готовый товарный продукт, является необсуждаемой аксиомой, поэтому тревожный сигнал о практической возможности исчерпания запасов металлов в континентальной земной коре до глубины 5 км должен быть воспринят как один из наиболее опасных ожиданий, могущих реально стать шлагбаумом на пути человечества к созданию своим трудом уверенного благосостояния.

Одновременно человечество должно устранить причины ускоряющегося, зачастую невосстанавливаемого разрушения сложившегося природного равновесия в недрах и вокруг них, сопровождающего производственные процессы по добыче и переработке руды.

Общезвестны следующие факты:

1. Фундаментом развития мировой экономики были и остаются природные ресурсы, в т.ч. в первую очередь металлы.
2. Часть континентальной земной коры, занимающая 25–30% общей ее площади как наиболее экономически выгодный и безопасный источник производства металлов до глубины антропогенно-технических возможностей человека в 5 км, исчерпает свои возможности через 30–150 лет в зависимости от вида металла.
3. В практике освоения недр рудные месторождения отрабатываются в 5–10 тысяч раз быстрее, чем они могут быть воссозданы в недрах действующими геохимическими закономерностями рудообразования.
4. Безвозвратно теряются металлы при добыче и переработке, разрушается природная экосистема самого массива недр и окружающей его биосферы, которая в результате действий человека эволюционирует в ноосферу с ухудшающимися условиями существования цивилизации.
5. Потребность в металлах непрерывно растет в геометрической прогрессии по отношению к росту населения (рис. 1).

В 1972 г. исследователи из Массачусетского технологического института во главе с профессором Джерри Фостером разработали статистическую модель, показывающую, что погоня за экономическим ростом без учета экологических и социальных издержек к 2040 г. приведет к краху общества.

В 2021 г. компания KPMG (аудитор Гайя Херрингтон) проверила актуальность этих выводов сегодня. Исследование опубликовано в журнале «Yale Journal of Industrial Ecology» с выводом, что «человечество продолжает идти по пути, способном привести к нехватке ресурсов, и что необходимы срочные изменения, которые уже будут нелегкими и создадут проблемы переходного периода, решения которых определяют судьбу человеческой цивилизации на долгие годы».

Проблема была обозначена, но конкретно ничего не предложено, поэтому предлагаемый и разрабаты-

ваемый принцип «созидательного освоения недр» соответствует запросам действительности достоверно и конкретно и в идее, и в сущности, и в путях реализации.

Обстановка со складывающейся ситуацией с природным рудообразованием по времени и возможных источников производства металлов в данном контексте рассмотрена в работах выдающихся советских геологов В.И. Смирнова, Л.Н. Овчинникова, А.А. Саукова и подтверждена принятием Всемирной Концепции «Устойчивого развития» (Sustainability Development) в 1987 г. Международной комиссией по окружающей среде ООН. В статье на основании обозначенных направлений рассмотрены способы решения.

Использование части поля концентрации химических элементов, называемого «первичным геохимическим ореолом», привело к увеличению в несколько раз запасов золота и меди с переходом от подземного на открытый способ разработки (со снижением среднего содержания металлов в руде) в Казахстане на месторождениях Бакырчик и Большевик в Восточно-Казахстанской, Аксу и Бестобе в Акмолинской, Юбилейное в Актюбинской, Мынарал-Ргайтинской зоны и рудного поля Каратас-Майбулак в Жамбылской областях.

График на рис. 1 построен на основании выводов ООН о стабилизации роста народонаселения на уровне 11 млрд человек (уровень 8 млрд достигнут в 2023 г.) и уровня потребления металлов с увеличением в 7 раз к 2020 г. к 2100 г.

Изложенные факты требуют своего решения, поэтому нами была поставлена цель создания новой, неисчерпаемой в историческом масштабе времени, оцениваемой в несколько тысяч лет (в зависимости от развития цивилизации на Земле и устоявшегося ко-

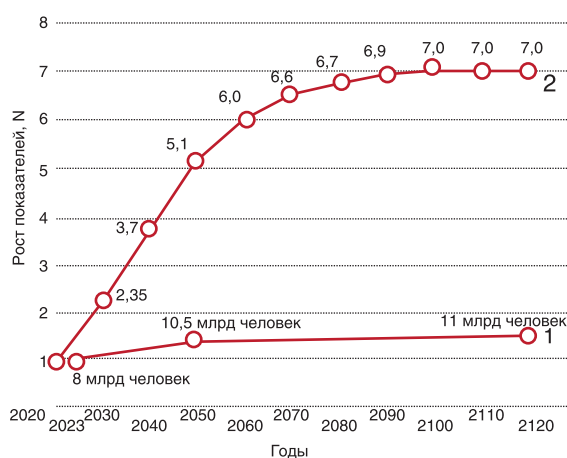


Рис. 1.

Динамика роста народонаселения Земли и производства металлов. 1 – рост численности населения; 2 – рост производства металлов из всех источников

личества ежегодного потребного металла), сырьевой базы и определения источников производства металлов во всем их многообразии.

Многообразие источников, в свою очередь, должно определяться не только геологической средой, в которой находится определенное количество каждого металла, зависящее от установленных человеком условий их определения, но и, что наиболее важно, максимально возможным позитивным техногенным воздействием по полному использованию ресурсов геологической среды, которое является многовариантным предметом научно-практических исследовательских работ.

Проведенная аналитическая работа определила источники создания достаточной сырьевой базы, используя неизвестные и неуставленные ранее свойства совокупного взаимодействия среды и техногенных систем, создаваемых и используемых в этой среде и вне нее.

Мы живем в эпоху развития общества, когда в развитии биосферы разумная деятельность человека становится определяющим фактором глобального развития. Это эпоха развития, названная В.И. Вернадским «ноосферой» и трактуемая им как результат человеческой деятельности по превращению «биосферы XX столетия в ноосферу, создается прежде всего развитием науки, научного понимания и основанного на ней социального труда человека». Главным выводом, определяющим как коренное отличие от действовавших до последней четверти XX века принципов освоения недр, так и сопровождаемых ими все более увеличенных масштабов добычи минерального сырья, является осознание необходимости осваивать недра технологиями воспроизводящего и сберегающего формата с обязательным управляемым техногенными системами сохранением и самовосстановлением пространства оруденения.

Комплекс необходимых в соответствии с применяемыми техногенными системами горных работ и минералургии должен быть технологически исполнимым и обеспечивающим сохранение природной среды во всем его материальном многообразии (флора и фауна, атмосфера, водные потоки подземные и поверхностные, рельеф местности и плодородный слой почвы, биосфера от микроорганизмов до человека).

Трансформация содержания и сущности горных наук из системы знаний об освоении недр в систему, обязывающую сохранять недра в управляемом режиме взаимодействия геологической среды и техногенных систем воздействия на нее, стала возможной в позитивном ключе вследствие системного анализа роли и места минерально-сырьевого комплекса в непрерывном развитии человеческой цивилизации и создания научно обоснованного баланса запасов металлов, которые возможно использовать в сберегающем и воспроизводящем режиме из недр и вне недр.

М.Ж. БИТИМБАЕВ, М.С. КУНАЕВ
ПРИРОДНО-ТЕХНОГЕННЫЕ ИСТОЧНИКИ
ПРОИЗВОДСТВА МЕТАЛЛОВ, ФОРМИРУЮЩИХ
НЕИСЧЕРПАЕМУЮ СЫРЬЕВУЮ БАЗУ
ДЛЯ УПРАВЛЯЕМОГО «СОЗИДАТЕЛЬНОГО
ОСВОЕНИЯ НЕДР»

СОДЕРЖАНИЕ ФОРМАТА «СОЗИДАТЕЛЬНОГО ОСВОЕНИЯ НЕДР»

Месторождения полезных ископаемых формировались на разных условиях от поверхности Земли, что определяло исключительное разнообразие геологических и физико-химических условий их образования. Но все они образовывались на участках земной коры, в которых в результате тех или иных геологических процессов произошло накопление минерального вещества, пригодного для промышленного использования.

Значительные изменения в формировании понятия «месторождение полезного ископаемого» и в определении сущности освоения недр произошли из-за ухудшения всех составляющих окружающей человечество среды обитания, вызванных упущениями в создании единой системы позитивного взаимодействия геологической среды с техногенным воздействием на нее.

Такие природные классификаторы стандартной качественной окружающей среды, как жизнеобеспечивающее качество атмосферы, водный баланс, создаваемый поверхностными и подземными потоками, осадками и таянием ледников, сохранность неповторимой флоры и фауны, природного рельефа поверхности и почвенных возможностей, не должны терять свое естественное состояние по воле человека, т.е. искусственного техногенного вмешательства.

Но практически весь антропогенный материальный мир построен и функционирует за счет результатов прямого или косвенного разрушения определенных участков литосферы и последующего использования полученной при этом руды, которое дает исходные материалы и энергетическую основу производству 70% всей номенклатуры конечной продукции для существования и развития человеческого общества. Очистное пространство и подземные полости – горные выработки, объемы карьерных полей, хвостохранилищ и отвалов пустых пород и забалансовых руд, являясь последствием полезной казалось бы деятельности по производству металлов, одновременно становятся проблемами, усугубляющими будущее развитие.

Исходя из этой реальности, освоение недр и одновременно сохранение окружающей среды обитания должны решаться совместно на основе создания новой объективности, представляющей совокупное применение специфических естественных геологических закономерностей рудообразования и ранее неуставленных свойств техногенных систем, создаваемых для добычи и переработки руды.

Начатое с середины прошлого века переосмысление идеологии горных наук, отцами-основателями которого являются академик Академии наук СССР Н.В. Мельников, В.В. Ржевский, М.И. Агошков, академик Академии наук Казахской ССР О.А. Байконуров и ныне академик РАН К.Н. Трубецкой, транс-

формируется ныне в новую стадию совокупности научных идей и теорий, которая исходит из принципа совместного обеспечения полноты освоения и одновременного сохранения недр.

Воссоздание ресурсов недр рассмотрено в принципиальном плане в книге "Горные науки. Освоение и сохранение недр земли" под редакцией академика. Трубецкого К.Н. [8]. Этой составляющей нового создаваемого принципа «созидательное освоение недр» связываются понятия «ресурсовоспроизводящие» и «ресурсосберегающие» технологии и «ресурсовоспроизводящие» и «ресурсосберегающие» функции горного производства.

Если «ресурсосбережение» как понятие может быть соотнесено с прежней парадигмой понятия «комплексное освоение недр», то «ресурсовоспроизводство» представляет собой новый специфический техногенный тип обмена веществ с природой. Такой тип производства создает новые виды ресурсов или переводит потенциальные ресурсы в недрах и вне недр в реальные, то есть увеличивает ресурсы в недрах, учитываемые в традиционном месторождении, что теоретически может привести к состоянию производства металлов, когда потребности в них будут удовлетворяться, а ресурсы в недрах при этом могут увеличиваться. В таком содержании «ресурсовоспроизводство» как технология и функция производства характеризуется философским «принципом соответствия», когда смена одной естественнонаучной теории в отношении к освоению недр другой не обнаруживает различия и противоречия, но способствует преемственности между ними, которая может быть выражена математически и объяснена внутренним единством качественно различных уровней материи [15].

«Созидательное освоение недр» развивается на фундаменте освоения недр, сохраняющем качество природной среды, которая взаимодействует с техногенными процессами воздействия на нее, соблюдая как обязательные постулаты декарбонизацию и применение (с возможным созданием собственного производства) возобновляемых источников энергии.

Таковым должен быть сегодняшний облик горного производства, включающего добычу и минералургию, так как переработке полезных ископаемых и соответственно обогащению передель в создаваемой идеологии горных наук отводится особая роль. Поэтому управление отходами предполагает придание им необходимого качества по многим параметрам: объемным, вещественным, механическим, физико-химическим, санитарно-гигиеническим, экологическим и другим – в зависимости от технологии освоения и сохранения недр.

Из этого следует, что стадия переработки и соответственно обогащения цикл горных наук ответственны за решение двух взаимосвязанных проблем: получение товарных продуктов для удовлет-

ворения общественного спроса на них, с одной стороны, и производство новых ресурсов в указанном смысле – с другой.

Предлагаемый принцип «созидательного освоения недр» обоснован как научное понятие, обобщающее существенные признаки познания законов природы, которые качественно воздействуют на поиск и определение способов производства, основанных на техногенных системах [4]. Взаимодействие геологической среды и техногенных систем принимается нами как часть понятия «созидательного освоения недр». Вторая часть этого понятия определяется техногенным процессом закономерного перехода используемого в производстве металлического продукта в первоначальное состояние металла, из которого готовится новый продукт без использования первичных георесурсов недр.

МЕТОДЫ И МЕТОДОЛОГИЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ И СОЗДАНИЯ НЕИСЧЕРПАЕМОЙ СЫРЬЕВОЙ БАЗЫ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА МЕТАЛЛОВ.

Достижение целей, определяющих сущность «созидательного освоения недр», составляющих основу неисчерпаемой в историческом масштабе времени сырьевой базы для производства металлов, берет свое начало из анализа и научного познания закономерностей рудообразования в недрах, физико-технических и физико-химических техногенных систем освоения недр и техногенной организации управляемого полного возвратного цикла использования однажды произведенного металла.

Анализ накопленного опыта и современной практической деятельности горнообогатительных предприятий, проводимых научных исследований, изучение и познание источников для производства металлов, причин и закономерностей их накопления в этих источниках, возможностей извлечения металлов из них, жизненного цикла использования однажды произведенного металла определил направления, которые полностью охватывают местонахождение объемов металлов, формы их накопления и возможности создания управляемого режима ресурсосохранения и ресурсовоспроизводства с сохранением качественной природной среды, являющегося сутью нового научного понятия «созидательного освоения недр».

Перечень источников производства металлов, которые могут в настоящее время использоваться в практической деятельности горнорудных предприятий с применением технологических схем и конструкций систем разработки на подземных горных работах в комбинации с открытым способом и без него:

1) Традиционный, обнаруженный и разведанный с утвержденными балансовыми и забалансовыми запасами, определенными принятыми бортовым содержанием и минимальным промышленным содержанием,

разрабатываемый с применением общепринятых способов нисходящего развития и системы разработки.

2) Обеспечение разработки каждого конкретного месторождения с полным циклом текущего освоения недр.

Такой вариант разработан в ИПКОН РАН [10] под названием «полный цикл текущего освоения недр», который может быть применен и для месторождений, ранее отработанных с выемкой первичных георесурсов по традиционной схеме (рис. 2).

3) Вовлечение в производство месторождений нового типа, формируемых на базе существующих в природе геохимических закономерностей, неучитываемых сегодня в балансе возможностей из-за отсутствия их учета как запасов, так как качественные характеристики относят их к окружению традиционных рудных тел, называемых «ореолами» и «барьерами» и являющихся только индикаторами поиска традиционных месторождений [2].

4) Создание и практическое использование новых, неизвестных ранее физико-технических и физико-химических, в том числе комбинированных, геотехнологий и способов минералургии, использующих ранее неуставленные свойства и явления геологической среды для максимально полного освоения первичных георесурсов недр с сохранением качественной окружающей среды и пространства оруденения [5, 6].

Применение их обосновано работоспособностью и управляемостью, экономической эффективностью, безопасностью и технологической исполнимостью подземных конструкций, способами развития очистной выемки, форматом деятельности в условиях декарбонизации и использования возможностей собственных возобновляемых источников энергии. Такие технологии представляют полное, исключаящее потери металла(ов), одностадийное освоение

первичных георесурсов без образования вторичных в период освоения недр применением ФТГТ и ФХГТ, в том числе комбинированных и в формате единого объединенного производственного процесса с минералургией [9, 13, 18].

5) Вовлечение в производство продуктивных скоплений металлов техногенной миграции, образующихся в результате воздействия тех же законов рудообразования на основе кларков, сопровождаемых дифференциацией, миграцией, рассеянием и концентрацией, которые действуют при природных геологических процессах («городские месторождения полезных ископаемых») [11].

6) Полное освоение недр на принципах ресурсовоспроизводства и ресурсосбережения, впервые высказанных и обоснованных в ИПКОН РАН [12], созданием циркулярной экономики производства металлов. Реализация такого производства позволяет вторичные георесурсы, образующиеся при использовании однажды произведенного металла, экономически эффективно многократно (теоретически бесконечно) возвращать в производство [3].

Этот источник при его реализации может позволить, во-первых, создать воспроизводящее производство металлов, при реализации которого производство будет гораздо больше, чем объем использования георесурсов недр. Во-вторых, как следствие этого феномена, уменьшатся доплаты на строительство новых предприятий и эксплуатацию новых и действующих месторождений. Результатом применения предлагаемого перечня источников производства металлов явится снижение цены готовой металлической продукции на мировом рынке.

Создание циркулярной экономики в производстве металлов в развитии своего восстановительно-циклического характера, несмотря на кажущуюся максимальную полезность и ценность практической реализации, при внимательном изучении оказывается достаточно проблемным в качестве источника производства металлов. Такая принципиальная оценка стала результатом поиска формата созидательного взаимодействия циркулярной экономики в новых возникающих горнодобывающих границах на основе ранее неуставленных свойств и явлений. Она становится понятной как следствие обязательного действия всеобщего закона «единства и борьбы противоположностей». Но в то же время этот закон в своем познании учит, что никакую ступень развития, никакое достижение, в том числе научно-технологическое, нельзя рассматривать как окончательное, и ориентирует как бесконечное творчество. Такой образ мыслей в данном случае позволяет создать абсолютно полезное взаимодействие техногенных процессов освоения недр и восстановительно-циклического характера экономики производства и потребления металлов [15].

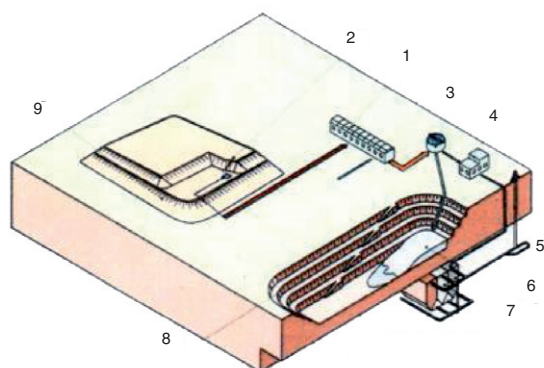


РИС. 2.

Горнотехническая система комбинированной геотехнологии с полным циклом комплексного освоения месторождений: 1 – обогатительная фабрика, 2 – гидромонитор, 3 – сгуститель, 4 – закладочный комплекс, 5 – подземные вскрывающие выработки, 6 – складирование отходов в карьере, 7 – заклаточный массив, 8 – карьер, 9 – гидромониторная разработка старогодного хвостохранилища [10]

Обязательной составной частью освоения недр в свете современных требований к взаимодействию массива недр и технологического вмешательства в его равновесное состояние являются ресурсовоспроизводящий и ресурсосберегающий характер этих действий в содружестве с сохранением качественной природной среды. Ценность и значимость разработанных и предлагаемых источников производства металлов заключаются в создании возможности практического преобразования объективного материального мира в виде недр Земли в пределах континентальной земной коры в неисчерпаемый источник ресурсов металлов в историческом отрезке времени.

Отдельно от изложенной практически возможной системы источников на основе объективных законов действительности метод анализа существующего материального мира позволяет предложить новые источники производства металлов.

Методологическое содержание дополнительного перечня связано с критическим пересмотром существующих понятий, связанных с процессами рудообразования, на основе системного подхода к изучению действующих в недрах Земли в области земной коры геохимических закономерностей, состава и строения океанического дна, прибрежного шельфа и донной части вулканов.

Системное изучение и анализ создают отчасти общеизвестную и в дополнение новую парадигму выбора источников производства металлов:

- 1) необходимость отдельно развивать технологии освоения россыпей, в т.ч. шельфовых и континентальных;
- 2) проведение научно-исследовательских работ на уровне опытно-промышленных испытаний по определению существования скоплений металлов (если они существуют, то наверняка в виде горячих расплавов) в геофлюидах вулканогенных потоков.

В настоящее время более 40 исследовательских институтов из 11 стран планируют организовать бурение 4,5-километровую скважину чуть выше магматического очага вулкана Монтсеррат в Карибском море. Если скважина будет пробурена и обсажена материалом, выдерживающим температурные условия в очаге расплава, можно организовать получение металлов, в т.ч. критических, в качестве, сопоставимом с объемом мирового производства. Извлекая геофлюиды из-под спящих вулканов, можно одновременно получать металлы в растворах использовать геотермальную энергию;

- 3) создание технологий освоения океанической земной коры и железо-марганцевых конкреций на океаническом дне. На эту тему имеются интересные доклады геологических служб Китая, Южной Кореи и Норвегии, которые были представлены на 37-ом Всемирном Геологическом Конгрессе в августе 2024 г. в г. Бусан;

- 4) и, наконец, нами рассматривается научная идея теоретических аспектов возможности создания техногенных способов ускорения управляемым воздействием на природные геохимические закономерности процессов рудообразования.

Учитывая длительные сроки рудообразования, речь может идти о 10000–1000000-кратном ускорении, которое может быть распределено на несколько этапов.

ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1) Выполнен анализ и определена принципиальная схема природно-техногенных систем «созидательно-го освоения недр», действующего в формате управляемого ресурсосберегающего и ресурсовоспроизводящего режима, построенного на основе сохранения качественной природной среды (рис. 3).

2) «Созидательное освоение недр» как новая сущность обратного воздействия техногенных систем на объективный материальный мир геологической среды создает такой режим деятельности, обеспечивая из определенных источников производства металлов запросы цивилизации неисчерпаемой сырьевой базой в историческом масштабе времени.

3) Созданные новые техногенные системы «созидательно-го освоения недр» позволяют обеспечивать потребности человечества экономически эффективно, безопасно, технологически исполнимо, действуя в условиях декарбонизированной атмосферы и использования собственных возобновляемых источников энергии [1, 7].

4) Предложено работоспособное технологическое решение организации в формате государственно-частного партнерства теоретически бесконечного возвратного цикла производства металлов, являющегося основой новой экономической системы и бизнес-стратегии, называемой циркулярной экономикой [12, 17, 19, 20, 21].

5) Циркулярная экономика, основанная на возврате однажды произведенного металла в первоначальное состояние товарного продукта после амортизации, аварийного износа или поломки, технологической непригодности, создает условия обеспечения потребностей человечества в глобальном масштабе и/или отдельно взятой страны в металлах с уменьшением освоения первичных георесурсов из недр или даже периодическим отказом от эксплуатации недр.

Таким образом, поставленная цель формирования неисчерпаемой в историческом масштабе времени сырьевой базы металлов решается в управляемом режиме, одновременно устраняя в позитивном ключе все накопившиеся проблемы с охраной окружающей среды, сохраняя эксплуатируемую природную среду.

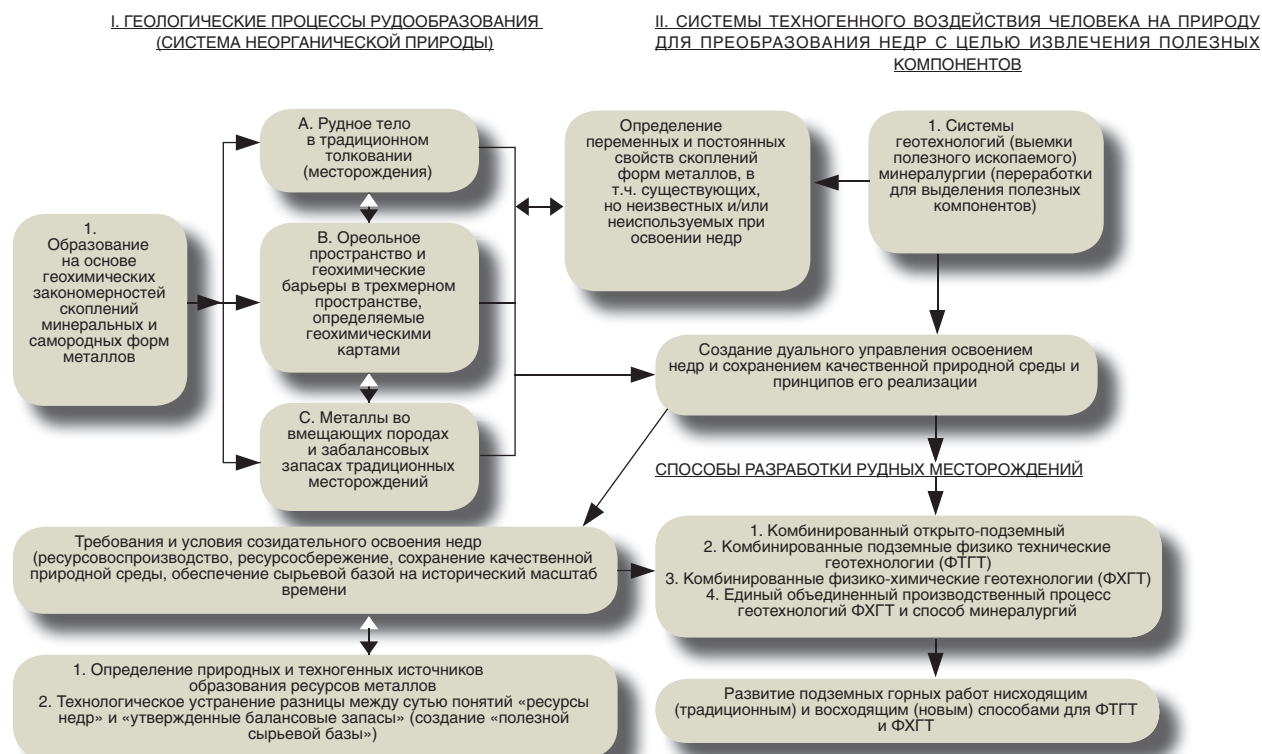


РИС. 3.

Принципиальная схема природно-техногенного созидательного освоения недр

Практическая реализация технологических схем жизнеспособности каждого источника производства металлов будет ускорена и безошибочна в результате использования цифрового кодирования и роботизации, основанных на базовом искусственном интеллекте.

ЛИТЕРАТУРА

1. АРЕНС В.Ж., ИСМАГИЛОВ Б.В., ШПАК Д.Н. Скважинная гидродобыча твердых полезных ископаемых. М.: Недра, 1980.
2. БИТИМБАЕВ М.Ж., КУНАЕВ М.С. Научное открытие «Свойство ореольного рудного пространства формировать самостоятельные рудные месторождения». Диплом №538 на научное открытие. М. 2023.
3. БИТИМБАЕВ М.Ж., КУНАЕВ М.С., ДЖУМАБАЕВ Е.И. Созидательное освоение недр природно-техногенными системами в замкнутом цикле на основе циркулярной экономики // Проблемы и перспективы комплексного освоения и сохранения недр. Под редакцией ак. РАН К.Н. Трубецкого. М.: ИПКОН РАН, 2024. С. 327–332.
4. БИТИМБАЕВ М.Ж., КУНАЕВ М.С., КОНАКБАЕВ А.С. Геологическое и техногенное обеспечение совокупного освоения и сохранения недр при разработке рудных месторождений. Доклад на 37-ом Всемирном Геологическом Конгрессе. Бусан, Республика Корея: 28 августа 2024. 18 с.
5. БИТИМБАЕВ М.Ж., КУНАЕВ М.С., ЮСУПОВ Х.А., АЛИШЕВА Ж.Н. Созидательная роль геохимических закономерностей в воспроизводстве ресурсов металлов на основе неиспользуемых уровней // Геология и охрана недр. Алматы: Каз. ГЕО. 2023. №1. С. 95–104.
6. БИТИМБАЕВ М.Ж., КУНАЕВ М.С., ЮСУПОВ Х.А., ДЖУМАБАЕВ Е.И. Физико-химическая геотехнология полного ресурсовоспроизводящего и ресурсосберегающего освоения недр подземным восходящим развитием горных работ / Проблемы и перспективы комплексного освоения и сохранения недр. Под редакцией ак. РАН К.Н. Трубецкого. М.: ИПКОН РАН, 2024. С. 182–186.
7. Гидродинамические и физико-химические основы горных пород. Под ред. Н.П. Веригина. М.: Недра, 1992.
8. Горные науки. Освоение и сохранение недр Земли. Под редакцией академика РАН К.И. Трубецкого. М.: Изд-во Академии горных наук. 1997. 478 с.
9. КАЛИЦУН В.И., ДРОЗДОВ Е.В. Основы гидравлики и аэродинамики. М.: Стройиздат, 1980. 247 с.
10. КАПЛУНОВ Д.Р., РЫЛЬНИКОВА М.В. Принципы проектирования и реализации горно-технических систем с полным циклом освоения рудных месторождений // Проблемы проектирования техноло-

- гии подземной и комбинированной разработки рудных месторождений. М.: ГИАБ. 2013. №5. С. 3–11.
11. ОВЧИННИКОВ А.Н. Прикладная геохимия. М.: Недра. 1990. 248 с.
 12. ПАХОМОВА Н.В., РИХТЕР К.К., ВЕТРОВА М.А. Переход к циркулярной экономике и замкнутым цепям поставок как фактор устойчивого развития // Вестник Санкт-Петербургского университета. Экономика. 2017. Т. 33, В. 2. С. 244–268.
 13. РЖЕВСКИЙ В.В., НОВИК Г.Я. Основы физики горных пород. Изд. 3-е, перераб. и доп. М.: Недра, 1978. 390 с.
 14. ТРУБЕЦКОЙ К.Н., КАПУНОВ Д.Р., РЫЛЬНИКОВА М.В. Проблемы и перспективы развития ресурсосберегающих и ресурсовоспроизводящих геотехнологий комплексного освоения недр Земли // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. Новосибирск. 2012. №4. С. 116–124.
 15. Философский словарь. Под. Ред. И.Т. Фролова. 6-ое изд., перераб. и доп. М.: Политиздат, 1991. С. 135–136.
 16. Философский словарь. Под. Ред. И.Т. Фролова. 6-ое изд., перераб. и доп. М.: Политиздат, 1991. С. 418–419.
 17. ФИЛЬЧЕНКОВА О.А. Переход Российской Федерации к циркулярной экономике с учетом международного опыта. Актуальные вопросы экономики и управления. Мат-лы VII Межд-ой науч. конф. (Санкт-Петербург, апрель 2019 г.). С. 11–16.
 18. ХОМЧЕНКО Г.П., СЕВАСТЬЯНОВА К.И. Окислительно-восстановительные реакции. М.: Просвещение, 1989. 141 с.
 19. BURDENKO E.V., BYKASOVA E. Circular Economy Experience: A Russian Perspective // Handbook of Research on Entrepreneurship Development and Opportunities in Circular Economy.-IGI Global, PA, USA, 2020. P. 167–194.
 20. CHERTOV M.R. "Uncovering" Industrial symbiosis// Journal of Industrial Ecology. 2007, December, -https://doi.org. 10.11625/jiec.2007.1110.
 21. STAHEL W.R. The circular economy. Nature 2016, 531, P. 435–438.
 2. development and conservation of mineral resources. Edited by Academician of the Russian Academy of Sciences K.N. Trubetsky. Moscow: IPKON RAS, 2024:327–332. (In Russian).
 4. BITIMBAEV M.ZH., KUNAEV M.S., KONAKBAEV A.S. Geological and technogenic support for the combined development and conservation of subsoil during the development of ore deposits. Report at the 37th World Geological Congress. Busan, Republic of Korea: August 28, 2024:18. (In Russian).
 5. BITIMBAEV M.ZH., KUNAEV M.S., YUSUPOV KH.A., ALISHEVA ZH.N. Creative role of geochemical patterns in the reproduction of metal resources based on unused levels. *Geologiya i okhrana nedr*. Almaty: Kaz. GEO. 2023;1:95–104. (In Russian).
 6. BITIMBAEV M.ZH., KUNAEV M.S., YUSUPOV KH.A., DZHUMABAEV E.I. Physicochemical geotechnology of complete resource-reproducing and resource-saving development of subsoil by underground upward development of mining operations. Problems and prospects of integrated development and conservation of subsoil. Edited by Academician of the RAS K.N. Trubetsky. Moscow: IPKON RAS, 2024:182–186. (In Russian).
 7. Hydrodynamic and physicochemical foundations of rocks. Edited by N.P. Verigin. Moscow: Nedra, 1992. (In Russian).
 8. Mining sciences. Development and conservation of the Earth's interior. Edited by Academician of the RAS K.I. Trubetsky. Moscow: Publishing house of the Academy of Mining Sciences. 1997:478. (In Russian).
 9. KALITSUN V.I., DROZDOV E.V. Fundamentals of hydraulics and aerodynamics. Moscow: Stroyizdat, 1980:247. (In Russian).
 10. KAPLUNOV D.R., RYLNKOVA M.V. Principles of design and implementation of mining and engineering systems with a full cycle of development of ore deposits *Problemy proyektirovaniya tekhnologii podzemnoy i kombinirovannoy razrabotki rudnykh mestorozhdeniy*. Moscow: GIAB. 2013;5:3–11. (In Russian).
 11. OVCHINNIKOV L.N. Applied geochemistry. Moscow: Nedra. 1990:248. (In Russian).
 12. PAKHOMOVA N.V., RICHTER K.K., VETROVA M.A. Transition to a circular economy and closed supply chains as a factor in sustainable development. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta. Ekonomika*. 2017;33;(2):244–268. (In Russian).
 13. RZHEVSKY V.V., NOVIK G.YA. Fundamentals of Rock Physics. 3rd ed., revised and enlarged. Moscow: Nedra, 1978:390. (In Russian).
 14. TRUBETSKOY K.N., KAPLUNOV D.R., RYLNKOVA M.V. Problems and Prospects of Development of Resource-Saving and Resource-Reproducing Geotechnologies for Integrated Development of the Earth's Interior. *Fiziko-tekhnicheskiye problemy razrabotki poleznykh iskopayemykh*.

REFERENCES

1. ARENS V.ZH., ISMAGILOV B.V., SHPAK D.N. Hydraulic borehole mining of solid minerals. Moscow: Nedra, 1980. (In Russian).
2. BITIMBAEV M.ZH., KUNAEV M.S. Scientific discovery "The property of the halo ore space to form independent ore deposits". Diploma N 538 for a scientific discovery. Moscow, 2023. (In Russian).
3. BITIMBAEV M.ZH., KUNAEV M.S., DZHUMABAEV E.I. Creative development of the subsoil by natural and man-made systems in a closed cycle based on a circular economy. Problems and prospects of integrated

- Novosibirsk. 2012;4:116–124. (In Russian).
15. Philosophical Dictionary. Ed. by I.T. Frolov. 6th ed., revised and enlarged. Moscow: Politizdat, 1991:135–136. (In Russian).
 16. Philosophical Dictionary. Ed. by I.T. Frolov. 6th ed., revised and enlarged. Moscow: Politizdat, 1991:418–419. (In Russian).
 17. **FILCHENKOVA O.A.** Transition of the Russian Federation to a Circular Economy Taking into Account International Experience. Actual Issues in Economics and Management. Proc. of the VII Int. Sci. Conf. St. Petersburg, April 2019:11–16. (In Russian).
 18. **KHOMCHENKO G.P., SEVASTYANOVA K.I.** Oxidation-reduction reactions. Moscow: Education, 1989:141. (In Russian).
 19. **BURDENKO E.V., BYKASOVA E.** Circular Economy Experience: A Russian Perspective. Handbook of Research on Entrepreneurship Development and Opportunities in Circular Economy.-IGI Global, PA, USA, 2020:167–194.
 20. **CHERTOV M.R.** “Uncovering” Industrial symbiosis. *Journal of Industrial Ecology*. 2007, December. <https://doi.org/10.11625/jiec.2007.1110>.
 21. **STAHEL W.R.** The circular economy. *Nature* 2016;531:435–438.

Битимбаев Марат Жакупович,
 д.т.н., профессор, академик Национальной инженерной академии Республики Казахстан, академик Академии минеральных ресурсов Республики Казахстан, главный редактор «Горного журнала Казахстана»

☎ 050010, Респ. Казахстан, г. Алматы,
 ул. Бөгенбай Батыра, 80–20,
 050010, Rep. Kazakhstan, Almaty, st. Bogenbai Batyr,
 80-20,
 тел.: +7 (701) 744-9508, e-mail: mbitimbayev@mail.ru

Кунаев Миргали Сапаргалиевич,
 д.г.н., председатель Совета Директоров «Caspian Services Inc.»

☎ 050010, г. Алматы, ул. Керей Жанибек хандары 135,
 050010, Almaty, st. Kerey Zhanibek khандary 135

УДК 551.52

DOI: 10.52531/1682-1696-2025-25-1-127-137

Научная статья

EDN: UBJZUA

ФИЗИЧЕСКАЯ СУЩНОСТЬ ПАРНИКОВОГО ЭФФЕКТА И ЕГО РАБОТА НА ПОТЕПЛЕНИЕ КЛИМАТА В XXI ВЕКЕ И ЗА ЕГО ПРЕДЕЛАМИ

В.В. ТЕТЕЛЬМИНИнститут экологии Российского
университета дружбы народов (РУДН)
им. Патриса Лумумбы, Москва,
Российская Федерация

Дается развернутое научное определение парникового эффекта как потока энергии определенной мощности. Вводится понятие «потенциала радиационного усиления» как энергетического эквивалента парникового эффекта, представленного в виде функции содержания антропогенных парниковых газов в атмосфере. Впервые в климатологии основные результаты и последствия работы парникового эффекта представлены в виде функций мощности потенциала радиационного усиления. Впервые выполнен анализ и расчет всех энергетических составляющих парникового эффекта и процесса глобального потепления в XXI веке для наиболее вероятного умеренного сценария декарбонизации мировой энергетики.

Ключевые слова: парниковый эффект, потенциал радиационного усиления, умеренный сценарий декарбонизации энергетики, глобальное потепление, радиационно-равновесное состояние

В XXI веке климатологи всего мира пришли к заключению, что наблюдаемое глобальное изменение климата – это следствие парникового эффекта (ПЭ), усиливающегося за счет роста содержания в атмосфере антропогенных парниковых газов (ПГ) [3, 13]. До 1900 г. объемные концентрации трех ПГ в атмосфере были следующими: CO_2 – 280 ppm (млн^{-1}); CH_4 – 0,7 ppm; N_2O – 0,26 ppm. Если использовать общепринятые коэффициенты конверсии (GWP) для метана 28 и для закиси азота 260, то общее начальное содержание трех основных ПГ в доиндустриальной атмосфере Земли в CO_2 -эквиваленте составляло 370 ppm-eq ($2,84 \times 10^{12}$ т-eq). Привнесение в атмосферу антропогенных ПГ сместило веками установившееся равновесие теплового взаимодействия Мирового океана, суши, атмосферы и Космоса. К 2020 г. за время активной хозяйственной деятельности выбросы и концентрация антропогенных парниковых газов (АПГ) в атмосфере увеличилась до современных экстремальных значений, приведенных в табл. 1 [5].

Original article

THE PHYSICAL ESSENCE OF THE GREENHOUSE EFFECT AND ITS WORK ON CLIMATE WARMING IN THE 21ST CENTURY AND BEYOND

V.V. TETELMININSTITUTE OF ECOLOGY OF THE PATRICE
LUMUMBA PEOPLES' FRIENDSHIP UNIVERSITY
OF RUSSIA (RUDN UNIVERSITY), MOSCOW,
RUSSIAN FEDERATION

A detailed scientific definition of the greenhouse effect as a flow of energy of a certain power is given. The concept of “radiation amplification potential” is introduced as an energy equivalent of the greenhouse effect, presented as a function of the content of anthropogenic greenhouse gases in the atmosphere. For the first time in climatology, the main results and consequences of the greenhouse effect are presented in the form of power functions of the radiative amplification potential. The calculation and analysis of all energy components of the greenhouse effect and the process of global warming in the 21st century for the most likely Scenario of moderate decarbonization of the global energy system have been performed.

Key words: greenhouse effect, radiation amplification potential, Scenario of moderate decarbonization of the energy system, global warming, radiation-equilibrium conditions

Солнечная энергия переносится в космическом пространстве как электромагнитное излучение, которое достигает Земли в различных формах: ультрафиолетовое и рентгеновское излучение, радиоволны и наиболее известные формы – световая и

ТАБЛИЦА 1.

Показатели роста выбросов антропогенных парниковых газов за указанные периоды и накопленной в атмосфере их объемной концентрации

Период, годы	CO ₂ ppm	CH ₄ ppm-eq	N ₂ O ppm-eq	Суммарное значение, ppm-eq
1990–2000	14,28	1,75	1,86	17,89
2000–2010	20,0	0,7	2,07	22,77
2010–2020	24,75	1,96	2,6	29,54
1850–2020	132	33	17	182

тепловая энергия. Энергия электромагнитного излучения описывается уравнением Планка: $E = hc/\lambda$, где λ (м) – длина волны; $h = 6,6 \times 10^{-34}$ Дж×с – постоянная Планка; c – скорость света в вакууме [2]. Среднее значение солнечной энергии, достигающей верхней части атмосферы, составляет около 1368 Вт/м², из которой земной поверхностью поглощается около 70%, остальные 30% отражаются обратно в Космос. На отражательную способность (альбедо) влияют облака, пыль, дым, вулканический пепел, тип поверхности. Например, океаны в зависимости от географической широты отражают от 6 до 20% лучистой энергии, лесная поверхность от 10 до 20%, пустыни – до 40%, снег – до 80% лучистой энергии. С учетом глобального альбедо средняя общая инсоляция составляет $J = 240$ Вт/м², из которой меньшая часть поглощается атмосферой, а большая часть поглощается Мировым океаном, сушей и биосферой [2].

В стационарном состоянии Земля как космическое тело отдает в виде теплового излучения в окружающее пространство столько энергии, сколько получает. Этот баланс между интенсивностью излучения с единицы земной поверхности J и температурой поверхности T определяется законом Стефана-Больцмана [1, 5]:

$$J = \sigma T^4, \quad (1)$$

где $\sigma = 5,67 \times 10^{-8}$ (Вт/м²×К⁴) – постоянная Стефана-Больцмана.

Из (1) при инсоляции $J = 240$ Вт/м² получаем среднее значение температуры земной поверхности $T = 255$ градусов по шкале Кельвина (–18°C). Реальная средняя температура поверхности Земли в доиндустриальный период составляла 288 град по шкале Кельвина (+15°C). Причина расхождения температуры в 33° является следствием работы ПЭ. Вследствие непрозрачности атмосферы для большей части инфракрасного излучения во внешнее пространство напрямую попадает лишь часть теплового излучения Земли. Общий радиационный баланс поддерживается благодаря тепловому излучению самой атмосферы. Из (1) можно найти интенсивность (мощность) части теплового излучения Земли, ко-

торая перехватывалась в доиндустриальный период парниковыми газами: $J_R = 150$ Вт/м². Именно эта мощность увеличила среднюю глобальную температуру нашей планеты примерно на 33 градуса и поддерживала ее на протяжении всего доиндустриального периода.

ПГ обеспечивают непрозрачность атмосферы для тепловых фотонов определенных длин волн, при этом полосы поглощения фотонов определяются массами входящих в состав молекулы атомов и прочностью ковалентных связей между атомами. Основные ПГ имеют следующие сильные полосы поглощения: водяной пар (1,35–1,45; 2,5–3,4; 5,5–7,5 мкм), диоксид углерода (4,5–5,0; 14–18 мкм), метан (7,5–8,0 мкм) и закись азота (3,0–5,0; 7,5–9,0 мкм). Средняя концентрация водяного пара в атмосфере составляет около 0,4%, ее рост ограничен сверху, потому что относительная влажность пара не может быть больше единицы. Хозяйственная деятельность человека не увеличивает содержание водяного пара в атмосфере, поэтому в расчетах глобального потепления он не приводится среди парниковых газов.

В настоящее время список ПГ по воздействию на глобальное потепление возглавляет диоксид углерода. До 1900 г. биосфера производила и успешно абсорбировала до 200 млрд т/год диоксида углерода, поддерживая его содержание на уровне 280 ppm-eq. В 2020 г. за счет сжигания ископаемого топлива концентрация CO₂ в атмосфере увеличилась до 415 ppm-eq, чему соответствует содержание в единичном столбе атмосферы 9×10^{25} молекул этого газа. Каждая из этих молекул способна перехватывать определенную долю отраженной Землей радиации, формируя тем самым ПЭ. Поглощение одного фотона теплового излучения молекулой вызывает в ней колебания атомов. Например, в соответствии с уравнением Планка поглощаемые молекулами CO₂ тепловые фотоны с длиной волны $\lambda = 4,26$ мкм обладают энергией $4,65 \cdot 10^{-20}$ Дж и вызывают вибрационное асимметричное растяжение молекулы, а фотоны с большей длиной волны 14,29 мкм обладают энергией $1,39 \times 10^{-20}$ Дж и вызывают изгибные колебания этой молекулы [5]. Приземные молекулы CO₂, как и других ПГ, получают от излучения Земли свою пор-

цию тепловой энергии, уходят вверх, а на их место в процессе конвекции спускаются и подзаряжаются тепловой энергией новые молекулы ПГ.

Антропогенный ПЭ, как причина глобального изменения климата, до сих пор является предметом широкого общественного обсуждения и политических дискуссий. ПЭ дается множество определений, поэтому его концепция нуждается в уточнении. ПЭ – это сложное нелинейное спектральное явление, которому невозможно дать общедоступное и в то же время строгое научное определение. Некоторые специалисты определяют ПЭ как разность между текущей температурой земной поверхности и температурой, соответствующей идущему от «без-атмосферной» Земли инфракрасному излучению. Однако температура не является собственно ПЭ, а является всего лишь одним из многих следствий его работы.

В Пятом оценочном докладе МГЭИК дается такое лаконичное определение ПЭ: «Инфракрасный радиационный эффект всех составляющих атмосферы, поглощающих земное инфракрасное излучение» [3]. Существует также следующее определение ПЭ: «Радиационный эффект наличия в атмосфере парниковых веществ, выражающийся при прочих равных условиях в повышении температуры в приповерхностном слое по сравнению с ситуацией их отсутствия в атмосфере» [6]. Более четким является определение, содержащееся в Большой советской энциклопедии: «Парниковый эффект – это способность атмосферы задерживать часть теплового излучения поверхности Земли, что приводит к накоплению тепла в климатической системе Земли». Содержащиеся в приведенных определениях словосочетания «радиационный эффект» и «тепловое излучение» представляют собой поле фотонов, а потому имеют конкретное энергетическое содержание и соответствующую размерность, о чем в приведенных определениях не говорится.

Как отмечено выше, концепция ПЭ ввиду неполноты существующих формулировок нуждается в развитии. Упомянутое явление «инфракрасный радиационный эффект» – это и есть основа ПЭ, который формируется ПГ и появляется в атмосфере одновременно с появлением в ней ПГ. Попавшие в атмосферу молекулы антропогенных ПГ в соответствии с законами молекулярной физики поглощают часть отраженного земной поверхностью излучения в дальнем инфракрасном диапазоне электромагнитных волн ($\lambda = 3,0\text{--}70\text{ мкм}$).

В связи со сказанным ПЭ можно дать следующее самое общее определение: «Парниковый эффект – это поток поступающей в атмосферу тепловой энергии за счет перехвата парниковыми газами части теплового излучения Земли». Такое определение требует своего развития, так как ПЭ как физическое

явление имеет четкую количественную характеристику с размерностью мощности (интенсивности) радиационного излучения.

ПЭ по своей энергетической сути и результатам воздействия на планету может быть количественно определен как «потенциал радиационного усиления температуры». Энергетическое содержание потенциала радиационного усиления в составе ПЭ удобно выражать в единицах мощности J_R (Вт/м^2), заключенной в столбе атмосферы с основанием 1 м^2 [12]. В прикладных климатических расчетах удобно использовать термин «потенциал радиационного усиления» как энергетический эквивалент ПЭ, который формирует процесс глобального потепления и многие другие наблюдаемые события в климатической системе (КС) Земли.

С учетом изложенного ПЭ как физическому явлению в климатической системе (КС) Земли можно дать следующее развернутое научное определение. «Парниковый эффект – это поток поступающей в атмосферу тепловой энергии за счет перехвата выбросами парниковых газов части теплового излучения Земли, мощность J_R (Вт/м^2) которого определяет потенциал радиационного усиления глобальной температуры на некоторую максимальную величину T_{MAX} и соответствующего усиления собственного теплового излучения Земли на величину перехваченной парниковыми газами мощности излучения J_R (Вт/м^2), в результате чего выведенная из термодинамического равновесия климатическая система Земли возвращается в исходное радиационно-равновесное состояние.

Потенциал радиационного усиления J_R (Вт/м^2) определяет количественную характеристику ПЭ как потока идущей от Земли и перехватываемой ПГ части излучаемой тепловой энергии. Потенциал радиационного усиления как энергетический эквивалент ПЭ присутствует в атмосфере в виде явного тепла, которое постепенно повышает среднюю глобальную приповерхностную температуру атмосферы, нагревает воды Мирового океана, плавит материковые и морские льды.

Антропогенный ПЭ в его многочисленных проявлениях может быть представлен рядом функций. Основной функциональной зависимостью между двумя упомянутыми в определении ПЭ физическими параметрами J_R и T_{MAX} является уравнение Стефана-Больцмана [1, 5]:

$$J_R = \sigma \times (288 + T_{\text{MAX}})^4 - (240 + 150) \text{ Вт/м}^2, \quad (2)$$

где J_R (Вт/м^2) – потенциал радиационного усиления, формируемый совокупным спектром поглощения содержащихся в атмосфере антропогенных ПГ; $\sigma = 5,67 \times 10^{-8}$ ($\text{Вт/м}^2 \times \text{K}^4$) – постоянная Стефана-Больцмана; 240 Вт/м^2 – получаемая Землей солнеч-

ная радиация; $150 \text{ (Вт/м}^2\text{)}$ – потенциал радиационного усиления, сформированный всеми ПГ, которые присутствовали в атмосфере в доиндустриальный период; 288K – средняя глобальная температура приземного слоя атмосферы в доиндустриальный период в градусах Кельвина; $T_{\text{MAX}}^\circ\text{C}$ – средняя максимальная температура глобального потепления относительно температуры доиндустриального периода 288 градусов по шкале Кельвина (15°C), по достижении которой климатическая система (КС) Земли приходит в радиационно-равновесное состояние.

Входящая в (2) максимальная температура глобального потепления, определяющая результативность работы антропогенного ПЭ, определяется следующей функцией [6, 7]:

$$T_{\text{MAX}} = (20,9 \times 10^{-3} \times K - 12,3 \times 10^{-6} \times K^2)^\circ\text{C}, \quad (3)$$

где K (ppm-eq) – объемное содержание в атмосфере антропогенных ПГ; T_{MAX} – средняя максимальная глобальная температура приземного слоя атмосферы, сформированная потенциалом радиационного усиления J_R , отвечающая радиационно-равновесному состоянию КС Земли при абсолютной температуре $(288 + T_{\text{MAX}})$.

На рис. 1 приводятся графики зависимости максимальной температуры глобального потепления T_{MAX} и потенциала радиационного усиления J_R от концентрации K антропогенных ПГ в атмосфере. Присутствующий в атмосфере потенциал радиационного усиления J_R (Вт/м^2), является основным фактором, определяющим и характеризующим антропогенный ПЭ как физическое явление (рис. 1А). Потенциал радиационного усиления J_R присутствует в атмосфере в виде явного тепла, которое постепенно нагревает все составляющие КС Земли и увеличивает среднюю глобальную приземную температуру до значения T_{MAX} , соответствующего радиационно-равновесному состоянию Земли. Из функции (3) следует, что при концентрации $K = 850$ ppm-eq наступит парниковое насыщение земной атмосферы, при которой температура глобального потепления достигнет своего максимального значения $T_{\text{MAX}} = 8,9^\circ\text{C}$ (рис. 1Б).

Точка 1 рис. 1 соответствует потенциалу радиационного усиления $J_R = 20 \text{ Вт/м}^2$ и температуре $T_{\text{MAX}} = 3,7^\circ\text{C}$, которые соответствуют современному значению концентрации антропогенных ПГ в атмосфере. Точка 2 определяет соответствующие параметры J_R и T_{MAX} при концентрации антропогенных ПГ в атмосфере $K = 350$ ppm-eq, которая установится в 2100 г. при умеренном сценарии декарбонизации с темпом снижения выбросов ПГ $\Delta K = 2 \text{ ppm-eq/10 лет}$. Точка 3 соответствует состоянию насыщения атмосферы антропогенными

ПГ при температуре $T_{\text{MAX}} = 8,9^\circ\text{C}$ и максимально возможному проявлению антропогенного ПЭ на Земле.

Земля отражает получаемую коротковолновую солнечную радиацию в виде длинноволнового теплового излучения мощностью 240 Вт/м^2 , из которых около 40 Вт/м^2 свободно проходят и будут проходить через «окно прозрачности» атмосферы в пределах длин волн от $7,5$ до 13 мкм при любых концентрациях трех антропогенных ПГ [2]. Из оставшихся 200 Вт/м^2 около 150 Вт/м^2 перехватывалось всеми ПГ еще в доиндустриальный период. Таким образом, на долю антропогенных ПГ остается ресурс мощности около $J_R = 50 \text{ Вт/м}^2$, который они могут реализовать через потенциал радиационного усиления. Подстановка этого значения потенциала в уравнение Стефана-Больцмана (2) дает максимальную температуру глобального потепления $T_{\text{MAX}} = 8,7^\circ\text{C}$, которую могут обеспечить антропогенные ПГ и которая хорошо ложится на точку 3 графика рис. 1. Таким образом, параболическую функцию максимального глобального потепления (3) можно уверенно использовать в прогнозных расчетах глобального потепления.

Расчет с использованием функции (3) приводит к следующему важному выводу: чтобы ограничить рост средней глобальной температуры значением $+2^\circ\text{C}$, как этого требует Парижское соглашение, че-

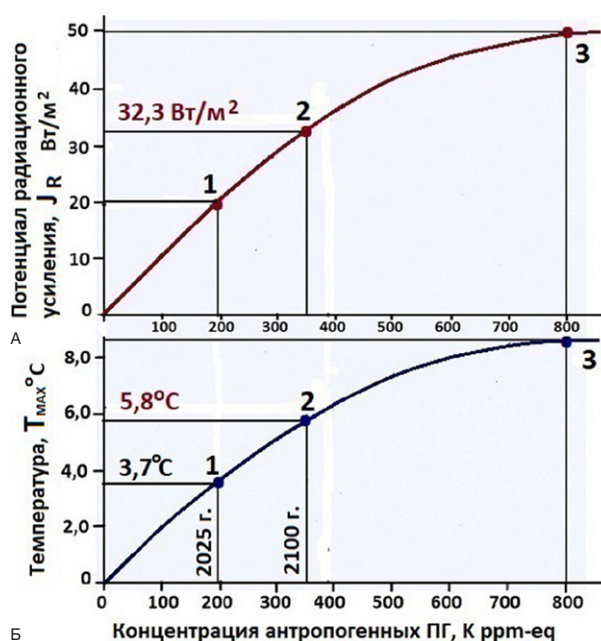


Рис. 1.

Графики зависимости потенциала радиационного усиления J_R (а) и максимальной температуры глобального потепления T_{MAX} (б) от концентрации антропогенных ПГ в атмосфере

ловечество должно было прекратить выбросы ПГ в далеком 1990 г., когда их концентрация в атмосфере составляла примерно 100 ppm-eq. Этот расчет подтверждает справедливость формулировки п. 17 Климатической доктрины РФ, в котором также отмечается, что «удержать рост глобальной температуры ниже +2°C по сравнению с 1900 г. не удастся». Действительно, в настоящее время при вдвое большем содержании в атмосфере (около 190 ppm-eq) антропогенных ПГ ставить перед человечеством такую цель бессмысленно.

Следует отметить, что декарбонизация энергетики безусловно необходима, но не только ради смягчения отдаленных опасных последствий изменения климата за пределами XXI века, а еще и потому, что человечество должно готовиться к грядущей истощаемости ископаемого топлива, которое придется замещать альтернативными источниками энергии. Можно с уверенностью сказать, что история с быстрой декарбонизацией и быстрым энергопереходом по рецептам ПС закончится глубоким разочарованием. Не скомпенсированные биосферой выбросы ПГ будут существовать до тех пор, пока человечество будет производить и потреблять энергию в больших количествах [10]. При современных технологических возможностях человечеству не удастся обеспечить двойное снижение выбросов ПГ к 2050 г., а углеродную нейтральность энергетики с нулевыми выбросами не удастся обеспечить даже к 2100 г.

Ст. 13 Климатической доктрины РФ говорит о необходимости получения достоверных сведений об ожидаемых последствиях глобального изменения климата для своевременного реагирования на провоцируемые им угрозы для цивилизации. Эффективность и независимость климатической политики РФ должна быть обеспечена наличием собственного прогностического алгоритма расчета климатического будущего и его основных последствий. Такой алгоритм, основанный на анализе накопленных мировым научным сообществом данных мониторинга глобального потепления, в России разработан [9]. Прогностический алгоритм включает в себя ряд эмпирических функций, в которых в качестве граничных условий и независимой переменной является концентрация антропогенных ПГ в атмосфере и формируемый ими потенциал радиационного усиления. Предлагаемый способ расчета не имеет зарубежных аналогов и позволяет рассчитывать параметры глобального потепления и его основных последствий при всех возможных сценариях декарбонизации мировой экономики.

Наиболее приемлемым для человечества с технической и социально-экономической точек зрения вариантом действий по смягчению последствий глобального изменения климата является умеренный

сценарий декарбонизации хозяйственной деятельности [7]. При умеренном сценарии декарбонизации выбросы в атмосферу равномерно снижаются на $\Delta K = 2 \text{ ppm-eq/10 лет}$ с современного уровня **29 ppm-eq/10 лет до 13 ppm-eq/10 лет, в результате чего в атмосфере к 2100 г. накопится не более 350 ppm-eq антропогенных ПГ.** В дальнейшем этот сценарий используется в качестве примера расчета наиболее вероятного из всех возможных вариантов климатического будущего цивилизации.

Приведем ряд расчетных функций, определяющих основные энергетические параметры ПЭ, и остановимся на анализе процессов потепления, которые будут происходить в XXI веке. Из графика рис. 1а следует, что в интервале увеличивающихся концентраций антропогенных ПГ от 190 ppm-eq до 350 ppm-eq мощность J_R потенциала радиационного усиления (антропогенного парникового эффекта) увеличивается от 20 Вт/м^2 в 2025 г. до 32 Вт/м^2 в 2100 г. по линейному закону:

$$J_R = 8,3 \times 10^{-2} \times K + 3,8 \text{ (Вт/м}^2\text{)}. \quad (4)$$

Эту функцию можно назвать «формулой антропогенного ПЭ», которая через потенциал радиационного усиления определяет энергетику ПЭ, формируемого выбросами антропогенных ПГ в процессе хозяйственной деятельности человечества в XXI веке.

Чем больше излучения J_R , идущего от поверхности Земли, поглощается ПГ атмосферы, тем выше должна становиться температура земной поверхности $T_{ЗП}$ и собственное тепловое излучение Земли $J_{ЗП}$, чтобы излучать больше тепловой энергии и тем самым восстановить нарушенное радиационное равновесие КС Земли. Потенциал радиационного усиления (он же ПЭ) J_R всегда приводит к повышению глобальной температуры до некоторого максимального значения T_{MAX} , по достижении которого ПЭ полностью исчерпает свой «нагревательный» ресурс.

Антропогенные ПГ имеют свои индивидуальные спектры поглощения и не различают происхождения тепловых фотонов, которые они перехватывают. Они одинаково охотно поглощают как полученное от Солнца отраженное тепловое излучение Земли J_{OT} так и собственное тепловое излучение нагревающейся земной поверхности $J_{ЗП}$. Потенциал радиационного усиления представляет собой сумму двух радиационных потоков. В процессе работы ПЭ непрерывно меняется структура потенциала радиационного усиления J_R : насколько уменьшается доля отраженного излучения J_{OT} , настолько увеличивается доля собственного излучения земной поверхности $J_{ЗП}$ в составе потенциала J_R . ПЭ, как энергетический процесс, начинается с перехвата ПГ отраженного

земной поверхностью излучения, а завершается перехватом собственного теплового излучения Земли, нагретой до температуры $T_{\max}$ (2). В процессе глобального потепления соблюдается следующее условие:

$$J_R = (J_{\text{OT}} + J_{\text{ЗП}}) \text{ Вт/м}^2. \quad (5)$$

Функция (5) отражает следующее свойство ПЭ: при постоянном содержании ПГ в атмосфере ($K = \text{const}$) процесс глобального потепления определяет доля нереализованного отраженного излучения $J_{\text{OT}} = (J_R - J_{\text{ЗП}})$ в составе потенциала радиационного усиления J_R , которая постепенно расходуется на нагревание Мирового океана и других составляющих КС Земли. По мере повышения средней глобальной температуры отраженное «чужое» излучение J_{OT} в составе J_R будет стремиться к нулю, а собственное тепловое излучение Земли $J_{\text{ЗП}}$ будет увеличиваться до наступления равенства $J_{\text{ЗП}} = J_R$.

Накопленные в период с 1970 по 2020 гг. натурные данные свидетельствуют, что интенсивность поглощения парниковой тепловой энергии единицей площади земной поверхности (нетто-поглощение) I_0 зависит от содержания ПГ в атмосфере [7, 8]. Текущее значение нетто-поглощения может быть также представлено как линейная функция от нереализованного потенциала радиационного усиления (табл. 2, рис. 2):

$$I_0 = 0,11(J_R - J_{\text{ЗП}} - 3,5) \text{ Вт/м}^2, \quad (6)$$

где разность $J_{\text{OT}} = (J_R - J_{\text{ЗП}})$ представляет собой не реализованную часть мощности потенциала радиационного усиления, сформированную отраженным тепловым излучением Земли.

В табл. 2 приводятся натурные и расчетные данные значений энергетических параметров антропогенного ПЭ при растущих концентрациях антропогенных ПГ в атмосфере до 2100 г. при умеренном сценарии декарбонизации мировой энергетики.

На рис. 2 приводится зависимость интенсивности поглощения I_0 парникового тепла КС Земли от не реализованной части потенциала радиационного усиления J_{OT} при умеренном сценарии декарбонизации мировой энергетики. В период с 1970 по 2030 гг. эта зависимость является линейной и описывается функцией (1).

Интенсивность поглощения тепловой энергии всей земной поверхностью от мощности потенциала парникового усиления (ПЭ) J_R определяется следующей линейной функцией [8]:

$$\Delta Q = 4,95 \times 10^{15} \times (J_R - J_{\text{ЗП}} - 3,5) \text{ кВт} \cdot \text{ч/10 лет} \quad (7)$$

Функции (6) и (7) поглощения парниковой тепловой энергии КС Земли получены на основании натурных данных, поэтому учитывают все виды радиационной и нерадиационной передачи парниковой тепловой энергии Мировому океану, суше и атмосфере [8, 9]. При постоянном значении концентрации $K = \text{const}$ и соответственно при постоянном значении мощности ПЭ $J_R = \text{const}$ мощность собственного теплового излучения Земли $J_{\text{ЗП}}$ будет увеличиваться, поэтому интенсивности поглощения тепловой энергии I_0 и ΔQ будут по мере приближения к радиационно-равновесному состоянию уменьшаться до нулевых значений (рис. 5, 6).

Натурные данные отмечают важную особенность теплообмена в КС Земли в условиях работающего антропогенного ПЭ. При относительно больших значениях мощности потенциала радиационного усиления $J_R \geq 9,2 \text{ Вт/м}^2$ (или $i \geq 0,4 \text{ Вт/м}^2$, или $\Delta Q \geq 18 \times 10^{15} \text{ кВт} \cdot \text{ч/10 лет}$) глобальная температура получает постоянное приращение $\Delta T = 0,175 \text{ град/10 лет}$ [9]:

$$\Delta T = 0,175 \text{ град/10 лет} \\ \text{при } \Delta Q \geq 18 \cdot 10^{15} \text{ кВт} \cdot \text{ч/10 лет} (i \geq 0,4 \text{ Вт/м}^2). \quad (8)$$

При постоянном значении потенциала радиационного усиления $J_R = \text{const}$ глобальная температура приземного слоя атмосферы будет расти от некоторого начального значения до максимальной температуры $T_{\max}$, отвечающей радиационно-равновесному состоянию КС Земли. В соответствии с ростом глобальной температуры будет также расти собственное тепловое излучение Земли от некоторого начального значения до максимального значения J_R . Каждому приращению глобальной температуры на $\Delta T = 0,175 \text{ град/10 лет}$ соответствует постоянное приращение собственного теплового излучения Земли как абсолютно черного тела на $\Delta J_{\text{ЗП}} = 0,955 \text{ Вт/м}^2$ за 10 лет.

В табл. 3 и на рис. 3 приводятся расчетные данные о средней чувствительности энергетических параметров ПЭ к изменению концентрации антропогенных ПГ в атмосфере при умеренном сценарии декарбонизации энергетики. Например, в XXI веке среднее значение «температурной чувствительности» равно $\Delta T_{\max} = 0,015 \text{ град/ppm-eq}$, а значение чувствительности потенциала радиационного усиления равно $\Delta J_R = 0,08 \text{ (Вт/м}^2\text{)/ppm-eq}$. Увеличение мощности парникового эффекта от роста выбросов ПГ можно представить в виде эквивалента уменьшения расстояния от Земли до Солнца (табл. 3). Увеличение концентрации ПГ в атмосфере на $\Delta K = 1 \text{ ppm-eq}$ по обогревающему воздействию на планету эквивалентно приближению Земли к Солнцу на $\Delta R = 11 \times 10^3 \text{ км/ppm-eq}$ [5].

ТАБЛИЦА 2.

Средние значения энергетических параметров антропогенного парникового эффекта при росте концентрации антропогенных парниковых газов в атмосфере до 2100 г.

Годы	K ppm-eq	I_0 Вт/м ²	ТЗП °C	$J_{зп}$ Вт/м ²	TMAX °C	J_R Вт/м ²	J_{OT} Вт/м ²
1970–1980	80	0,31	0,425	2,07	1,6	8,82	6,75
1980–1990	101	0,44	0,588	3,29	1,99	10,97	7,68
1990–2000	121	0,56	0,762	4,21	2,35	13,0	8,79
2000–2010	141	0,68	0,938	5,2	2,71	14,97	9,77
2010–2020	168	0,85	1,102	6,07	3,17	17,54	11,47
2020–2030	197	1,02	1,265	6,95	3,64	20,18	13,23
2040–2050	250	1,30	1,61	8,88	4,46	24,50	15,63
2090–2100	350	1,63	2,50	13,8	5,81	32,52	18,70
2140–2150	350	1,10	3,4	18,82	5,81	32,52	13,7
2200–2210	350	0,41	4,48	24,9	5,81	32,52	7,60

Обозначения в таблице 2 имеют следующие значения:

K ppm-eq – среднее значение объемной концентрации антропогенных ПГ в атмосфере в CO₂ – эквиваленте в расчетном 10-летии.

I_0 Вт/м² – интенсивность поглощения парниковой тепловой энергии (нетто-поглощение) единицей площади земной поверхности.

ТЗП °C – текущее значение средней глобальной температуры приземного слоя атмосферы.

$J_{зп}$ Вт/м² – собственное тепловое излучение нагреваемой земной поверхности (реализованная часть ПРУ).

T_{MAX} °C – температура максимального глобального потепления.

J_R Вт/м² – потенциал радиационного усиления, сформированный антропогенными ПГ.

J_{OT} Вт/м² – нереализованная часть потенциала радиационного усиления.

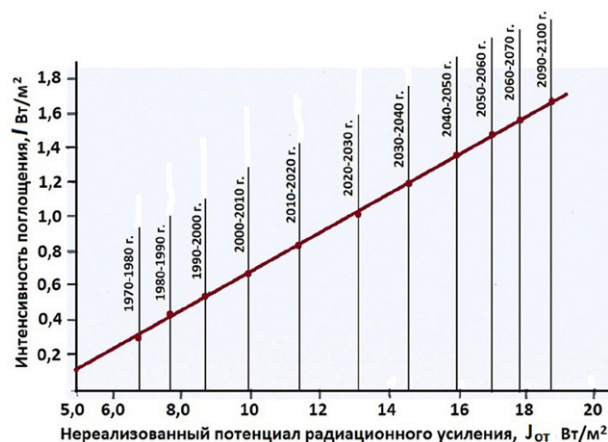


РИС. 2.

Зависимость интенсивности поглощения парникового тепла от нереализованной части потенциала радиационного усиления J_{OT} при умеренном сценарии декарбонизации мировой энергетики

В период с 2020 по 2030 гг. человечеством будет выброшено в атмосферу не менее 29 ppm-eq ПГ (табл. 1). За счет выбросов в этот период мощность ПЭ усилится на $\Delta J_R = 2,23$ Вт/м², а температура максимального глобального потепления в будущем на $\Delta T_{MAX} = 0,435$ °C. Выбросы ПГ в этот период делают климат на Земле жарче настолько, как если бы Земля приблизилась к Солнцу на 310 тыс. км.

Приведенный ряд эмпирических функций (2–8) позволяет выполнять прогнозные расчеты глобального потепления в XXI веке и его последствий для всех возможных сценариев декарбонизации мировой хозяйственной деятельности человечества. На рисунках 4, 5 и 6 приводятся графические результаты комплексного расчета всех энергетических составляющих антропогенного ПЭ и наиболее вероятного климатического будущего цивилизации в XXI веке и за его пределами. Расчет выполнен для умеренного сценария декарбонизации, при котором концентрация антропогенных ПГ в атмосфере до 2100 г. растет в соответствии с графиком 1 рис. 4, а после 2100 г. предположительно обеспечивается углеродная нейтральность мировой хозяйственной деятельности человечества.

При умеренном сценарии декарбонизации (график 1 рис. 4) к 2100 г. в атмосфере накопится $K = 350$ ppm-eq антропогенных ПГ, которые сформируют потенциал радиационного усиления $J_R = 32,5$ Вт/м² (график 1 рис. 5) и обеспечат в будущем максимальную температуру глобального потепления $T_{MAX} = 5,8$ °C (график 2 рис. 4).

Если предположить, что человечеству удастся после 2100 г. обеспечить углеродную нейтральность своей деятельности, то процесс глобального потепления будет продолжаться до 2320 г. При этом нетто-поглощение парниковой тепловой энергии будет увеличиваться до значения $I_0 = 1,63$ Вт/м² в 2100 г. (график 2 рис. 5), затем будет уменьшаться до

ТАБЛИЦА 3.

Чувствительность энергетических параметров парникового эффекта к изменению концентрации антропогенных ПГ в XXI веке при умеренном сценарии декарбонизации энергетики

Энергетический параметр парникового эффекта, формируемого антропогенными ПГ	Среднее значение параметра в период 2020-2030 гг. (K = 200 ppm-eq)	Удельное приращение чувствительности параметра, $\Delta/\text{ppm-eq}$
Потенциал радиационного усиления (явное тепло), J_R (Вт/м ²)	20,8 Вт/м ²	+0,08 (Вт/м ² ×ppm-eq)
Температура максимального глобального потепления, T_{MAX} (°C)	3,7°C	+0,015 (°C/ppm-eq)
Интенсивность накопления тепловой энергии всей земной поверхностью, ΔQ кВт×ч/10 лет	$47,2 \times 10^{15}$ кВт×ч/10 лет	$+0,276 \times 10^{15}$ (кВт×ч/10 лет×ppm-eq)
Нетто-поглощение тепловой энергии Землей, I_0 Вт/м ²	1,05 Вт/м ²	+0,006 (Вт/м ² ×ppm-eq)
Эквивалент уменьшения расстояния от Земли до Солнца за счет усиления ПЭ, ΔR км	$114,3 \times 10^6$ км	$-11 \cdot 10^3$ (км/ppm-eq)

наступления в 2320 г. радиационно-равновесного состояния системы «Земля–Космос».

Соответствующим образом будет изменяться интенсивность поглощения парниковой тепловой энергии всей земной поверхностью (график 1 рис. 6): увеличиваться до $\Delta Q = 74 \times 10^{15}$ (кВт×ч/10 лет), а затем уменьшаться до нулевого значения в 2320 г. Поглощение парниковой тепловой энергии приведет к накоплению к 2100 г. в Мировом океане, суше и атмосфере тепловой энергии (график 2 рис. 6) около 720×10^{15} кВт×ч. За счет теплового расширения воды и таяния материковых льдов уровень Мирового океана к 2100 г. поднимется примерно на 800 мм [13].

По мере накопления тепловой энергии средняя глобальная температура приземного слоя атмосферы к 2100 г. повысится до 2,6°C (график 3 рис. 4) и далее до максимального значения 5,8°C в 2320 г. По мере роста глобальной температуры будет расти собственное тепловое излучение Земли (график 3 рис. 5): в 2100 г. нагревающаяся Земля будет излучать собственный тепловой поток мощностью $J_{\text{ЗП}} = 13,8$ Вт/м², а в 2320 г. ее собственное излучение увеличится до значения мощности потенциала радиационного усиления $J_R = 32,5$ Вт/м². В этот момент мощность потенциала радиационного усиления (ПЭ) будет полностью реализована, и, как следствие, наступит радиационно-равновесное состояние климатической системы Земли.

На рис. 7 приводится примерная схема радиационного баланса Земли в 2100 г. В центре рисунка приводится текущее значение средней глобальной температуры приземного слоя атмосферы. На протяжении XXI века Земля будет нагреваться за счет ПЭ и принимать больше тепловой энергии, чем возвращать в Космос. В 2100 г. нетто-поглощение тепла Землей увеличится до максимального значения 1,60 Вт/м², а Земля в этом году будет возвращать в космическое пространство всего 238,4 Вт/м² тепло-

	Приращение на 1 ppm-eq	Значение в 2100 г.
ΔK	$\Delta J_R = 0,08 \text{ Вт/м}^2 \Rightarrow J_R = 33 \text{ Вт/м}^2$	
	$\Delta I_0 = 0,006 \text{ Вт/м}^2 \Rightarrow I_0 = 1,6 \text{ Вт/м}^2$	
	$\Delta Q = 0,28 \cdot 10^{15} \text{ кВт-ч} \Rightarrow Q = 758 \cdot 10^{15} \text{ кВт-ч}$	
	$\Delta T_{\text{MAX}} = 0,015^\circ\text{C} \Rightarrow T_{\text{MAX}} = 5,8^\circ\text{C}$	
	$\Delta R = 10,7 \text{ тыс. км} \Rightarrow R = 112 \text{ млн км}$	

РИС. 3.

Влияние роста концентрации ПГ в атмосфере на $\Delta K = 1 \text{ ppm-eq}$ на мощность парникового эффекта и ряда последствий его работы в XXI веке при умеренном сценарии декарбонизации мировой энергетики, а также накопленные на Земле к 2100 г. значения энергетических параметров глобального потепления

вой энергии из получаемой от Солнца 240 Вт/м² лучистой энергии. При условии обеспечения после 2100 г. углеродной нейтральности хозяйственной деятельности процесс глобального потепления будет продолжаться до достижения в 2320 г. радиационно-равновесного состояния, при котором Земля будет возвращать в космическое пространство всю получаемую от Солнца тепловую энергию [5].

ВЫВОДЫ

Впервые дается развернутое научное определение ПЭ как присутствующего в атмосфере в виде явного тепла потока радиации, являющегося частью теплового излучения Земли, перехваченного содержащимися в атмосфере ПГ. Энергетической характеристикой ПЭ является «потенциал радиационного усиления» с размерностью единичной мощности (интенсивности) теплового излучения

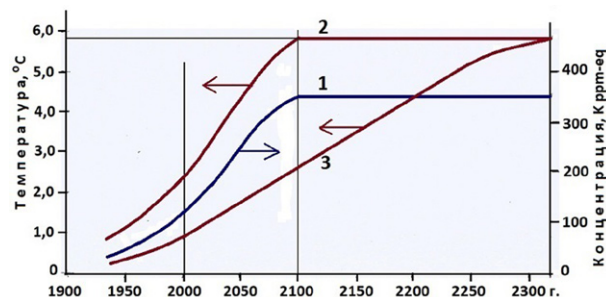


РИС. 4.

Графики роста при умеренном сценарии декарбонизации энергетики: 1 – концентрация антропогенных ПГ в атмосфере; 2 – соответствующая максимальная температура глобального потепления; 3 – средняя глобальная температура приземного слоя атмосферы

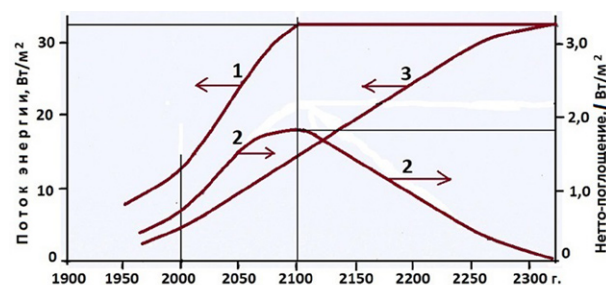


РИС. 5.

Графики изменения при умеренном сценарии декарбонизации энергетики: 1 – потенциал радиационного усиления температуры (мощность парникового эффекта) J_R ; 2 – нетто-поглощение парниковой тепловой энергии; 3 – собственное тепловое излучение нагревающегося приземного слоя атмосферы $J_{ЗП}$

J_R (Вт/м²). Например, в 2020 г. единичная мощность сформированного антропогенными ПГ потенциала радиационного усиления, а следовательно и ПЭ составляла 18,8 Вт/м².

Уточненная концепция ПЭ и полученные на ее основе эмпирические функции (2–8) позволяют выполнять прогнозные расчеты глобального потепления при любых сценариях декарбонизации мировой экономики. Разработанный способ аналитического расчета глобального потепления не имеет зарубежных аналогов. Разработанный алгоритм расчета обеспечивает достижение одной из целей «Федеральной научно-технической программы в области экологического развития РФ и климатических изменений на 2021–2030 годы», заключающейся в преодолении «отставания от мирового уровня в части прогнозирования состояния окружающей среды и климата», а также «в обеспечении надежности климатических прогнозов».

В современных условиях межледникового перио-

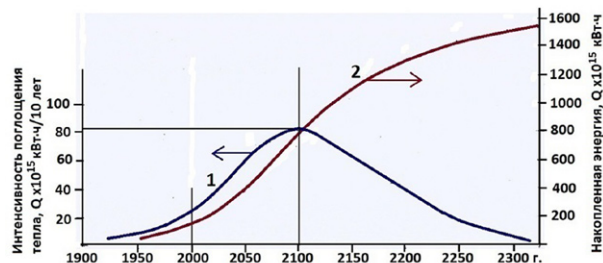


РИС. 6.

Графики изменения при умеренном сценарии декарбонизации энергетики: 1 – интенсивность поглощения парниковой тепловой энергии всей земной поверхностью Земли; 2 – количество накопленной климатической системой Земли парниковой тепловой энергии

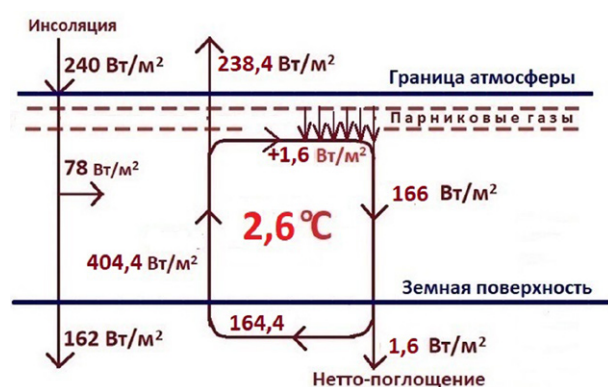


РИС. 7.

Примерная схема радиационного баланса Земли в 2100 г. при содержании антропогенных ПГ в атмосфере $K = 350$ ppm-eq и соответствующей мощности парникового эффекта (потенциала радиационного усиления) $J_R = 32,5$ Вт/м²

да предельная мощность антропогенного потенциала радиационного усиления (антропогенного ПЭ) определяется свободной неперехваченной мощностью 50 Вт/м² инфракрасного излучения Земли, которая в будущем может быть полностью перехвачена совокупным спектром поглощения антропогенных ПГ с соответствующим повышением температуры глобального потепления до максимально возможного значения около 8,9°C.

Оптимальным для цивилизации сценарием декарбонизации энергетики в XXI веке является умеренный сценарий снижения выбросов ПГ с темпом $\Delta K = -2$ ppm-eq/10 лет с современных 29 ppm-eq/10 лет до 13 ppm-eq/10 лет в 2100 г. и итоговым накоплением концентрации антропогенных ПГ в атмосфере около $K = 350$ ppm-eq.

При умеренном сценарии декарбонизации выброс в атмосферу одной объемной единицы антропогенных ПГ 1 ppm-eq увеличивает мощность ПЭ примерно на 0,08 Вт/м², температуру максималь-

ного глобального потепления на $0,015^{\circ}\text{C}$, что по кумулятивному тепловому воздействию на планету эквивалентно приближению Земли к Солнцу на 11 тыс. км.

В XXI веке при умеренном сценарии декарбонизации мощность потенциала радиационного усиления (антропогенного ПЭ) по мере роста концентрации ПГ в атмосфере будет увеличиваться в пределах от 12 до 32 Вт/м^2 , в результате основные энергетические характеристики процесса глобального потепления к 2100 г. увеличатся до следующих значений: нетто-поглощение парниковой тепловой энергии до $1,63 \text{ Вт/м}^2$; количество накопленной климатической системой Земли тепловой энергии до $720 \cdot 10^{15} \text{ кВт} \cdot \text{ч}$; средняя глобальная температура приземного слоя атмосферы до $2,6^{\circ}\text{C}$.

При современном уровне технологического развития самые срочные действия по снижению использования ископаемого топлива ради снижения выбросов ПГ в атмосферу не помогут остановить процесс глобального потепления в XXI веке. После реализации к 2100 г. умеренного сценария декарбонизации и последующем гипотетическом обеспечении углеродной нейтральности при $K = 350 \text{ ppm-eq}$ глобальное потепление будет безостановочно продолжаться до достижения Землей в 2320 г. радиационно-равновесного состояния при температуре максимального глобального потепления около $T_{\text{max}} = 5,8^{\circ}\text{C}$.

Принимая во внимание, что декарбонизация способна обеспечить лишь отдаленные позитивные климатические изменения, Правительству РФ следует обратить внимание на выполнение следующих безотлагательных действий:

- при разработке Энергетической стратегии РФ до 2050 г. и будущей климатической повестки не следует руководствоваться нереальными рекомендациями Парижского соглашения по «быстрому и глубокому» отказу от использования ископаемого топлива, а предусмотреть постепенное снижение использования ископаемого топлива по мере его равнозначного замещения альтернативными источниками энергии, сообразуясь с технологическими возможностями и национальными интересами России;

- приступить к разработке и реализации долгосрочных мероприятий по адаптации населения, инфраструктуры и в целом жизненного пространства ко все более учащающимся природным стихийным бедствиям: ураганам, наводнениям, засухам, тепловым волнам, землетрясениям, росту уровня Мирового океана и деградации вечной мерзлоты;

- совершенствовать национальное законодательство по страхованию жизни и имущества граждан в условиях растущих рисков природных катастроф.

В.В. ТЕТЕЛЬМИН
ФИЗИЧЕСКАЯ СУЩНОСТЬ ПАРНИКОВОГО ЭФФЕКТА
И ЕГО РАБОТА НА ПОТЕПЛЕНИЕ КЛИМАТА В XXI
ВЕКЕ И ЗА ЕГО ПРЕДЕЛАМИ

ЛИТЕРАТУРА

1. БРИНКМАН Э. Физические проблемы экологии. М.: Интеллект. С. 288.
2. ДЖИРАД ДЖ. Основы химии окружающей среды. М.: ФИЗМАТЛИТ. 2008. 640 с.
3. МГЭИК, 2014: Изменение климата, 2014 г.: Обобщенный доклад. Вклад рабочих групп I, II, III в пятый оценочный доклад МГЭИК [основная группа авторов Р.К. Пачаури и Л.А. Мейер]. МГЭИК. Женева, Швейцария. С. 44.
4. СЕМЕНОВ С.М. Парниковый эффект: открытие, развитие концепции, роль в формировании глобального климата и его антропогенных изменений // Фундаментальная и прикладная климатология. 2015. №2. С. 103–126.
5. ТЕТЕЛЬМИН В.В. Основные потоки энергии, формируемые антропогенными парниковыми газами в нагревающейся климатической системе Земли // Экология промышленного производства. №4. 2024. С. 51–57.
6. ТЕТЕЛЬМИН В.В. Формула максимального глобального потепления // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2022. №1. Т. 30. С. 45–57.
7. ТЕТЕЛЬМИН В.В. Энергетические особенности и пределы глобального потепления // Энергия: экономика, техника, экология. №3. 2023. С. 27–34.
8. ТЕТЕЛЬМИН В.В. Энергетический анализ особенностей глобального потепления и его последствий // Вестник РАЕН. 2023. №3. Т. 23. С. 91–99.
9. ТЕТЕЛЬМИН В.В. Алгоритм аналитического расчета глобального потепления и примеры расчета его основных последствий // Использование и охрана природных ресурсов в России. 2024. №2. С. 21–32.
10. ТЕТЕЛЬМИН В.В. Расчетное подтверждение недостижимости климатических целей Парижского соглашения // Экология промышленного производства. 2024. №2. С. 58–63.
11. ТЕТЕЛЬМИН В.В. Особенности глобального потепления и роста уровня Мирового океана // Гидротехника. 2024. №3. С. 22–28.
12. ТЕТЕЛЬМИН В.В. Расчетные функции обогревающего воздействия антропогенных парниковых газов // Использование и охрана природных ресурсов в России. №4. 2024. С. 23–31.
13. Technical Summary. In Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, P. 33–144.

REFERENCE

1. BRINKMAN E. Physical Problems of Ecology. Moscow: Intellect. 288. (In Russian).
2. GIRARD J. Fundamentals of Environmental Chemistry. Moscow: FIZMATLIT. 2008:640. (In Russian).
3. IPCC, 2014: Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II, III to the IPCC Fifth Assessment Report [core authors R.K. Pachauri and L.A. Meyer]. IPCC. Geneva. Switzerland. Page 44. (In Russian).
4. SEMENOV S.M. Greenhouse Effect: Discovery, Concept Development, Role in Shaping Global Climate and Its Anthropogenic Changes. *Fundamental'naya i prikladnaya klimatologiya*. 2015;2:103–126. (In Russian).
5. TETELMIN V.V. The main energy flows generated by anthropogenic greenhouse gases in the warming climate system of the Earth. *Ekologiya promyshlennogo proizvodstva*. 2024;4:51–57. (In Russian).
6. TETELMIN V.V. Formula for maximum global warming. *Vestnik RUDN. Seriya ekologii i bezopasnosti chiznedeyatelnosti*. 2022;1;(30):45–57. (In Russian).
7. TETELMIN V.V. Energy features and limits of global warming. *Energiya: ekonomika, tekhnika, ekologiya*. 2023;3:27–34. (In Russian).
8. TETELMIN V.V. Energy analysis of the features of global warming and its consequences. *Vestnik RAEN*. 2023;3;(23):91–99. (In Russian).
9. TETELMIN V.V. Algorithm for analytical calculation of global warming and examples of calculating its main consequences. *Ispolsovane i ochrana prirodnich resursov*. 2024;2:21–32. (In Russian).
10. TETELMIN V.V. Calculated confirmation of the unattainability of the climate goals of the Paris Agreement. *Ekologiya promyshlennogo proizvodstva*. . 2024;2:58–63. (In Russian).
11. TETELMIN V.V. Features of global warming and sea level rise. *Gidrotehnika*. 2024;3:22–28. (In Russian).
12. TETELMIN V.V. Calculated functions of the heating effect of anthropogenic greenhouse gases. *Ispolsovane i ochrana prirodnich resursov*. 2024;4:23–31. (In Russian).
13. Technical Summary. In Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA:33–144.

Тетельмин Владимир Владимирович,
д.т.н., главный специалист Института экологии Российского
университета дружбы народов (РУДН) им. Патриса Лумум-
бы, член Общественного совета при Минэнерго РФ

✉ 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6,
117198, Moscow, Miklukho-Maklaya st., 6,
e-mail: v-tetelmin@rambler.ru

УДК 551.5; 5.539.104 (078)
DOI: 10.52531/1682-1696-2025-25-1-138-144

EDN: WDHUMT

Научная статья

МЕХАНИЗМ ВОЗДЕЙСТВИЯ СОЛНЕЧНО-ПРОТОННЫХ СОБЫТИЙ
НА ПОГОДНЫЕ УСЛОВИЯ ЕВРОПЕЙСКОЙ ТЕРРИТОРИИ РОССИИВ.С. Чудновский,
А.В. Рыбакова
АО «НПК «СПП», Москва,
Российская Федерация

Original article

THE MECHANISM OF INFLUENCE OF
SOLAR-PROTON EVENTS ON WEATHER
CONDITIONS IN THE EUROPIAN
TERRITORY OF RUSSIA

Рассмотрен механизм воздействия солнечных космических лучей на верхнюю тропосферу Земли. Проведенные оценки указывают на возможность прогнозирования аномальных похолоданий на Европейской территории России с заблаговременностью в 9–18 дней.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: солнечные космические лучи, касп, тропосфера, стратосфера, пич-угол

V.S. CHUDNOVSKY, A.V. RYBAKOVA,
JSC «NPK SPP», Moscow, Russian
Federation

The mechanism of the effect of solar-proton cosmic rays on the upper troposphere of the Earth is considered. The estimates carried out indicate the possibility of forecasting abnormal cold weather in the European territory of Russia with an advance time of 9–18 days.

KEYWORDS: solar cosmic rays, cusp, troposphere, stratosphere, pitch angle

ВВЕДЕНИЕ

Вопрос о связи солнечно-протонных событий (СПС) и погоды на Земле долгое время не выходит за рамки полемики.

Так, достаточно четко установлена связь между 22-х летним циклом солнечной активности и засухами для территории США [7]. Надежно установлена связь между числами солнечных пятен и грозовой активностью в Англии [7]. Было обнаружено, что пик нестабильности атмосферного давления наблюдается на третьи сутки после максимума развития магнитной бури, обусловленной СПС [3]. Однако механизм подобных аномальных явлений не выходит за рамки дискуссии.

СОДЕРЖАНИЕ ИССЛЕДОВАНИЙ И РЕЗУЛЬТАТЫ

Протоны солнечных космических лучей (СКЛ), захваченные магнитосферой Земли, совершают «винтовые» колебательные движения от северного магнитного полюса Земли к южному и наоборот. В радиационных поясах Земли (РПЗ) существует динамическое равновесие между процессами пополнения поясов и процессами потерь частиц. В основном частицы покидают радиационные пояса

Земли из-за потери своей энергии на ионизацию (эта причина ограничивает, например, пребывание протонов внутреннего пояса в магнитной ловушке временем $t \sim 10^9$ сек), из-за рассеяния частиц при взаимных столкновениях и рассеяния на магнитных неоднородностях и плазменных волнах различного происхождения. Указанные эффекты приводят к нарушению условий стационарного движения частиц в геомагнитном поле (т. н. адиабатических инвариантов) и к «высыпанию» частиц из РПЗ в атмосферу вдоль силовых линий магнитного поля. «Высыпание» протонов в большей части происходит в полярных каспах – областях в околополюденной части магнитосферы, имеющей вид воронки, расширяющейся от Земли до магнитопаузы (рис. 1), с площадью основания каспа $s \approx 1,3 \times 10^{16}$ см².

По нашим оценкам, поток протонов может захватываться поверхностью магнитосферы с площадью $S = 4,3 \times 10^{19}$ см² (по оценкам других авторов $S = 10^{20}$ см² [4]). Таким образом, в области каспа происходит уплотнение потока протонов в $k = \frac{S}{s} \approx 3,5 \times 10^3$ раз. При мощных СПС с потоком протонов $m_c = 10^3$ частиц/(см² × с × с), с энергиями более 10 МэВ, регистрируемых КА, поток частиц в районе каспа составит m_k

$$m_k \approx \pi k m_c \approx \frac{(1-025)}{2} \times 10^7 \text{ частиц}/(\text{см}^2 \times \text{с}) = 0,375 \times 10^{11} (\text{частиц}/(\text{м}^2 \times \text{с})) \quad (1)$$

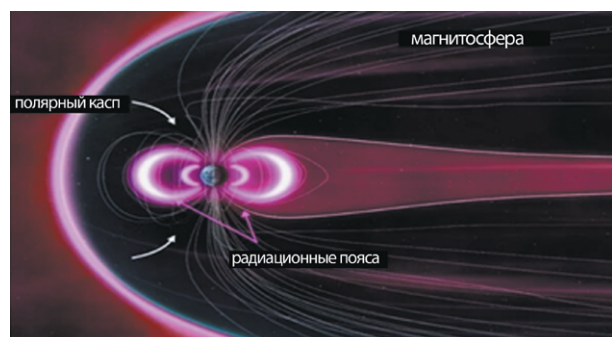


РИС. 1.
Полярные каспы и магнитосфера Земли

что соответствует плотности потока мощности

$$M = 0,064 \text{ Вт/м}^2 \quad (2)$$

В выражении (1) предполагается, что 25% энергии уходит на ионизации частиц, и половина частиц «высыпается» в районе северного каспа.

Например, при длительности вспышки (нарастании фронта) в $t=6^h=2,16 \times 10^4 \text{ с}$, энергия, приходящаяся на 1 м^2 площади, составит

$$W \approx 1,38 \times 10^3 \text{ Дж/м}^2 \quad (3)$$

Трудности в объяснении воздействия СКЛ на погоду заключаются в следующем. Как известно, основные погодные процессы разворачиваются в тропосфере (слой земли с высотами $h < 15 \text{ км}$ на экваторе и $h < 9 \div 10 \text{ км}$ в северных широтах). Однако, при «высыпании», потоки протонов с энергиями $E = (10 \div 300) \text{ МэВ}$ при СКЛ не достигают тропосферы Земли.

В таблице 1 представлены расчеты проникновения протонов в атмосферу Земли при питч-угле в $5\text{--}10^\circ$.

ТАБЛИЦА 1.

Глубина проникновения СКЛ в атмосферу Земли в северных широтах

Энергия протонов СКЛ (МэВ)	Глубина проникновения СКЛ в атмосферу h (км)
0,1	110
0,4	98
1,0	90
5,0	73
10	65
50	42
100	32
300	20

Однако здесь следует иметь ввиду следующее обстоятельство. Протоны с энергией в $0,1\text{--}0,4 \text{ МэВ}$ подвержены эффектам «перезарядки» [1]. Суть эффекта «перезарядки» состоит в следующем. Длина пробега протона с энергией $0,1 \text{ МэВ}$ на высоте 120 км около 6 км . При встрече с атомом азота или кислорода протон может захватить электрон атома кислорода или азота с потерей энергии не более 15 эВ . В этом случае протон испытывает «перезарядку» и благодаря захваченной частице становится нейтральной частицей – нейтроном. В результате взаимодействия нейтрон может отклониться на угол до 5° . Поскольку сечение взаимодействия с частицами у нейтрона на несколько порядков ниже, чем у протона, и составляет менее 2 барн , длина пробега нейтрона больше чем у протона. Однако на высотах около $(40\text{--}45) \text{ км}$ произойдет очередной акт «перезарядки» и при столкновении с молекулой или атомом азота или кислорода нейтрон может потерять электрон и становится протоном. Однако, поскольку плотность атмосферы на высоте 45 км гораздо выше, чем на высоте 120 км , пробег протона до следующего столкновения составит несколько метров. Акт перезарядки $p \rightarrow r \rightarrow n$ уменьшит энергию частицы примерно на 30 эВ и немного уменьшит скорость частицы (примерно на $0,03\%$). Ситуация повторяется, после взаимодействия образуется нейтрон, который спустится до высоты около 20 км . При повторяющейся ситуации следующая «перезарядка» произойдет на высоте около 17 км . На высоте 17 км «перезарядки» становятся очень частыми, пробеги нейтронов с энергиями $0,1\text{--}0,4 \text{ МэВ}$ составляют несколько сотен метров, и на высотах $11\text{--}14 \text{ км}$ частица потеряет оставшуюся энергию и произойдет быстрая диссипация энергии.

Частицы с энергией около $0,4 \text{ МэВ}$ могут достигнуть высот до 11 км .

Протоны с энергиями от $0,4$ до $0,7 \text{ МэВ}$ также могут быть подвержены эффектам «перезарядки», однако вероятность такого процесса для указанных энергий значительно ниже [8], большая часть энергии растрачивается на процессы ионизации.

Экспериментально, при изменениях плотности потоков нейтронов с помощью шаров зондов в Нью-Джерси и при помощи летательных лабораторий, установленных на самолетах, был обнаружен максимум распределения нейтронов с энергиями $0,1 \div 2 \text{ МэВ}$ на высотах около 12 км [12].

В таблице 2 представлены результаты измерений потоков протонов, полученные КА POES-15 в момент солнечной вспышки 8 ноября 2000 г. [6].

Согласно таблице 2, при попадании в касп до высот $11\text{--}14 \text{ км}$ на 1 м^2 будет приходиться поток

$$n = \frac{(1-0,25)}{2} \times \pi \times k \times 10^4 \times N \approx 3,3 \times 10^{13} \text{ частиц/(с} \times \text{м}^2) \quad (4)$$

ТАБЛИЦА 2.

Распределение протонов по энергиям 8 ноября 2000 г.

Е (МэВ)	Н частиц/ (см ² ×ср×с)	$\frac{(1-0,25)}{2} \times \pi \times k \times 10^4 \times N$	За 36 ^h
0,1–0,4	8×10 ⁵	3,3×10 ¹³ частиц/ (с×м ²)	ΔЕ = 17,2×10 ⁴ Дж/ м ²
0,8–4	2×10 ⁵		
14–50	5×10 ⁴		
15–40	10 ³		
40–80	10 ²		
50–90	2×10 ³		

с энергией (0,1÷0,4) МэВ.

Экспорт протонов в атмосферу Земли, согласно показаниям бортовой космической аппаратуры, продолжался около 36^h = 1,3×10⁵ с.

Энергия, закачиваемая в столб атмосферы объемом 1 м², на высотах 11÷14 км составит ΔЕ = 17,2×10⁴ Дж/м², или объемная плотность энергии на высоте 11÷14 км при высоте столба воздуха 3000 м, составит примерно ΔЕ_v = 58 Дж/м³.

Энергия молекул в объеме 1 м³ на высотах 11÷14 км, примерно равна Е_v = 2,2×10⁴ Дж/м³. Из уравнения состояния идеального газа запишем:

$$\frac{\Delta E_v}{E_v} = \frac{\Delta T}{T} \quad (5)$$

где Т – температура воздуха на высоте Н, ΔТ – приращение температуры.

Из выражения (5) при температуре воздуха Т = 218° К на высотах около 13 км составит ΔТ = 0,57°.

При повышении температуры в некотором объеме воздуха происходит увеличение давления на границе температурной области.

Если допустить, что изменение (приращение) температуры воздуха ΔТ является адиабатическим, то в этом случае связь между изменением давления ΔР и ΔТ можно оценить по формуле [9]:

$$\Delta P = \Delta T \times \frac{P}{T} \times \left(\frac{\gamma-1}{\gamma}\right) - 1 \quad (6)$$

где $\left(\frac{\gamma-1}{\gamma}\right) = 0,286$.

При ΔТ = 0,57°, давлении воздуха на высоте 11÷14 км в Р_Н = 22000 Па, и температуре на указанной высоте в Т = 217° К, оценим величину ΔР ≈ 202 Па.

Геострофический ветер на высоте Н = 10–14 км имеет скорость V ≈ 16÷20 м/с. Оценить изменение скорости ветра v на высоте Н при изменении давления можно по формуле [11]:

$$\frac{1}{\rho} \times \frac{dP}{dx} - \frac{v^2}{r} = 2w \times (\sin \phi) \times v \quad (7)$$

где ρ = 0,280 кг/м³ – плотность воздуха на высоте Н, r ≈ 1,5×10⁶ м – расстояние от основания каспа до магнитного полюса, x ≈ $\frac{L}{2}$, L ≈ 1500000 м – среднее расстояние между барическими центрами, φ ≈ 75° – широта полярного каспа, w = 7,27×10⁻⁵ с⁻¹ – угловая скорость вращения Земли.

Тогда барический атмосферный горизонтальный градиент $\frac{dP}{dx} = 0,269 \times 10^{-3}$ Па/м, что более чем на порядок выше градиента давления при лунно-солнечных атмосферных приливах. При указанном градиенте давления v ≈ 6,8 м/с, что составляет 35% от скорости геострофического ветра V.

Оценим, насколько достоверны полученные результаты. В работе Ermakova T.S., Koval T.V., Okulichева А.А. [5] представлены результаты измерений параметров нижней стратосферы, полученные в момент солнечной вспышки в декабре 2000 г. Согласно полученным результатам из хранилища данных JRA55 и MERRA-2, на высотах в 12–14 км, в момент солнечной вспышки температура повысилась на (2÷2,5)°, скорость ветра изменилась на (4–6) м/с, атмосферное давление в районе каспа увеличилось на (100÷300) Па, что удовлетворительно совпадает с проведенными оценками.

Имеются данные по увеличению скорости ветра в момент вспышки 17.01.2005 г. На рис. 2 представлены данные работы Ветренко С.В. [2], согласно которым, скорость ветра на высотах примерно в 15 км, изменилась на 12–15 м/с.

Результаты измерений числа протонов, полученных американским КА «GOES» в момент вспышки 17.01.2005 г, представлены в таблице 3.

Согласно данным таблицы 3, для 10 и 50 МэВ возрастание числа частиц N_Е с уменьшением их энергии подчиняется закону вида

$$N_E \approx 8,8 \times 10^4 \left(\frac{E}{E_0}\right)^{-1,5} \quad (8)$$

где E₀ = 1 МэВ.

Экстраполяция по формуле (8) дает прогнозное число частиц N_Е с энергиями (0,1–0,4) порядка N_Е ≈ 24×10⁵ частиц/(см²×ср×с).

В этом случае, расчеты, проведенные по формулам (4...7), дают увеличение температуры и давления на величины: ΔТ ≈ 0,86°, ΔР ≈ 300 Па. Увеличение скорости ветра составит в соответствии с (10): v ≈ 10,2 м/с, что неплохо соответствует данным Ветренко С.В. [2], (v = 12÷15 м/с на высотах 15–20 км), представленным на рис. 2.

В северных широтах существует полярная конвективная ячейка [11]. Воздух в полярной ячейке вблизи поверхности земли в северных широтах спускается к югу, где происходит его нагрев. Нагретый воздух поднимается вверх вплоть до тропопаузы

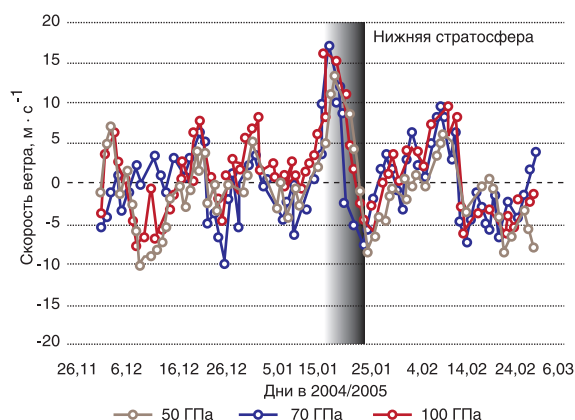


РИС. 2.
Изменение скорости ветра в нижней стратосфере

ТАБЛИЦА 3.
Оценка потока протонов с энергиями (0.1×0.4) МэВ

Е (МэВ)	Нчастиц/ (см²×ср×с)	Прогноз N	ΔЕ за 18 ^h
>50	0,24×10 ³		
>10	2,8×10 ³		
0,1÷0,4		24×10 ⁵	ΔЕ =25,8×10 ⁴ (Дж/м²)

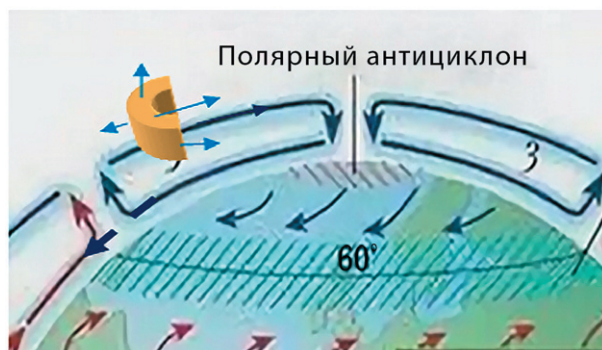


РИС. 3.
Изменение ветровой циркуляции полярной ячейки

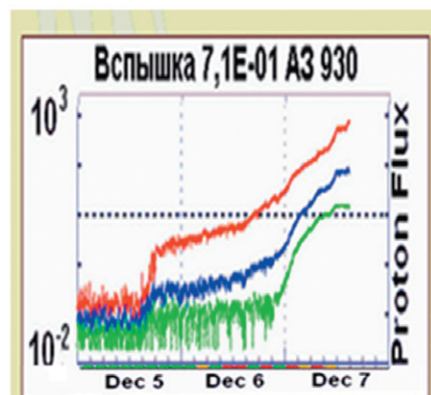
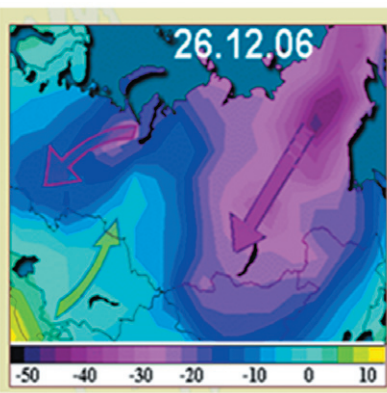


РИС. 4.
СПС 5 декабря 2006 г. и ультраполярное вторжение холодных масс воздуха



(высоты 10–13 км) и начинает восхождение к северному полюсу. В высоких широтах он снова охлаждается и опускается к поверхности земли. Если на высотах около 12 км возникает температурная неоднородность, то вследствие увеличения барического давления происходит увеличение скорости ветра на величину v , а также изменение его направления (рис. 3).

В результате холодный ветер вблизи поверхности земли (океана) может потеснить сравнительно теплые воздушные массы, и холодный фронт вторгнется южнее северного полярного круга (рис. 3, 4).

На возможную связь солнечно-протонных событий и погоды указывали как ряд исследователей, о чем говорилось в начале данной работы, так и многие блогеры (например, И.А. Васильева).

На рисунке 4 представлен пример развития СПС 5 декабря 2006 г. и последовавшее за солнечной вспышкой ультраполярное вторжение. Холодные массы воздуха, как видно из рисунка 4, могут проникать как на территорию Сибири, так и достаточно глубоко на Европейскую территорию России. Указанное обстоятельство побудило автора рассмотреть возможную связь СПС и изменение температур в районе города Москвы.

На рисунке 5 представлены изменения температурного поля в Москве в периоды трех мощных СПС. Данные о температуре взяты с сайта «Погода в Москве. Климатический монитор».

В таблице 4 представлен расчет избыточного давления ΔP (Па) для мощных СПС в зимний период (середина сентября – середина марта) с 2000 г. и изменениями температуры в г. Москве (Δt°) спустя некоторый интервал времени от СПС (Δt^A), выраженного в сутках. Значимыми предполагались изменения $\Delta t^\circ > 2,5^\circ$.

В третьем столбце таблицы указан интервал времени в сутках (Δt^A), прошедшего от СПС до похолодания. В четвертом столбце таблицы представлены отклонения температуры (Δt°) от среднестатистического температурного фона.

Из таблицы 4 просматривается связь между расчетными значениями прироста давления ΔP , обусловленного СПС, и параметрами Δt^A и Δt° , при этом, чем больше падение температуры, тем меньше времени проходит от момента СПС. Логически это вполне объяснимо. Чем выше избыточное давление, тем больше величина изменения скорости ветра, и тем быстрее волна похолодания достигнет некоторого географического

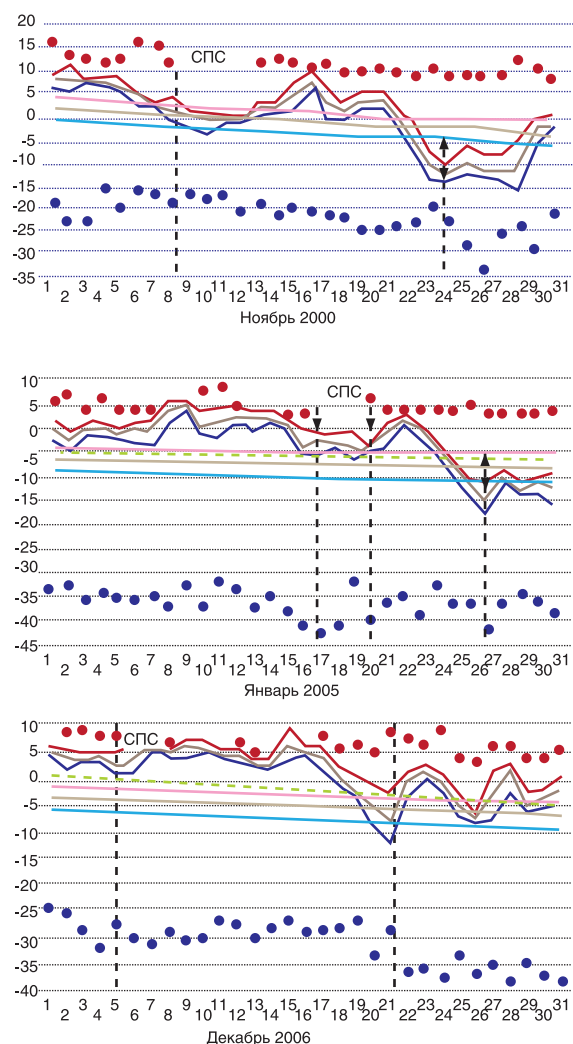


РИС. 5.
Мощные СПС и изменения температуры в г. Москва

ТАБЛИЦА 4.
Параметры мощных СПС с 2000 г.

СПС	ΔP (Па) (расчет)	Δt_D (Москва)	Δt_0 (Москва)	Примечание
8 ноября 2000	200	15	-7	
28 октября 2003*	<7	—	—	Потоки частиц с энергиями >10 МэВ более 2×10^4 МэВ/(с×ср×см ²)
17 января 2005	300	10	-8	
6 декабря 2006	320	16	-6	
23 января 2012	900	9	-14,9	
17 марта 2012	365	9,5	-5,8	
6 января 2014	540	13	-11,6	
10 сентября 2017	40	21,5	-3,5	
24 октября 2024	325	11	-5,2	

*Примечание: Потоки частиц с энергиями $(0.1 \div 0.4)$ МэВ не более 6×10^4 МэВ/(с×ср×см²), продолжительность вспышки 1–3 часа.

пункта (в выбранном случае Москвы).

Этот достаточно интересный предварительный вывод побудил автора проанализировать данные для мощных СПС, полученных до 2000 г. Результаты представлены в таблице 5.

Количественные оценки потока протонов для СПС 1942 и 1859 гг. не проводились. По косвенным оценкам, потоки частиц $N_{>10(\text{МэВ})}$ и $N_{>(0.1-0.4)\text{МэВ}}$ были значительными. По измерениям температур в 1859 г. в г. Москве данных нет.

На рис. 6 представлена зависимость Δt^A (ось Y) от Δt^0 (ось X).

Получено уравнение регрессии:

$$\Delta t^0 = 0,6744 \Delta t^A - 17,1585 \quad (9)$$

Расчетный коэффициент линейной корреляции: $R=0,7129$.

Критерий значимости $t = \frac{R\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-R^2}} = 4,50$. При уровне $\alpha = 0,01$ по таблице распределения Стьюдента, $t_c = [(n-2), \alpha/2] = 3,105$. Поскольку $t > t_c$, то с доверительной вероятностью $P > 0,99$ связь обнаружена между параметрами обнаружена.

Рассмотрим зависимость расчетного значения ΔP от Δt^A в соответствии с таблицей 4. Поскольку, логично предположить, что $\Delta P \sim v \sim \frac{\Delta L}{\Delta t}$, построим гиперболическую зависимость вида $\Delta P \sim (\Delta t)^{-1}$ (рис. 7).

Коэффициент корреляции для гиперболической аппроксимации $R=0,7105$.

Критерий значимости $t = \frac{R\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-R^2}} = 2,47$. При уровне $\alpha = 0,05$ по таблице распределения Стьюдента, $t_c = [(n-2), \alpha/2] = 2,36$. Поскольку $t > t_c$, то с доверительной вероятностью $P > 0,95$ связь обнаружена между параметрами обнаружена.

С другой стороны, чем выше параметр ΔP , тем сильнее ожидается похолодание в некоторой удаленной от полярного круга точке. На рисунке 8 отображена зависимость вида $\Delta P \sim \Delta t^0$.

ТАБЛИЦА 5.

Параметры наиболее мощных СПС с 1859 г.

Событие	Δt^A	Δt^*	Примечание
13 марта 1989 г. Квебекское СПС	18–20	-2,8	$N > 1(\text{МэВ}) > 10^5 \text{ част}/(\text{см}^2 \text{ср})$: GOES-7* Архангельск: $\Delta t_0 = -6,3$, $\Delta t^A = 16$ Чикаго: $\Delta t_0 = -7,9$, $\Delta t^A = 6$
12 декабря 1970 г.	15	-9,6	$N(1 \div 5) \text{ МэВ} > 10^4 \text{ част}/(\text{см}^2 \text{ср})$: Луноход-1 $\Delta t^A \approx 2^A$
23 февраля 1956 г.	13	-6,9	$N > 10(\text{МэВ}) > 10^5 \text{ част}/(\text{см}^2 \text{ср})$: оценка [10]
27 февраля 1942 г.	7,5	-15,9	Открыто радиоизлучение Солнца при солнечной вспышке
2 сентября 1859 г. Каррингтонское СПС	—	—	Стокгольм: $\Delta t^* = -6$, $\Delta t^A = 16$; Прага: $\Delta t^* = -4,1$, $\Delta t^A = 18$; Ф.И. Тютчев – холодный сентябрь в Женеве. Зима 1859/1860 в России холодная



РИС. 6.

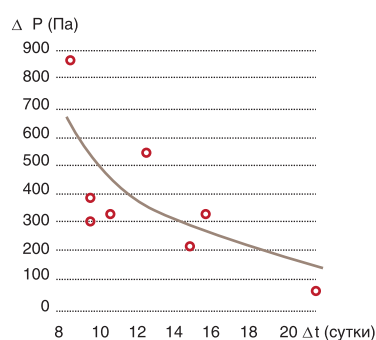
Зависимость Δt^* (ось Y) от Δt^A (ось X)

РИС. 7.

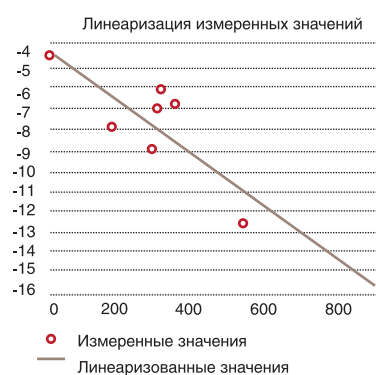
Зависимость ΔP (ось Y) от Δt в сутках (ось X)

РИС. 8.

Зависимость Δt^* (ось Y) от ΔP (ось X)

Коэффициент линейной корреляции $R = -0,9118$. Критерий значимости $t = \frac{R\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-R^2}} = 5,44$. При уровне $\alpha = 0,01$ по таблице распределения Стьюдента, $t_c = [(n-2), \alpha/2] = 3,49$. Поскольку $t > t_c$, то с доверительной вероятностью $P > 0,99$ связь между параметрами обнаружена.

В работе рассмотрены взаимосвязи между сильными СПС и кратковременными похолоданиями на территории Европейской части России (в частности московского региона) в периоды с середины сентября по середину марта, когда контрасты температурных полей между северными территориями и европейской частью значительны. Это не означает, что в весенне-летний период такой связи не может быть. Примером этого может служить мощное СПС (Каррингтонское событие), которое наблюдалось в начале сентября 1859 г. Другим примером может служить мощное СПС 14 апреля 2014 г. Согласно расчетам, при указанном СПС избыточное давление в районе каспа могло достигать до 2000 Па, похолодание в московском регионе наблюдалось через 10 суток. Однако уменьшение среднесуточной

температуры в московском регионе составило всего $3,8^\circ$. Вероятно, полученное столь незначительное похолодание после мощного СПС связано с перестройкой температурного режима северных областей при переходе от зимнего периода к лету.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Из проведенных оценок следует, что при мощных СПС, наблюдаемых с середины сентября по середину марта, в случаях наличия значительной протонно-нейтронной компоненты в солнечных космических лучах спустя 7–20 суток после начала СПС на Европейской территории России наблюдается кратковременное понижение среднесуточных температур на $(3,5^\circ \div 16^\circ)$. Запаздывание в похолодании и амплитуда изменений температур зависит от мощности протонно-нейтронной компоненты с энергиями E от 0,1 до 0,4 МэВ.

Естественно, было бы нелепо предполагать, что только мощные СПС отвечают за погодные изменения погоды на Европейской территории России (ЕТР). Помимо указанного фактора существует мно-

жество динамических процессов в атмосфере Земли, отвечающих за изменениями температурного режима ЕТР. Однако включение солнечно-протонного фактора в метеорологические прогнозы может существенно повысить достоверность среднесрочных прогнозов погоды для ЕТР.

ЛИТЕРАТУРА

1. БАГРИЦКИЙ Б.А. Водородная эмиссия в спектре полярных сияний. УФН, август 1958. Т. LXV. Вып. 4. С. 631–664.
2. ВЕТРЕНКО С.В. Эффекты солнечных протонных событий января 2005 года в вариациях интенсивности стратосферного полярного вихря // Известия РАН. Серия физическая. 2021. Т. 85. №9. С. 1336–1339.
3. ВЛАДИМИРСКИЙ Б.М., ТЕМУРЬЯНЦ Н.А., МАРТЫНЮК В.С. Космическая погода и наша жизнь. Фрязино: Изд-во «ВЕК2». 2004. 221 с.
4. ДРУЖИНИН И.П., САЗОНОВ Б.И., ЯГОДИНСКИЙ В.Н. Космос-Земля. Прогнозы. М.: Изд-во «Мысль». 1974. 288 с.
5. ЕРМАКОВА Т.С., КОВАЛЬ Т.В., ОКУЛИЧЕВА А.А. Последствия ранних стратосферных потеплений / Сб. докладов Министерства образования и науки XII Межд-ая конф. «Солнечно-земные связи и физика предвестников землетрясений». С. Паратунка, 2021.
6. ЛАЗУТИН Л.А. Возрастание энергичных протонов СКЛ на Земле и их связь с источниками на Солнце // Солнечно-земная физика. Иркутск: 2020. Т. 6. № 4. С. 46–50.
7. МИЗУН Ю.Г. Космос и погода. М.: Изд-во «Наука». 1986. 145 с.
8. НИКОЛАЕВ В.С., ДМИТРИЕВ Н.С., ТЕПЛОВА А.Я., ФАЙНБЕРГ Ю.А. Сечение перезарядки протонов. Эксперимент // Вестник Московского университета. Серия 3: Физика, Астрономия, М.: 1994. Т. 35. №3. С. 84–85.
9. РЕЙФ Р. Статистическая физика. М.: Изд-во «Наука». 1977. Т. V. 351 с.
10. Физика космоса. Маленькая энциклопедия. М.: Изд-во «Советская энциклопедия». 1976. 655 с.
11. ШВЕД Г.М. Введение в динамику и энергетику атмосферы. СПб.: Изд-во СПбГУ, 2020, 394 с.
12. HESS W.N., CHUPP E.L. Cosmic Ray Neutron Energy Spectrum // Physical Review. V. 116. P. 445–457. 1959.
3. VLADIMIRSKY B.M., TEMURYANTS N.A., MARTYNYUK V.S. Space weather and our life. Fryazino: Vek2, 2024:221. (In Russian).
4. DRUZHININ I.P., SAZONOV B.I., YAGODINSKY V.N. Space-Earth. Forecasts. Moscow: Mysl. 1974:288 (In Russian).
5. ERMAKOVA T.S., KOVAL T.V., OKULICHEVA A.A. Consequences of early stratospheric warmings. In the collection of reports of the Ministry of Education and Science of 12 international conference “Solar-terrestrial connections and the physics of earthquake precursors”. S. Paratunka: 2021. (In Russian).
6. LAZUTIN L.L. Increase in energetic SCR protons on Earth and their relationship to solar sources. *Solnechno-zemnaya fizika*. Irkutsk: 2020;6;(4):46–50. (In Russian).
7. MIZUN YU.G. Space and weather. Moscow: Nauka, 1986:145. (In Russian).
8. NIKOLAEV V.S., DMITRIEV N.S., TEPLOVA A.YA., FAINBERG YU.A. Proton charge exchange cross section. Experiment. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 3: Fizika, Astronomiya*. Moscow. 1994;35;(3):84–85. (In Russian).
9. REIF R. Statistical physics. Moscow: Nauka, 1977:351. (In Russian).
10. Space physics. Little encyclopedia. Moscow: Sovetskaya Entsiklopedia, 1976:655. (In Russian).
11. SHVED G.M. Introduction to Atmospheric Dynamics and Energy. Saint Petersburg: Saint Petersburg State University, 2020:394. (In Russian).
12. HESS W.N., CHUPP E.L. Cosmic Ray Neutron Energy Spectrum // Physical Review. 1959; V;116:445–457.

REFERENCES

Чудновский Владислав Семенович,
д.т.н., АО «НПК «СПП», ведущий научный сотрудник
тел. 8 (901) 652-99-04, e-mail: ngoka@mail.ru

Рыбакова Александра Владиславовна,
АО «НПК «СПП», ведущий инженер
тел. 8 (964) 765-28-08, e-mail: ngoka@mail.ru

✉ 111024, а/я 35, Москва
111024, post office box 35, Moscow

УДК

DOI: 10.52531/1682-1696-2025-25-1-145-152

Научная статья

EDN: YCKKOV

ОСНОВАНИЯ ФУНДАМЕНТАЛЬНОЙ ФИЗИКИ В РОССИЙСКОЙ НАУКЕ

Ю.С. Владимир

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ М.В. ЛОМОНОСОВА,
ИНСТИТУТ ГРАВИТАЦИИ И КОСМОЛОГИИ
РУДН, МОСКВА, РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

В статье показаны основные направления деятельности в нашей стране в поисках новых оснований фундаментальной физики, начиная с 20-х годов XX века по настоящее время. Особое внимание уделено деятельности Российского гравитационного общества, а также научных групп Д.Д. Иваненко, М.А. Маркова, Ю.И. Кулакова и Г.Г. Михайличенко, Д.Г. Павлова и некоторых других, внесших заметный вклад в развитие фундаментальной физики.

Ключевые слова: фундаментальная физика, теория гравитации, теоретико-полевая, геометрическая и реляционная парадигмы, гравитационные конференции, школы-семинары по теории физических структур

В трудах отечественных видных ученых издавна уделяется особое внимание исследованиям оснований фундаментальной физики – основаниям физического мироздания. От этих исследований зависит вся дальнейшая прикладная деятельность, ведь очень важно разобраться и понять, как устроен наш мир. Ограничимся обсуждением отечественной научной мысли в этой области, начиная с 20-х годов XX века и до наших дней. Более подробное обсуждение этой тематики содержится в серии книг автора под общим названием «Между физикой и метафизикой» [1–6].

Следует отметить, что в 20-х – начале 30-х годов XX века в области фундаментальной теоретической физики разворачивалась активная деятельность. В это время в трудах Я.И. Френкеля, Г.А. Гамова, М.П. Бронштейна, В.А. Фока, И.Е. Тамма, Д.Д. Иваненко и ряда других физиков был выдвинут ряд идей и уже был по-

Original article

BASICS OF FUNDAMENTAL PHYSICS IN RUSSIAN SCIENCE

Yu.S. Vladimirov

FACULTY OF PHYSICS, M.V. LOMONOSOV
MOSCOW STATE UNIVERSITY
INSTITUTE OF GRAVITATION AND
COSMOLOGY, RUDN UNIVERSITY, MOSCOW,
RUSSIAN FEDERATION

The article shows the main trends of home research in analysis and reaching for new basics of fundamental physics beginning from the twenties of the twentieth century until the present time. Primary attention has given to the activity of the Russian gravitational society as well as to the scientific groups headed by D.D. Ivanenko, M.A. Markov, Yu.I. Kulakov and G.G. Mikhailichenko, D.G. Pavlov and some others contributed significantly in fundamental physics development.

KEYWORDS: fundamental physics, gravity theory, field-theoretical, geometric and relational paradigms, gravitational conferences, schools-seminars for theory of physical structures

лучен ряд важных результатов в процессе формирования общей теории относительности и ее обобщений, а также для развития квантовой теории и физики микромира. К таковым, в частности, относятся следующие важные результаты:

1. В работах А.Ф. Фридмана были найдены космологические решения уравнений Эйнштейна, фактически составляющие основу современной космологии.
2. В работах В.А. Фока и Г.А. Мандела был предложен вариант 5-мерной теории, на основе которого Фокком было записано релятивистское уравнение квантовой теории (уравнение Клейна–Фока–Гордона).
3. В работах В.А. Фока и Д.Д. Иваненко было предложено описание спиноров в искривленном пространстве-времени в рамках тетрадного формализма.
4. В самом начале 30-х годов Д.Д. Иваненко (и И.Е. Таммом) была высказана идея о протонно-нейтронной структуре атомных ядер.
5. В работах Я.И. Френкеля развивалось (и отстаивалось в дискуссиях) описание физических взаи-

модействий в рамках концепции дальнего действия. На эти работы, в частности, опирался Р.Фейнман уже в 40-е годы.

Были получены и другие важные результаты. Примерно с 1922 г. в физико-техническом институте Петрограда начал действовать первый в СССР семинар по теоретической физике под руководством Я.И. Френкеля. В 1929 г. в Харькове была созвана 1-я Всесоюзная конференция по теоретической физике. В 1929–1931 гг. в Ленинграде состоялись диспуты, на которых происходила дискуссия о выборе одной из двух концепций описания взаимодействий (близкого действия или дальнего действия), а в 1933 г. состоялась 1-я Советская конференция по ядерной физике.

Однако с середины 30-х годов исследования в области фундаментальной физики стали испытывать значительные трудности вследствие настойчивых попыток распространить философию марксистско-ленинского диалектического материализма в область фундаментальной физики. Предпринимались попытки внедрить в физику представления, содержащиеся в книге В.И. Ленина «Материализм и эмпириокритицизм», написанной в самом начале XX века еще до создания общей теории относительности и квантовой теории.

Это существенно затормозило развитие фундаментальной физики в нашей стране. Ряд известных физиков был репрессирован, В.А. Фок, Л.Д. Ландау и Д.Д. Иваненко арестовывались, М.П. Бронштейн был расстрелян. На развитие ряда идей фактически был наложен запрет. Уже после Великой Отечественной войны в 1948 г. намечалось проведение Всесоюзного совещания, на котором предполагалось запретить квантовую теорию. Автор, учившийся на физфаке МГУ в 1950-х годах, помнит, как в то время общая теория относительности причислялась к идеалистическому буржуазному лжеучению.

Время показало, что именно физика имеет дело с самыми фундаментальными закономерностями мироздания, а попытки влияния на ее развитие со стороны философии, отражающей складывающиеся представления в социальной сфере, ни к чему хорошему не приводят.

Со второй половины 1940-х годов до конца 1950-х годов важную роль в развитии идей фундаментальной физики играла деятельность семинара по теоретической физике профессора Д.Д. Иваненко на физическом факультете Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова. На этом семинаре выступали ведущие как зарубежные, так и отечественные физики-теоретики. Д.Д. Иваненко настойчиво выступал за пересмотр оснований сложившихся представлений в области фундаментальной физики, призывал к построению единой теории физического мироздания. Он писал: «Таким образом, мы стоим нынче перед задачей построения единой теории, учи-

тывающей с самого начала как атомно-квантовые, так и гравитационные и космологические обстоятельства; речь идет о своего рода четвертой программе единой картины мира» [7].

Отметим, что к первой программе Д.Д. Иваненко относил «Классическую механическую картину мира (XVII-XIX вв.)». Ко второй программе он относил «Электромагнитную релятивистскую картину мира конца XIX – начала XX в.». Третьей программой Иваненко считал «Геометрическую единую теорию (20-е годы XX в.)».

Известен конфликт Иваненко с Ландау и его школой. В значительной степени этот конфликт был связан с различием в отношении к проблемам теоретической физики. Ландау и его школа главное внимание уделяли развитию уже найденных закономерностей (квантовой теории, статистической физики и общей теории относительности), что отражено в 10 томах Л.Д. Ландау и Е.М. Лифшица. Иваненко же во главу угла ставил обсуждение сложившихся представлений об основаниях физики, поиску путей их углубления (обобщений, замены на новые). В результате конфликта Иваненко со школой Ландау он так и не был избран в состав Академии наук.

Существенные изменения отношения к общей теории относительности произошли в самом начале 1960-х годов после проведения 1-й международной гравитационной конференции в 1957 г. в США и 2-й международной гравитационной конференции в 1959 г. под Парижем, в которой участвовал Д.Д. Иваненко. После возвращения с этой конференции Иваненко развернул бурную деятельность, обращая внимание руководства наукой на то, что в научных кругах Запада возлагаются надежды на дальнейший прогресс в физике на базе идей общей теории относительности. Известно, что в свое время именно Эйнштейн подписал письмо Рузвельту с призывом развивать ядерные исследования.

В руководящих инстанциях обеспокоились возможностью оказаться догоняющей стороной. В итоге было дано разрешение на проведение 1-й Советской гравитационной конференции в 1961 г. в МГУ, а уже в 1962 г. была создана секция гравитации научно-технического совета Минвуза СССР, призванная координировать исследования в стране в области общей теории относительности и гравитации. Тогда же была образована небольшая гравитационная группа под руководством Иваненко при МГУ (в ГАИШе).

Председателем секции гравитации по настоянию Иваненко был назначен профессор Казанского университета А.З. Петров, а сам Д.Д. Иваненко стал заместителем председателя. Это было обусловлено тем, что Иваненко стремился привлечь к деятельности секции гравитации академиков, со многими из которых он был не в ладах, а А.З. Петров был достаточно авторитетным математиком, уже развившим к тому времени

алгебраическую классификацию пространств Эйнштейна, на которую тогда возлагались большие надежды. Было ясно, что от сотрудничества с возглавляемой им организацией никто не откажется.

Имеется достаточно оснований утверждать, что со времени создания секции гравитации, именно в ее рамках активизировались исследования в области оснований фундаментальной физики. Это было обусловлено, во-первых, тем, что в тот период исследования в теоретической физике велись в рамках двух направлений (парадигм): 1) теоретико-полевой (доминирующей) на базе квантовой теории поля и 2) геометрической, основанной на идеях общей теории относительности (ОТО) и ее обобщений. Эти две парадигмы опирались на разные принципы и на разные, соответствующие их принципам математические аппараты, тогда как непоколебима уверенность физиков в существовании единых принципов мироздания. В связи с этим предпринимались настойчивые попытки совместить принципы этих двух парадигм, – физики пытались построить «квантовую теорию гравитации».

Во-вторых, в рамках геометрической парадигмы был осознан ряд трудностей, например с отсутствием законов сохранения, критериев гравитационного излучения, необходимостью конкретизации наблюдаемых величин в ОТО, описания физических полей в искривленном пространстве-времени и ряд других. В-третьих, многих волновали проблемы и в рамках теоретико-полевой парадигмы, например, наличие расходимостей, поиски объединений различных видов взаимодействий и т.д.

Все эти проблемы постоянно обсуждались на всесоюзных гравитационных конференциях, проводимых в разных городах страны: в Москве (1961 г.), Тбилиси (1965 г.), Ереване (1972 г.), Минске (1976 г.), Москве (1981 г.), Москве (1984 г.), Ереване (1988 г.). Как правило, на конференциях работали секции: 1) классическая теория гравитации; 2) обобщенные теории гравитации; 3) квантовая теория и гравитация; 4) космология и релятивистская астрофизика; 5) гравитационный эксперимент. А между конференциями проводились многочисленные совещания и семинары, посвященные обсуждению отдельных проблем.

Несмотря на то, что с 1962 г. по 1972 г. председателем секции был профессор Казанского университета А.З. Петров, центром дискуссий по проблемам фундаментальной физики были два еженедельных семинара в МГУ под руководством профессора Д.Д. Иваненко: по понедельникам это был семинар по теоретической физике, а по четвергам гравитационный семинар. На этих семинарах выступал ряд видных зарубежных физиков (Дж. Уилер, Хойл, Э. Шмутцер, и др.), а также ведущие отечественные физики с изложением своих идей.

С 1972 г. по 1983 г. после кончины А.З. Петрова председателем секции гравитации был назначен

зав. кафедрой теоретической физики физфака МГУ А.А. Соколов, а его заместителями были Д.Д. Иваненко, В.Б. Брагинский и Ю.С. Владимирова. Этим составом руководства секции были организованы и проведены три Всесоюзные гравитационные конференции: в Ереване (1972 г.), Минске (1976 г.) и в Москве (1981 г.).

В то время после того как Вебер заявил об обнаружении гравитационных волн, во всем мире, в том числе и в МГУ, большое внимание уделялось обсуждению этой проблемы. Уже к тому времени В.Б. Брагинский повторил эксперименты Вебера и показал недостаточную их точность. В связи с этим он пригласил на гравитационную конференцию в Минске ряд зарубежных экспериментаторов, также занимающихся поиском гравитационного излучения. В итоге был сделан вывод о необоснованности утверждений Вебера об обнаружении им гравитационных волн.

В это время, проблемы фундаментальной физики, кроме семинаров Иваненко, активно обсуждались на ряде семинаров, образованных в других научных группах. Тогда же в 1972 г. был образован семинар под руководством автора этой статьи и Н.В. Мицкевича. На нашем семинаре в МГУ выступали В.А. Фок, В.Б. Брагинский, М.Ф. Широков, К.П. Станюкович и ряд других физиков.

Следует отметить, что в это время официально была создана еще одна более многочисленная гравитационная группа под руководством профессора К.П. Станюковича, который был увлечен идеей о наличии гравитационного вакуума, из которого необходимо научиться черпать энергию. Этой идеей он заинтересовал вышестоящее начальство, которое выделило средства на деятельность его гравитационной группы. Однако все усилия его группы добиться успеха в этом направлении оказались тщетными.

Проблемы оснований фундаментальной физики активно обсуждались академиком М.А. Марковым, отстаивавшим идею о тесной связи закономерностей микро- и макромира. Он писал: «Мы видим, что современная физика дает возможность совершенно по-новому трактовать содержание понятия <состоит из...>. Вселенная в целом может оказаться микроскопической частицей, микроскопическая частица может содержать в себе целую Вселенную. Сама возможность такого объединения противоположных свойств – свойства ультрабольшого и ультрамалого объекта, ультра-микроскопического и ультра-микроскопического – представляется не менее удивительной, чем объединение в одном объекте свойств корпускулы и волны» [8].

Под его руководством было проведено несколько школ-семинаров с характерным названием «Квантовая теория гравитации». Фактически эти школы представляли собой небольшие конференции, на которые приглашались ведущие зарубежные физики-теоретики.

На этих конференциях Марков излагал свои взгляды. Первая его школа-семинар состоялась в Москве в 1978 г. Последующие школы-семинары состоялись в 1980, 1984 и 1987 гг. Последняя, уже 6-я Марковская школа-семинар проводилась его учениками в 1995 г. уже после кончины Маркова.

В начале 80-х годов проблемами гравитации стал активно заниматься ректор МГУ академик А.А. Логунов, который выдвинул своеобразную релятивистскую теорию гравитации [9]. Эта теория с сокращенным названием РТГ провозглашалась им как альтернатива общей теории относительности. В это время Логунов взял на себя руководство секцией гравитации. Фактически под его началом в 1981 г. и в 1984 г. в МГУ были проведены две Всесоюзные гравитационные конференции, на которых предпринимались попытки заменить ОТО на РТГ. Однако, если общая теория относительности строилась на объединении категорий пространства-времени и полей в обобщенную категорию искривленного пространства-времени, то теория Логунова фактически возвращала назад к самостоятельности этих категорий. В гравитационном сообществе страны разгорелась дискуссия по данному вопросу. В научном сообществе доминировала (и продолжает доминировать) тенденция к построению единой теории на едином обобщенном начале. В итоге отечественное научное сообщество отказалось следовать теории Логунова. Убедившись в этом, Логунов фактически ликвидировал секцию гравитации НТС Минвуза СССР.

В это время в 1988 г. в Ереване проводилась 7-я Всесоюзная гравитационная конференция, на которой участники конференции на отдельном заседании обсудили сложившуюся ситуацию и решили организовать Всесоюзное гравитационное общество на общественных началах. В качестве президента общества был избран профессор В.Н. Мельников (ученик К.П. Станюковича), который активно включился в работу. Под руководством В.Н. Мельникова работал научный семинар на базе Института комитета стандартов. В работе этого семинара участвовали сотрудники созданной Станюковичем гравитационной группы, а также сотрудники других институтов.

В.Н. Мельников был президентом Общества (после 1991 г. уже Российского гравитационного общества) до своей кончины в 2017 г. За это время им было много сделано как для развития гравитационных исследований в нашей стране, так и для работ в области анализа оснований фундаментальной физики. Под его началом был создан журнал «Gravitation and Cosmology», издаваемый по настоящее время, регулярно с периодичностью раз в три года проводились Всероссийские гравитационные конференции в разных городах страны: в Пушкино на Оке (1993 г.), в Новгороде Великом (1996 г.), во Владимире (1999 г.), в Томске (2002 г.), в Казани (2005 г.), в Москве (РУДН,

2008 г.), в Ульяновске (2011 г.), в Казани (2014 г.). И все это делалось в том числе и в трудные для нашей страны 1990-е годы. Последняя такая 17-я конференция, подготовку которой начал В.Н. Мельников, состоялась в Калининграде в 2017 г. уже без него.

В 1980-х годах минувшего века наблюдался всплеск интереса к основаниям фундаментальной физики. Особо следует отметить исследования в области теории физических структур, основанной Ю.И. Кулаковым, выпускником физфака МГУ, где его научным руководителем был академик И.Е. Тамм. Основы этой теории были опубликованы Кулаковым в 1967 г. в книге «Элементы теории физических структур» (с дополнением Г.Г. Михайличенко) [10]. В этой теории были заложены основы математического аппарата триединой метареляционной парадигмы. В этой теории фактически предлагался отказ от построения физики на фоне привычного якобы априорно заданного классического пространства-времени. Предлагался математический аппарат, опирающийся на самостоятельную систему понятий и принципов, из которой строится в качестве вторичных структур общепринятые геометрии.

Отметим, что фактически теория физических структур представляла собой важный шаг в развитии третьей физической парадигмы – реляционной, отличающейся от двух общепринятых в XX веке парадигм (теоретико-полевой и геометрической). В ней фактически использовалась третья возможность объединения двух первичных категорий: пространства-времени и категории частиц в обобщенную категорию отношений. Это направление исследований было одобрено академиком И.Е. Таммом, который писал: «В рамках теории физических структур по-новому осмысливается проблема единства мира, – у современных ученых еще силен искушение решения этой проблемы в субстанциалистическом духе. Однако не исчерпал ли себя этот подход? С точки зрения теории физических структур более перспективно искать не исходную «первоматерию», а исходные «первоструктуры», – такая переформулировка проблемы единства мира представляется нам несравненно более преимущественной и в логическом, и в естественно-научном отношении» (1970 г.) [11].

Это направление исследований стало активно обсуждаться с 1984 г., когда на озере Баланкуль (южная Хакассия) состоялась первая школа-семинар по теории физических структур (ТФС). Затем совместно Ю.И. Кулаковым и автором этой статьи были проведены 10 школ-семинаров в различных городах страны: четыре школы в Пушкино на Оке (ТФС-87, ТФС-88, ТФС-89, ТФС-91), во Львове (ТФС-90), в Заокске (ТФС-91), в Ярославле (ТФС-93), в Горно-Алтайске (ТФС-94) [5]. Из-за сложной ситуации в нашей стране нам удалось провести последнюю 10-ю школу ТФС лишь в 2000 г. частично в Новосибирске, частично в

Горно-Алтайске. В работе этих школ принял участие ряд физиков, математиков и философов из разных городов страны. На заседаниях обсуждались как идеологические проблемы теории физических структур, так и математический аппарат этой теории. Особое внимание уделялось сопоставлению принципов и следствий этой теории с теориями общепринятых теоретико-полевой и геометрической парадигм.

Несмотря на поддержку со стороны академиков И.Е. Тамма, О.А. Ладыженской, а также профессоров С.Э. Шноля, Г.М. Иддиса, Р.И. Пименова и некоторых других, в те годы идеи этой теории не были восприняты современниками по ряду причин. Главными из них явились, во-первых, использование в группе Кулакова-Михайличенко лишь вещественных отношений между элементами и, во-вторых, тот факт, что авторы теории не применили математический аппарат для исследования актуальных проблем физики микромира. Последующие исследования в этой области показали важность математического аппарата этой теории для развития именно физики микромира, в частности квантовой и ядерной физики.

Следует отметить, что все отмеченные выше группы (школы) исследователей действовали на базе учебных или научных учреждений, где работали их руководители. В 1990-х годах в связи с трудностями в экономике страны стали возникать существенные трудности в финансировании мероприятий по тематике фундаментальной теоретической физики. В это время большую помощь стали оказывать некоторые успешные предприниматели.

Так, московский предприниматель А.Ф. Ионов помог провести (финансировал) летом 1995 г. в Ярославле на базе Ярославского педагогического института 1-ю Всероссийскую (Ионовскую) школу по основаниям теории физического пространства-времени. В этой конференции приняли участие видные отечественные физики: В.Г. Кадышевский, В.П. Левич, Ю.И. Кулаков, Вл.П. Визгин, Б.Л. Альтшулер, А.К. Гуц и другие из разных регионов страны.

А.Ф. Ионов, выступая на открытии этой школы, сказал: «В настоящее время наука в России находится в трудном положении. Прежде всего, это связано с чрезвычайно низким уровнем финансирования научно-исследовательских работ. В итоге оказалась под угрозой судьба многих научных школ и даже целых научных направлений. Это чревато самыми тяжелыми последствиями для будущего России. Необходимо спасать ключевые разделы российской науки, особенно те, где отечественные ученые всегда занимали передовые общепризнанные в мире позиции. Главное внимание должно быть сосредоточено на фундаментальной науке, а в ней, как мне представляется, составляет ядро – фундаментальная теоретическая физика – основа всего естествознания» [12].

К сожалению, финансовые возможности Ионova

вскоре резко сократились, и он уже не смог дальше финансировать подобные мероприятия.

В 2000-х годах ситуация в стране постепенно стала восстанавливаться, но тем не менее некоторые лица, успешно занимавшиеся экономической деятельностью, продолжали помогать развитию исследований в области фундаментальной физики. Так, выпускник Бауманского университета кандидат технических наук Д.Г. Павлов, занимающийся предпринимательской деятельностью, увлекся проблемами финслеровой геометрии и ее возможными проявлениями в физике. В одной из своих работ он писал: «На наш взгляд, если гипотеза о связи реальной геометрии пространства-времени с финслеровой геометрией Бервальда–Моора верна, то помимо известных в современной физике четырех фундаментальных полей должно существовать, как минимум, еще одно фундаментальное поле. (...) Источниками гиперболического взаимодействия должны являться не элементарные частицы, как в случае известных полей, а элементарные события, то есть особые точки финслерова пространства-времени» [13, с. 109–110].

Для развития своих идей он организовал (на собственные средства) научный институт «Финслеровы обобщения релятивистской теории». На базе этого института Д.Г. Павлов в Подмоскowie с 2004 г. стал проводить ежемесячные научные семинары, на которых выступали физики с докладами по более общей тематике. По тематике своего института Павлов стал проводить конференции сначала в Бауманском университете, а затем в зарубежных университетах. В 2006 г. и в 2007 г. эти конференции состоялись в Каире. (При этом был учтен интерес участников конференции к египетским пирамидам.) Участие российских коллег финансировалось Павловым. В 2009 г. аналогичная конференция состоялась в Будапеште, в 2011 г. в Румынии, а в 2012 г. в Болгарии. В последующие годы такие конференции проводились на базе РУДН.

Важно отметить, что Д.Г. Павлов за свой счет организовал в 2013 г. визит Р. Пенроуза в Россию, где Пенроуз выступил с рядом докладов по проблемам фундаментальной физики в Бауманском университете и в РУДН.

Наконец, следует отметить, что под руководством автора этой статьи на базе физического факультета МГУ и Института гравитации и космологии РУДН (возглавляемого профессором А.П. Ефремовым) сложился коллектив физиков, занимающихся основаниями фундаментальной физики. Деятельность этого коллектива основана на работе семинара «Основания фундаментальной физики», еженедельно работающего на кафедре теоретической физики физического факультета МГУ на протяжении уже более 50 лет. Наш семинар фактически представляет собой продолжение семинара профессора Д.Д. Иваненко. Отмечу, что семинар Иваненко следует рассматривать как продол-

жение семинара Я.И. Френкеля, который, в свою очередь продолжил работу семинара, основанного еще в дореволюционной России Эренфестом. Этот семинар работает в двойном режиме (как очно, так и в удаленном режиме). В семинаре активно участвуют сотрудники МГУ, РУДН, Института философии РАН и ряда других вузов и институтов Москвы и других городов страны. Кроме того, членами РАЕН регулярно проводятся семинары в РУДН, в Институте философии и в других учреждениях.

Деятельность нашей группы и семинара опирается на понимание того, что в настоящее время исследования в области фундаментальной физики ведутся в рамках трех парадигм [14, 15]. Сложившуюся ныне ситуацию в этой области естественно пояснить с помощью второго закона Ньютона $ma = F$, где три символа фактически соответствуют трем категориям в классической физике. Символ a (ускорение) соответствует категории пространства-времени, символ m обозначает свойство категории тел (массы частиц) помещенных в пространство-время, а символ F (сила) фактически соответствует полям, через которые взаимодействуют материальные объекты. На этих трех категориях строились представления об основаниях физического мироздания в классической физике. А то, что далее происходило в XX в., отражало стремление физиков к построению единой теории на меньшем числе категорий. В XX в. удалось перейти от трех к парам ключевых категорий, соответствующих трем промежуточным вариантам объединения пар исходных категорий в обобщенные.

Так, в общей теории относительности и в ее обобщениях производилось объединение категорий пространства-времени и полей переносчиков взаимодействия (главным образом гравитационных) в обобщенную категорию искривленного пространства-времени при сохранении самостоятельной третьей категории (частиц). Так возникла дуалистическая геометрическая парадигма, лежащая в основе обсуждений в рамках гравитационных конференций и совещаний.

В теоретико-полевой парадигме оказался реализованным второй вариант – объединение категорий частиц и полей переносчиков взаимодействий в обобщенную категорию поля при сохранении самостоятельности исходной категории пространства-времени, на фоне которой определяются поля и записываются уравнения движения.

К концу XX в. стало ясно, что имеется третий вариант – объединение категорий частиц и пространства-времени в обобщенную категорию отношений. Это означает наличие третьей дуалистической парадигмы – реляционной, основы которой были заложены в трудах Г. Лейбница, Э. Маха и ряда других мыслителей прошлого. Однако так получилось, что эта парадигма в XX веке оказалась в тени двух других

дуалистических парадигм, сформированных в этом столетии. Оказалось, что теория физических структур Ю.И. Кулакова соответствует именно идеям реляционной парадигмы. В центре внимания наших исследований лежит именно реляционная парадигма. Однако для этих исследований мы считаем необходимым учитывать достижения двух других парадигм.

Кроме семинара наш коллектив уже на протяжении 8 лет проводит общероссийские научные конференции «Основания фундаментальной физики и математики» на базе Российского университета дружбы народов (РУДН). В этих конференциях участвуют сотрудники научных и учебных заведений Москвы, Санкт-Петербурга, Ярославля, Казани, Воронежа и ряда других городов. В конференциях также принимают участие коллеги из Белоруссии, Казахстана и других стран. По материалам конференций издаются сборники тезисов сделанных докладов. В этих сборниках указывается, что конференции проводятся с участием РАЕН.

Кроме этого мы издаем журнал «Метафизика» (сейчас издано более 50 номеров этого журнала с ВАКовским статусом). Члены отделения РАЕН «Основания фундаментальной физики» активно участвует в издании журнала «Gravitation and Cosmology» (совместно РУДН и за рубежом), а также журнала «Пространство, время и фундаментальные взаимодействия» (ВАКовский журнал, издается частным образом).

Здесь были упомянуты далеко не все группы отечественных физиков, где выдвигались интересные новые идеи и для их развития организовывались семинары, писались статьи, созывались конференции. Среди них следует упомянуть работы Р.И. Пименова по аксиоматике геометрии. Пименов был в тесном контакте с А.Д. Сахаровым. Следует также назвать работы А.П. Левича о природе феномена времени. Он организовал длительное время действовавший семинар на биологическом факультете МГУ имени М.В. Ломоносова. Следует также упомянуть работы Я.И. Грановского и А.А. Пантюшина, построивших теорию прямого межчастичного гравитационного взаимодействия. Эти работы развивались и в других отечественных научных коллективах. Следует также упомянуть о Петровских чтениях, регулярно проводившихся на базе Казанского университета после кончины А.З. Петрова. Обо всем этом можно найти более подробную информацию в наших книгах [1–6].

В заключительной части статьи считаю нужным отметить, что многие физики ныне стремятся следовать общепринятой на Западе и у нас позиции, не учитывая мнений выдающихся отечественных физиков недалекого прошлого: И.Е. Тамма, Я.И. Френкеля, В.А. Фока, Д.Д. Иваненко и некоторых других.

Так, ныне принято большое внимание уделять космологии, конечно же, на базе эйнштейновской

ОТО. В связи с этим уместно напомнить высказывание В.А. Фока: «Вообще любая физическая теория – пусть это будет даже теория тяготения Эйнштейна – имеет предел применимости, и неограниченно экстраполировать ее нельзя». Или в другом месте он писал: «Прежде всего, неправильно видеть в нем (в решениях Фридмана, - Ю.В.) какую-то «модель мира в целом»: такая точка зрения представляется неудовлетворительной в философском отношении. Пространство Фридмана–Лобачевского может, самое большее, служить фоном для ограниченного числа галактик, подобно тому, как галилеево пространство служит фоном для объектов, подобных Солнечной системе» [16]. Еще более резко об этом говорил Д.Д. Иваненко, считая, что ОТО применима разве что в пределах отдельной галактики.

Аналогичное следует сказать и о тех, кто пытается на базе представлений о классическом пространстве-времени строить физику микромира.

Ряд авторов пытается найти решение современных проблем фундаментальной физики в понятии вакуума или эфира. По этому поводу Я.И. Френкель писал: «Мистицизм, т.е. вера в сверхъестественное, наименее уместен, казалось бы, в естественных науках. В действительности, однако, не только биология, но и физика не вполне свободны от мистических элементов. В области физических наук очагом, или средоточием, мистицизма является, по нашему мнению, понятие мирового эфира. Это понятие до сих пор многими учеными рассматривается как основание физического строения мира...» [17].

Наконец, следует отметить, что исследования в области оснований фундаментальной физики до настоящего времени проводились главным образом на базе государственных научных и учебных заведений, и лишь в последнее время стали создаваться научные коллективы на общественных началах. То же самое следует сказать о координации этих исследований. Некоторое время это осуществлялось в рамках научно-технического совета Минвуза СССР, а затем уже частично в рамках Российского гравитационного общества и частично в государственных учреждениях активных исследователей в этой области.

Долгое время центром исследований в области фундаментальной физики являлся физический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова, а после ликвидации А.А. Логуновым секции гравитации и ухода из жизни ряда ведущих физиков, центр этих исследований фактически переместился в Российский университет дружбы народов (в тесной связи с МГУ), на базе которого под руководством профессора А.П. Ефремова создан Институт гравитации и космологии. Для дальнейшего развития исследований в области оснований фундаментальной физики важно участие и поддержка со стороны РАЕН, где активизируется деятельность под новым руководством. Кроме того, необходимо

восстановление совместной деятельности в рамках Российского гравитационного общества, где также сменилось руководство (после кончины Мельникова деятельность гравитационного общества резко увяла), а также важно привлечение других общественных и частных организаций, заинтересованных в данной деятельности, от которой в будущем зависит развитие всех сфер деятельности государства.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Владимиров Ю.С.** Между физикой и метафизикой. Книга 1. Диамату вопреки. М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2010, 280 с.
2. **Владимиров Ю.С.** Между физикой и метафизикой. Книга 2 По пути Клиффорда–Эйнштейна. М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2011, 248 с.
3. **Владимиров Ю.С.** Между физикой и метафизикой. Книга 3. Геометрическая парадигма: испытание временем.. М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2011, 288 с.
4. **Владимиров Ю.С.** Между физикой и метафизикой. Книга 4. Вслед за Лейбницем и Махом. М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2012, 272 с.
5. **Владимиров Ю.С.** Между физикой и метафизикой. Книга 5. Космофизика Чижевского: XX век. М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2013, 280 с.
6. **Владимиров Ю.С.** От геометрофизики к метафизике: Развитие реляционной, геометрической и теоретико-полевой парадигм в России в конце XX – начале XXI века. М.: ЛЕНАНД, 2019, 408 с.
7. **Иваненко Д.Д.** Возможности единой теории поля / Философские проблемы теории тяготения Эйнштейна и релятивистской космологии. Киев: Наукова думка, 1965. С. 46.
8. **Марков М.А.** О современной форме атомизма // Избранные труды. 2000. Т. 1. М.: Наука. С. 448.
9. **Логунов А.А.** Лекции по теории относительности и гравитации. Современный анализ проблемы. М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1987. 272 с.
10. **Кулаков Ю.И.** Элементы теории физических структур (Дополнение Г.Г. Михайличенко). Новосибирск: Изд-во Новосиб. ГУ, 1968.
11. **Кулаков Ю.И., Владимир Ю.С., Карнаухов А.В.** Введение в теорию физических структур и бинарную геометрофизику. М.: Изд-во Архимед, 1991.
12. Тезисы докладов 1-й Ионовской школы-семинара. М.: Изд-во физического фак-та МГУ, 1995. С. 4–5.
13. **Павлов Д.Г.** Число, геометрия и реальность // Альманах «Метафизика. Век XXI». М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2012. Вып. 4. С. 317–333.
14. **Владимиров Ю.С.** Метафизика (2-е издание). М.: Изд-во БИНОМ. Лаборатория знаний, 2009, 568 с.
15. **Владимиров Ю.С.** Метафизические основания физики. М.: Изд-во УРСС, 2024.
16. **Фок В.А.** Квантовая физика и современные про-

блемы / Ленин и современное естествознание. М.: Мысль, 1969, с. 200.

17. ФРЕНКЕЛЬ Я.И. Мистика мирового эфира / На заре новой физики. Ленинград: Наука, 1970. С. 136.

REFERENCES

1. VLADIMIROV YU.S. Between Physics and Metaphysics. Book 1. Contrary to Dialectical Materialism. Moscow: Book House «LIBROKOM». 2010:280. (In Russian).
2. VLADIMIROV YU.S. Between Physics and Metaphysics. Book 2. On the Path of Clifford-Einstein. Moscow: Book House «LIBROKOM». 2011:248. (In Russian).
3. VLADIMIROV YU.S. Between Physics and Metaphysics. Book 3. The Geometric Paradigm: the Test of Time. Moscow: Book House «LIBROKOM». 2011:288. (In Russian).
4. VLADIMIROV YU.S. Between Physics and Metaphysics. Book 4. Following Leibniz and Mach. Moscow: Book House «LIBROKOM». 2012:272. (In Russian).
5. VLADIMIROV YU.S. Between physics and metaphysics. Book 5. Chizhevsky's Cosmophysics: XX century. Moscow: Book House «LIBROKOM». 2013:280. (In Russian).
6. VLADIMIROV YU.S. From geometrophysics to metaphysics: Development of relational, geometric and field-theoretical paradigms in Russia in the late twentieth – early twenty-first centuries. Moscow: LENAND, 2019:408. (In Russian).
7. IVANENKO D.D. Possibilities of a unified field theory. Collection. «Philosophical problems of Einstein's theory of gravitation and relativistic cosmology». Kyiv: Naukova Dumka. 1965:46. (In Russian).
8. MARKOV M.A. On the modern form of atomism. Selected works. Moscow: Science, 2000;1:448. (In Russian).
9. LOGUNOV A.A. Lectures on the Theory of Relativity and Gravitation. Modern Analysis of the Problem. Moscow: Nauka. Chief Ed. of Phys.-Math. Literature.1987:272. (In Russian).
10. KULAKOV YU.I. Elements of the Theory of Physical Structures (Supplement by G.G. Mikhailichenko). Novosibirsk: Novosib. State University Publishing House, 1968. (In Russian).
11. KULAKOV YU.I., VLADIMIROV YU.S., KARNAUKHOV A.V. Introduction to the Theory of Physical Structures and Binary Geometrophysics. Moscow: Archimedes Publishing House, 1991. (In Russian).
12. Abstracts of Reports of the 1st Ionov School-Seminar. Moscow: Publishing House of the Physics Faculty of Moscow State University, 1995:4–5. (In Russian).
13. PAVLOV D.G. Number, Geometry, and Reality. Almanac «Metaphysics. The 21st Century». Issue 4. Moscow: BINOM. Knowledge Laboratory, 2012:317–333.
14. VLADIMIROV YU.S. Metaphysics (2nd edition). Moscow: BINOM Publishing House. Knowledge Laboratory. 2009:568. (In Russian).
15. VLADIMIROV YU.S. Metaphysical Foundations of Physics. Moscow: URSS Publishing House, 2024. (In Russian).
16. FOCK V.A. Quantum Physics and Modern Problems. Collection «Lenin and Modern Natural Science». Moscow: Mysl, 1969:200. (In Russian).
17. FRENKEL YA.I. Mysticism of the World Ether. Collection «At the Dawn of New Physics». Leningrad: Nauka, 1970:136. (In Russian).

Владимиров Юрий Сергеевич, профессор физического факультета Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова, профессор Института гравитации и космологии РУДН

☎ 119991, г. Москва, Ленинские горы, д. 1,
119991, Moscow, Leninskie Gory, 1,
тел.: +7 (916) 455-72-54, e-mail: yusvlad@rambler.ru

УДК 612.014.4

DOI: 10.52531/1682-1696-2025-25-1-153-164

Научная статья

EDN: YETCNK

ГИПЕРОКСИЧЕСКАЯ САНОЛОГИЯ: ЧТО ЭТО ТАКОЕ?

П.Н. САВИЛОВТОГБУЗ «ТАМБОВСКАЯ ЦЕНТРАЛЬНАЯ
РАЙОННАЯ БОЛЬНИЦА», г. ТАМБОВ,
РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

Данная статья посвящена новому научному направлению в гипербарической медицине – гипероксической санологии. Её главная цель заключается в формировании у практических врачей единого методологического подхода к пониманию механизмов лечебного действия гипероксии, направленных на повышение саногенного потенциала здорового и больного организма. Объектом изучения является здоровый и больной организм. Предмет изучения – лечебные режимы нормобарической и гипербарической гипероксигенации, применяемые в клинике. Направление исследований: экспериментальное и клиническое. Гносеологической основой познания механизмов лечебного действия гипероксии предложена адаптационно-метаболическая теория гипербарической медицины А.Н. Леонова.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: гипероксия, саногенез, научное направление

*90-ой годовщине со дня рождения
профессора А.Н. Леонова (1929–2015)
посвящается*

ВВЕДЕНИЕ

Несмотря на то, что в настоящее время насчитывается огромное количество работ по применению гипербарической оксигенации (ГБО) при различных патологических состояниях, проблема эффективного использования сверхнасыщения организма кислородом с лечебной целью остается по-прежнему нерешенной [16, 31]. Причиной тому является отсутствие у большинства практикующих врачей, равно как и исследователей, единого методологического подхода к пониманию механизмов лечебного действия гипербарического кислорода [31, 44], что проявляется часто в неправильной интерпретации биологических эффектов гипероксии [3, 7, 11]. Следствием этого является, необоснованное сужение показаний к применению ГБО с лечебной целью [8, 11, 29, 40].

Original article

HYPEROXIC SANOLOGY: WHAT IS THAT?

P.N. SAVILOVTOGBUZ "TAMBOV CENTRAL DISTRICT
HOSPITAL", TAMBOV, RUSSIAN FEDERATION

This article is devoted to a new scientific direction in hyperbaric medicine - hyperoxic sanology. Its main goal is to form a unified methodological approach for practitioners to understand the mechanisms of the therapeutic effect of hyperoxia, which are aimed at increasing the sanogenic potential of a healthy and diseased organism. The object of study is a healthy and diseased organism. The subject of study is the therapeutic regimens of normobaric and hyperbaric hyperoxygenation used in the clinic. Research area: experimental and clinical. The adaptive-metabolic theory of hyperbaric medicine by A.N. Leonov is proposed as the gnoselological basis for understanding the mechanisms of the therapeutic effect of hyperoxia.

KEYWORDS: hyperoxia, sanogenesis, scientific direction

Это особенно заметно на примере формирования представлений о целесообразности привлечения гипербарической медицины к лечению больных: от одноместных барокамер до барооперационных (СССР) с последующим отказом от последних в пользу первых, потом отказу и от них с возвратом по сути к нормобарической оксигенотерапии в современной России. Иными словами, эволюция перешла в инволюцию. И это при том, что доказана способность ГБО: а) регулировать адаптацию организма к операционной агрессии [4, 17, 19]; б) устранять негативное влияние операции на организм [15, 16]; в) предупреждать развитие послеоперационных осложнений, сопровождающихся высокой летальностью [2, 27]; г) выступать синергистом лечебного эффекта операционного воздействия [34, 40]; д) снижать риск хирургического вмешательства [15, 20].

Одной из главных причин «охлаждения» клиницистов к гипербарической медицине является стереотипное представление о непременном токсическом влиянии гипероксии на организм [10, 31, 40], которым пытаются объяснить как отсутствие ожидаемого лечебного эффекта, так и ухудшение состояния организма после гипероксического воздействия [31, 32,

40]. В результате мы имеем либо необоснованный отказ от включения ГБО в лечение заболевания [29, 40], либо неправильно подобранные режимы оксигенотерапии [26], либо поиск веществ, защищающих организм от якобы токсического действия гипербарического кислорода при его лечебном применении [14, 15]. При этом апологетами токсического влияния гипероксии на организм не учитывается: а) что токсичные эффекты гипероксии получены при режимах гипероксигенации, не применяемых в практическом здравоохранении [15]; б) что доказана высокая адаптивная способность организма млекопитающих, включая человека, к лечебным режимам ГБО, в том числе при многократном гипероксическом воздействии [5, 8, 36].

С другой стороны, следует обратить внимание на широко бытующее мнение о том, что лечебный эффект гипероксии достигается исключительно за счет сверхнасыщения тканей кислородом [31, 32, 39, 40]. Однако с этих позиций нельзя объяснить сохранение лечебного эффекта гипероксии в условиях постгипероксической гипоксии, механизмы гипероксического прекодиционирования и кумулятивного эффекта курсового применения ГБО, равно как причины неэффективности ГБО при лечении гипоксических состояний. Отсюда не только безуспешные попытки повышения эффективности оксигенотерапии через увеличение величины давления в барокамере и изменения времени изопрессии, но и чехарда с оптимизацией количества сеансов ГБО при ее курсовом применении, а также необоснованные выводы о неэффективности оксигенотерапии при конкретной патологии. Получило распространение априори и ошибочное сужение о тождественности действия кислорода при нормо- и гипербарии.

Анализ вышеизложенного приводит к пониманию того, что назрела необходимость выделения в гипербарической медицине нового научного направления – гипероксической санологии (свидетельство №0336 от 20.09.2021 г.).

ГИПЕРОКСИЧЕСКАЯ САНОЛОГИЯ. ПРЕДМЕТ. ЦЕЛИ. ЗАДАЧИ

Гипероксическая санология – это раздел гипербарической медицины, который изучает механизмы выздоровления/оздоровления организма, запускаемые сверхнасыщением кислородом, разрабатывает оптимальные режимы гипероксического воздействия, методы контроля за эффективностью гипероксигенации, а также формирует научную базу для определения показаний применения гипероксии при конкретной патологии или с целью повышения саногенного потенциала организма.

Предметом изучения гипероксической санологии является как здоровый, так и больной организм, находящийся на различных стадиях эволюционного и

онтогенетического развития и подвергающийся воздействию гипероксии в лечебных (терапевтических) режимах. Сюда следует отнести и биологические эффекты гипероксического воздействия на организм: гипероксическое и постгипероксическое состояния, гипероксическое прекодиционирование, постгипероксическая гипоксия и т.д.

Главная цель гипероксической санологии – формирование у практических врачей единого методологического подхода к правильному пониманию лечебных (адаптогенных) механизмов гипероксического воздействия на организм. Если учесть, что санология это наука о здоровье, то гипероксическую санологию следует рассматривать и как раздел данной науки, изучающий механизмы повышения саногенного потенциала здорового и больного организма путем сверхнасыщения его кислородом в нормо- и гипербарических условиях.

Ограничивая область изучения влияния гипероксии на организм ее лечебными режимами, гипероксическая санология оставляет, тем самым, изучение влияния токсических режимов гипероксии на организм для специалистов в области авиакосмической и подводной медицины. Что касается задач, стоящих перед гипероксической санологией как научным направлением гипербарической медицины, то они представлены в табл. 1.

Сверхнасыщение организма кислородом достигается двумя путями (табл. 2): увеличением содержания кислорода во вдыхаемом воздухе без повышения атмосферного давления (нормобарическая гипероксигенация, НГО) и увеличением атмосферного давления (гипербария), в том числе в условиях «чистого» кислорода (гипербарическая оксигенация, ГБО).

Следует отметить, что НГО, по сути, и есть та самая оксигенотерапия [33], начинавшаяся в конце XIX века с применения «кислородных» подушек, сейчас широко используемая в стационарах с централизованной системой подачи кислорода через носовые катетеры, лицевые, носовые маски. С ней мы имеем дело и при высокопоточной неинвазивной вентилиации легких, в боксах для новорожденных, в процессе проведения эндотрахеального наркоза, когда в дыхательный контур аппарата искусственной вентилиации легких подается кислород для увеличения его концентрации во вдыхаемом воздухе на 30–50%.

В последнее время НГО предлагается использовать для гипероксического прекодиционирования с целью повышения устойчивости организма к действию чрезвычайного раздражителя [1]. Изобретение кислородных концентраторов позволило применять НГО и в домашних условиях. Однако, по существу, лечебный эффект такой гипероксигенации сводится исключительно к замещению утраченной вследствие заболевания легких способности данного органа насыщать кровь кислородом без какого то влияния на

ТАБЛИЦА 1.

Задачи гипероксической санологии, как научного направления в гипербарической медицине

ВЫЯВЛЕНИЕ	фило- и онтогенетических механизмов формирования адаптации организма к лечебным (нетоксичным) режимам гипероксического воздействия
	механизмов, детерминирующих специфические и неспецифические биологические эффекты гипероксии
	механизмов лечебного действия гипероксии на организм при конкретной патологии и роль реактивности организма в способности воспринимать гипероксию, как лечебный, а не патогенный фактор
	механизмов гипероксической регуляции адаптации организма к действию патогенного фактора
	факторов (механизмов), детерминирующих рефрактерность организма к гипероксическому воздействию и ее роль в гипероксическом саногенезе (патогенезе)
	условий, факторов и механизмов, лежащих в основе негативного (побочного) влияния лечебных режимов гипероксии на организм, а также выявление наиболее информативных критериев его прогнозирования и констатации
	причин неэффективности лечебного влияния гипероксии при конкретной патологии и поиск путей для повышения эффективности гипероксического влияния на организм с лечебной целью
ИССЛЕДОВАНИЕ	влияния гипероксии на фармакокинетику и фармакодинамику лекарственных средств (гипербарическая фармакология) с целью оптимизации сочетанного применения гипербарической кислородной и медикаментозной терапии
	лечебных механизмов сочетанного применения гипероксии и немедикаментозной терапии при конкретной патологии
ПОИСК	критериев оценки эффективности гипербарической кислородной терапии, позволяющих не только клинически, но и экономически эффективно использовать гипербарическую оксигенацию в курсовом режиме
РАЗРАБОТКА	математических моделей прогнозирования лечебных эффектов ГБО с целью оптимизации методик гипербарической кислородной терапии

ТАБЛИЦА 2.

Расчетные величины $P_{A}O_2$ (мм рт.ст) и CaO_2 (мл/100 мл крови/мм рт.ст) при дыхании в норме и гипербарической среде с различным FiO_2 ($P_{H_2}O$, $P_{A}CO_2$ и $R = \text{const}$) [21]

Воздух (FiO_2)	Исследуемые показатели	Величина барометрического давления (ата/кПа/ати)			
		1,0/101,3/0	1,5/155,5 /0,5	2,0/202,6/1,0	3,0/303,9/2,0
$FiO_2=0,21$	$P_{A}O_2$	101,8	187,2	261,4	421,0
	$Sr_{A}O_2$	0,32	0,39	0,41	0,44
$FiO_2=0,45$	$P_{A}O_2$	275,4	458,1	617,4	959,4
	$Sr_{A}O_2$	0,87	0,94	0,97	1,03
$FiO_2=0,65$	$P_{A}O_2$	420,0	683,5	914,0	1408,0
	$Sr_{A}O_2$	1,33	1,4	1,44	1,48
$FiO_2=0,95^*$ «чистый» кислород	$P_{A}O_2$	«Кислородная палатка»	Гипербарическая оксигенация		
		636,9	1022,6	1358,9	2080,5
	$Sr_{A}O_2$	2,01	2,11	2,15	2,19

Примечание: * – согласно современным исследованиям истинная величина FiO_2 во время сеанса ГБО не превышает 0,95; FiO_2 – содержание кислорода в воздухе дыхательной смеси; $P_{A}O_2$, $P_{A}CO_2$ и $P_{H_2}O$ – парциальное давление кислорода, углекислого газа и водяных паров в альвеолярном воздухе соответственно, $Sr_{A}O_2$ – содержание кислорода в артериальной крови. R – соотношение скорости выделения углекислого газа из крови в легкие к скорости поглощения ею кислорода из альвеолярного воздуха. В состоянии покоя при атмосферном давлении 760 мм рт.ст. $R=0,8$.

патологические процессы, приведшие к нарушению газообменной функции легких [33]. Между тем, наиболее выраженным действием на организм обладает гипербарический кислород, что проявляется широкой палитрой возникающих под его влиянием разнонаправленных изменений в организме, совокупность которых определяет изменение его саногенного потенциала [8, 15, 40].

Насмотря на ряд допущений, из расчетов, представленных в табл. 1, следует четыре вывода. Во-первых, повышение барометрического давления определяет степень сверхнасыщения организма газами дыхательной смеси. Во-вторых, наиболее эффективное насыщение артериальной крови кислородом достигается при сочетанном увеличении атмосферного давления и FiO_2 в дыхательной смеси. В-третьих, величину $SpaO_2$, соответствующую пребыванию в «кислородной палатке», можно достичь при меньшем FiO_2 , но большей гипербарии. В-четвертых, наиболее эффективно достижение сверхнасыщения организма кислородом происходит при ГБО. Отсюда следует не только правомочность разделения исследований влияния НГО и ГБО на самостоятельные разделы гипероксической санологии, но и необходимость взвешенного подхода при сопоставлении эффектов влияния НГО и ГБО на конкретные физиологические системы, биохимические реакции и морфологические структуры.

МЕТОДОЛОГИЧЕСКАЯ ОСНОВА ГИПЕРОКСИЧЕСКОЙ САНОЛОГИИ

В настоящий момент методологической основой, позволяющий объяснить лечебные эффекты гипероксии является учение о гипероксическом саногенезе [44], основу которого составляет адаптационно-метаболическая теория гипербарической медицины А.Н. Леонова [8]. Ее основные положения следующие:

1. Гипербарический кислород – это естественный универсальный адаптоген прямого, опосредованного и рефлекторного действия на организм в норме и патологии. Адаптогенная функция кислорода как биорадикала и сильного акцептора электронов в биологических системах детерминировала кинетику одноэлектронного переноса по ходу окислительно-восстановительных реакций.

2. Форма адаптации к гипероксии – защитная и приспособительная (мобилизирующее действие ГБО) и компенсаторная (заместительное действие ГБО) – определяется оксидационным и гипербарическим свойствами кислорода под повышенным давлением.

3. Тип адаптации к гипероксии – метаболический, функциональный, структурный – находится в прямой зависимости от специфической и неспецифической функций гипербарического кислорода.

4. Механизмы адаптации к гипероксии: адаптационно-метаболический (биосинтетический,

биоэнергетический, дезинтоксикационный), адаптационно-функциональный (регуляторный, эффекторный) и адаптационно-морфогенетический (клеточный, субклеточный, ультраструктурный);

5. Уровень адаптации к гипероксии – нормобиотический (корректирующее действие ГБО), гипербиотический (стимулирующее действие ГБО) и гипобиотический (ингибирующее действие ГБО) – реализуется через конформационные изменения реакционности молекул в метаболических процессах.

Адаптационно-метаболическая теория гипербарической медицины зиждется на фундаментальной закономерности: эволюционной роли кислорода как естественного универсального адаптогена, обеспечившего построение биологических систем потребления кислорода, его транспорта и самозащиты организма от окислительного разрушения. Эта эволюционная триада предопределила реальную возможность использования гипербарического кислорода в практическом здравоохранении [8].

Накопление в атмосфере кислорода началось тогда, когда на Земле в бескислородной среде уже существовали простейшие формы жизни (аноксифильные) [37, 38]. В результате перед ними стал выбор: либо выжить, адаптируясь к новым условиям, либо погибнуть. Как следствие начался эволюционный процесс трансформации одной формации жизни в другую: от анаэробной к аэробной биосфере. «При этом атмосферный кислород, как эволюционный преобразователь биосферы, выступил, подобно двуликому Янусу, в двух антагонистических качествах: с одной стороны в виде патогена для анаэробных, и, с другой, адаптогена для аэробных форм жизни» [8].

Эволюция живых организмов происходила параллельно с увеличением содержания кислорода в атмосфере. Поэтому есть все основания говорить, что «кислород как патоген сыграл иницирующую, даже созидательную роль в процессе построения такого эволюционного явления, как приспособление или адаптогенеза всей органической природы» [8]. С этих позиций становится понятной не только появление в древних прокариотических клетках оболочки вокруг ДНК, защищавшей последнюю от агрессивного воздействия кислорода и предопределившей появление эукариотических (ядросодержащих) клеток, но и симбиоз древней анаэробной эукариотической клетки с аэробной прокариотической клеткой – «прабабушки» современных митохондрий (рис. 1).

Атмосферный кислород стал активным участником естественного отбора генетических программ приспособления эукариотических клеток с максимальной выживаемостью организма. Это, в конечном счете, привело к появлению генетических механизмов адаптации к гипероксии [22], играющих ведущую роль, в частности, в таком биологическом эффекте сверхнасыщения организма кислородом, как гиперок-

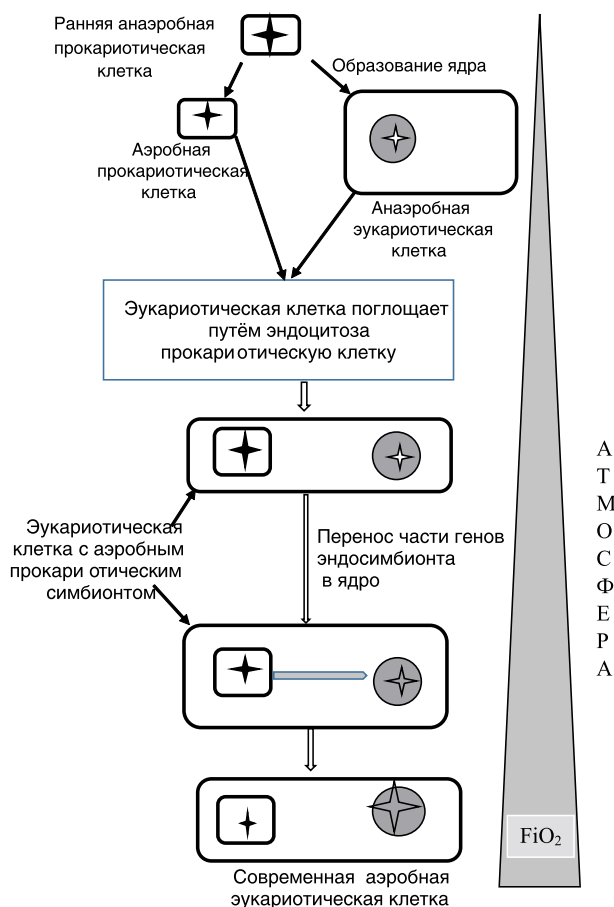


РИС. 1.

Предполагаемый путь эволюционного происхождения митохондрий с учетом эволюционного насыщения атмосферы кислородом [21]

сическое пре кондиционирование [21]. По ходу эволюции, происходившей при неуклонно повышающемся давлении кислорода (от 0 до 21 kPa), в окружающей среде создавались новые биологические молекулы, прежде всего специфические белки и ферменты, биологические формации обогащались адаптационными процессами, обеспечивающими молекулярный фундамент аэробной жизни— биоэнергетики, детоксикации и биосинтеза.

Наиболее отчетливо эволюционная составляющая механизмов адаптации к гипероксии проявляется при исследовании реакции на лечебные режимы ГБО филогенетически отличных отделов головного мозга млекопитающих. Как видно из табл. 3, окислитель фосфолипидов, с образованием дисиновых конъюгатов, кетодиенов и сопряженных триенов, в филогенетически отличных отделах головного мозга по-разному реагировало не только на однократное гипероксическое воздействие, но и на повышение гипероксической нагрузки путем увеличения количества сеансов ГБО

с одного до 18-ти. Неоднозначная реакция фосфолипидов на гипероксию в пределах исследуемых отделов головного мозга также имела место. При этом проявились три биологических эффекта адаптации указанных метаболических реакций к гипероксическому воздействию: ингибирование, стимуляция и рефрактерность к гипероксии [5].

Другим примером участия эволюции в формировании механизмов адаптации организма к гипероксическому воздействию является гипероксическая дилатация легочных сосудов, которая запускается сразу после рождения ребенка [18]. Дело в том, что в процессе внутриутробного развития плод находится в условиях относительно гипоксических по сравнению с атмосферным воздухом. Поэтому при рождении он сразу попадает в относительно гипероксическую среду, что приводит к запуску механизмов (рис. 2), сформировавшиеся и закрепившиеся в процессе эволюции, начиная с Девонского периода, когда у двоякодышащих рыб начали формироваться механизмы их выживания как в гипоксической, так и гипероксической среде обитания [18]. Не случайно нарушение этих механизмов при внутриутробной гипоксии плода приводит к развитию легочной гипертензии новорожденных [30].

Если гипербарический кислород рассматривать как естественный адаптоген, то на этой методологической основе ГБО занимает позицию универсального фактора, способного корригировать адаптационную регуляцию жизненных процессов здорового и больного организма. Совокупность метаболических, функциональных и морфогенетических реакций адаптации в целом определяет потенциальный резерв внутренних сил для сохранения здоровья и для противодействия болезни. Поэтому любое профилактическое или лечебное действие гипероксии достигает положительного эффекта лишь тогда, когда она окажется способной мобилизовать адаптационный ресурс организма в здоровом и больном состоянии на метаболическом, функциональном и структурном уровнях его биологической организации. Если организм к этому не способен, то эффективность лечебного применения ГБО будет либо недостаточной, либо отсутствовать совсем, либо будут наблюдаться признаки негативного влияния гипероксии.

МЕТОДИЧЕСКАЯ БАЗА ГИПЕРОКСИЧЕСКОЙ САНОЛОГИИ

Как говорил И.П. Павлов, «только пройдя через огонь эксперимента медицина станет тем, чем она должна быть». Поэтому естественно, что понимание глубинных механизмов лечебного влияния гипероксии на организм должно лежать, прежде всего, на эксперименте, позволяющем проводить исследования на тех уровнях организации живой материи, которые не возможны в клинике. Однако не следует умалять значение

ТАБЛИЦА 3.

Содержание и окислительные индексы диеновых конъюгатов (ДК), кетодиенов и сопряженных триенов (КТиСТ) в изопропанольных экстрактах головного мозга крыс при ГБО ($M \pm m$)

	Серии эксперимента	ДК Δ 232/мл гомогената	Окислительный индек, ДК Δ 232/ Δ 220	КТиСТ, Δ 278/мл гомогената	Окислительный индекс КТиСТ, Δ 278/ Δ 220
Ствол	Контроль (8)	$1,72 \pm 0,20$	$0,67 \pm 0,05$	$0,86 \pm 0,11$	$0,22 \pm 0,02$
	1 серия (7)	$1,73 \pm 0,27$	$0,70 \pm 0,01$	$1,19 \pm 0,33$	$0,64 \pm 0,22^*$
	5 серия (7)	$1,02 \pm 0,21^*$	$0,67 \pm 0,08$	$0,65 \pm 0,07$	$0,30 \pm 0,05$
	10 серия (8)	$2,09 \pm 0,15^{\blacksquare}$	$0,72 \pm 0,03$	$0,84 \pm 0,08$	$0,29 \pm 0,01^{*\bullet}$
	18 серия (7)	$1,01 \pm 0,33^*$	$0,54 \pm 0,03$	$0,69 \pm 0,09$	$0,40 \pm 0,08$
Мозжечок	Контроль (8)	$1,68 \pm 0,19$	$0,73 \pm 0,06$	$0,69 \pm 0,08$	$0,42 \pm 0,09$
	1 серия (7)	$1,66 \pm 0,42$	$0,75 \pm 0,04$	$0,81 \pm 0,13$	$0,34 \pm 0,07$
	5 серия (7)	$1,76 \pm 0,41$	$0,72 \pm 0,07$	$0,71 \pm 0,16$	$0,27 \pm 0,02$
	10 серия (8)	$2,63 \pm 0,32^*$	$0,81 \pm 0,01$	$1,15 \pm 0,23^*$	$0,36 \pm 0,06$
	18 серия (7)	$1,01 \pm 0,34^*$	$0,49 \pm 0,09^{*\bullet}$	$0,56 \pm 0,14$	$0,31 \pm 0,07$
Полушария	Контроль (8)	$2,28 \pm 0,32$	$0,82 \pm 0,07$	$1,02 \pm 0,09$	$0,38 \pm 0,05$
	1 серия (7)	$1,16 \pm 0,17^*$	$0,50 \pm 0,11$	$0,78 \pm 0,14$	$0,34 \pm 0,05$
	5 серия (7)	$1,49 \pm 0,26$	$0,72 \pm 0,05$	$0,72 \pm 0,24$	$0,24 \pm 0,03$
	10 серия (8)	$2,54 \pm 0,35^{\bullet}$	$0,83 \pm 0,02^*$	$0,73 \pm 0,11$	$0,30 \pm 0,01$
	18 серия (7)	$1,76 \pm 0,33$	$0,66 \pm 0,03^*$	$1,07 \pm 0,20$	$0,39 \pm 0,06$

Примечание: * ($p < 0,05$) – достоверность различий по сравнению с контролем, • ($p < 0,05$) – достоверность различий по сравнению с первым сеансом, $\blacksquare$ ($p < 0,05$) – достоверность различий по сравнению с пятым сеансом, $\blacklozenge$ ($p < 0,05$) достоверность различий по сравнению – с десятым сеансом. В скобках – число животных по сериям опытов [5]

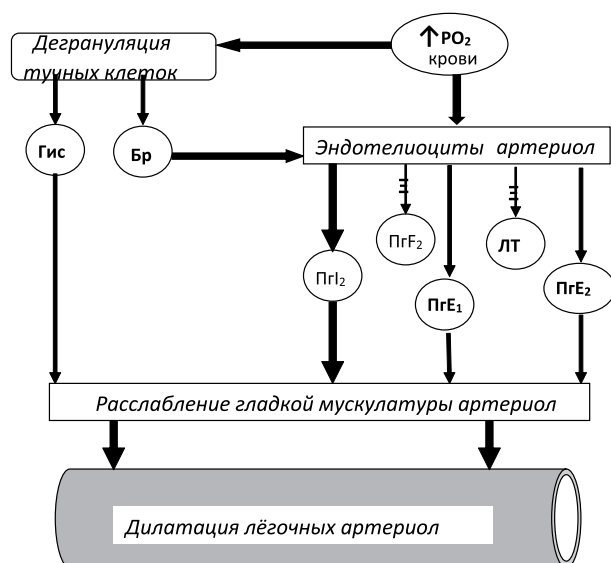


РИС. 2.

Механизм гипероксической дилатации легочных сосудов здорового плода.

Гис – гистамин, Бр – брадикинин, PrI_2 , PrE_1 , PrE_2 , $PrF_{2\alpha}$ – простагландины I_2 , E_1 , E_2 , и $F_{2\alpha}$; LtC_4 , LtD_4 – лейкотриены C_4 и D_4 ; $\uparrow PO_2$ – гипероксемия; Ξ – блокада. Жирные стрелки – стимулирующее влияние [18]

и клинических исследований, особенно учитывая современный уровень развития неинвазивных технологий. Между тем, закрепившаяся в ходе эволюции знаковая роль реактивности организма в его адаптации к сверхнасыщению кислородом делает необходимым изменить парадигму экспериментального изучения механизмов гипероксического саногенеза. Для этого в гипероксической санологии предлагается к обсуждению иная схема эксперимента – «квартет»: норма $\Leftrightarrow$ патология $\Leftrightarrow$ патология + гипероксия $\Leftrightarrow$ норма + гипероксия. Примером может служить изучение реакции глутаминсинтетазы печени на трехдневный курс ГБО в терапевтическом режиме (рис. 3).

Исследования были проведены на 104 крысах, разделенных на 9 серий опытов. 1 серия – интактные животные (норма), 2-я серия – здоровые «ложнооперированные» животные, исследованные на 3-и сутки после лапаротомии, 3 серия – здоровые животные, исследованные на 3-и сутки после резекции печени (РП, часть левой доли, что составляло 15–20% от массы органа), 4 серия – здоровые животные, исследованные на 3-и сутки после РП и ГБО, 5 серия – неоперированные здоровые животные, исследованные после 3-го сеанса ГБО, 6-я серия – животные с хроническим тетрахлометановым (CCl_4) гепатитом, исследованные

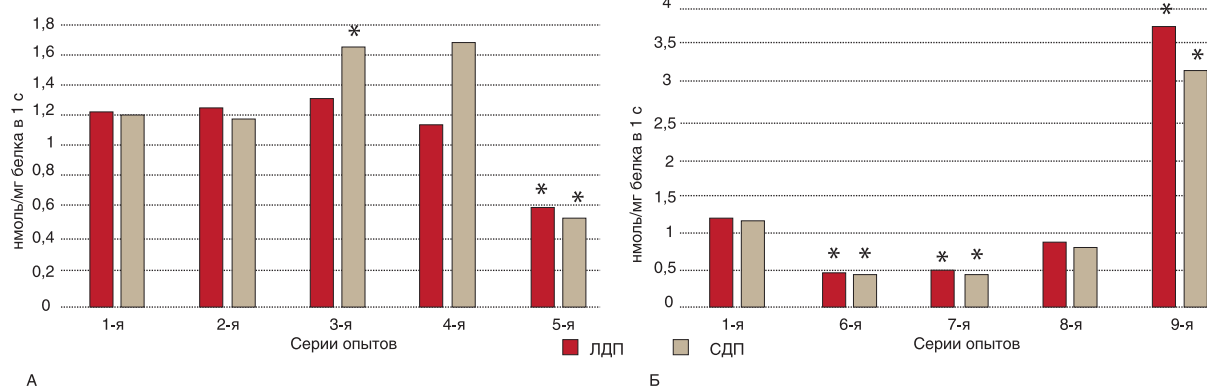


РИС. 3.

Динамика активности глутаминсинтетазы в микросомальной фракции гепатоцитов здоровых (А) и больных (Б) крыс после резекции печени и курса ГБО [24]

ЛДП – левая доля печени, СДП – средняя доля печени *($p < 0,05$) – по отношению к первой серии опытов (норма)

на 65-е (последние сутки его введения), 7-я серия – животные с CCl_4 -гепатитом, исследованные на 3-и сутки после лапаротомии, 8-я серия – животные с CCl_4 -гепатитом, исследованные на 3-и сутки после РП, 9-я серия – животные с CCl_4 -гепатитом на 3-и сутки после РП и ГБО.

Как видно из рис. 3, глутаминсинтеза гепатоцитов, находящихся в различном функциональном состоянии, по разному реагировала на одно и то же гипероксическое воздействие: снижением своей активности в здоровой неоперированной печени (5-я серия), отсутствием изменений активности фермента в оперированной печени здоровых животных (4-я серия) и повышением активности фермента в оперированной печени животных с CCl_4 -гепатитом (9-я серия). Если в оперированной печени здоровых животных в условиях применения ГБО сохранялось стимулирующее влияние РП на активность глутаминсинтетазы в неповрежденной СДП (рис. 3 А), то в оперированной печени животных с CCl_4 -гепатитом ГБО оказывала выраженное стимулирующее влияние на активность фермента в обеих исследуемых долях органа (рис. 3 Б).

Как видим из рис. 3, разработанный воронежской школой патофизиологов проф. А.Н. Леонова новый алгоритм экспериментального исследования дает возможность наглядно продемонстрировать ведущую роль реактивности организма в проявлениях эффекта гипероксии. Главным ее условием является воздействие одного и того же режима ГБО на один и тот же объект исследования (фермент, реакция, процесс и т.д.) при различном состоянии организма на момент гипероксического воздействия. Именно такой подход позволил открыть всю широту и многообразие адаптивных реакций организма к ГБО.

Если речь должна идти об изучении механизмов гипероксического прекоондиционирования, то схема

планирования эксперимента «квартет» может трансформироваться в «квинтет» в результате добавления 5 серии исследований: «гипероксия+ патологическое воздействие». Но она может трансформироваться и в классическое «трио», если целью является изучение механизмов повышения устойчивости здорового организма к действию стрессовых (патогенных) факторов. Что касается схемы «дуэт» (норма $\leftrightarrow$ норма + гипероксия), то ее использование хорошо для изучения фило- и онтогенетических механизмов адаптации здорового организма к лечебным режимам гипероксии, а также его резервных возможностей при многократном гипероксическом воздействии в терапевтических режимах. Это хорошо продемонстрировано в ряде исследований [5, 36].

ГИПЕРОКСИЧЕСКАЯ САНОЛОГИЯ И ЛЕЧЕБНЫЙ ПРОЦЕСС

Гипероксическая санология позволит «навести порядок» в режимах ГБО, применяемых в клинике. Это имеет важное значение не только для повышения эффективности ГБО-терапии и снижения себестоимости сеанса ГБО, но и создания доказательной базы эффективности данного метода при конкретной патологии и у конкретного больного. Как видим из табл. 4 применение ГБО у больных COVID-19 различалось не только по величине давления, времени изопрессии, количеству сеансов ГБО, но и по единицам измерения атмосферного давления в барокамере [25].

Однако во всех случаях был отмечен позитивный эффект: у больных COVID-19 устранялось развитие или предотвращалось прогрессирование дыхательной недостаточности, в связи с чем устранялся риск перевода на инвазивную вентиляцию легких (ИВЛ) и они выписывались домой. Между тем у больных COVID-19, находившихся на ИВЛ, летальность составляла 85–100% [6]. Кроме этого, применение ГБО

ТАБЛИЦА 4.

Количество прооксигенированных больных с COVID-19 и режимы гипербарической оксигенации по данным литературы [25]

№	Количество больных	Рабочее давление (ата)	Длительность, мин	Количество сеансов	Источник
12	5	2,0	90	1 сеанс/день	Thibodeaux K. et al., 2020
3	57	1,4–1,6	40	1 сеанс в день (6–8 дней)	Петриков С.С., с соавт., 2020
4	5	1,45	90	1 сеанс/день	Paganini M., et al., 2020
5	1	2,0	60	1 сеанс/день (7 сеансов)	Zhong X., et. al., 2020
6	234***	2,0	75	1 сеанс в день	Эл. рес., 2020
7	40**	1,45	90	1 сеанс в день	Эл. рес., 2020
8	32	1,6	60	1 сеанс/день (6–8 дней)	Левина О. А., с соавт., 2020
9	20	1,6	60	1 сеанс в день (5–7 дней)	Ефремова О.Ю., с соавт. 2020
10	34	1,5; 2,0; 4,0 psi*	30	1 сеанс/день (4 дня)	Самойлов А. С., с соавт. 2020
11	2	1,5	60	1 сеанс/день (7 дней)	Guo D., et al., 2020
12	20	2,0	90	1 сеанс/день (5 дней)	Gorenstein S. A, et al., 2020
13	200***	1,6–2,4	30–60	1 сеанс в день	Эл. рес.
14	30**	2,2	60	8 сеансов за 4 дня	Эл. рес

Примечание: * PSI – одна из величин измерения давления, 1 PSI = 0,068 физической атмосферы, ** – рандомизированные одноцентровые исследования, *** – рандомизированные многоцентровые исследования; Эл.рес. – электронный ресурс.

при COVID-19 не только быстро устраняла зависимость от кислорода, но и сокращало его расход [13, 25, 28, 42]. Однако возникает вопрос об оптимальной величине давления, времени изопрессии и количестве сеансов ГБО при данной патологии, что требует проведения дополнительных исследований. Хочется надеяться, что проводимые в рамках гипероксической санологии исследования разрешат наконец и проблему «дозы» ГБО [7–9], дискуссии вокруг которой сдерживают дальнейшего развитие гипербарической медицины.

Гипероксическая санология позволит решить еще одну проблему: оценку эффективности применения ГБО с позиции доказательной медицины. Последняя не учитывает тот факт, что в отличие от медикаментозных и немедикаментозных методов лечения эффективность ГБО находится в прямой зависимости от способности организма воспринимать гипербарический кислород как лечебный фактор [8, 43, 44]. Это, в свою очередь, детерминировано состоянием защитно-приспособительных и компенсаторных механизмов организма, мобилизуемых при действии патогенного агента. Истощение их приводит либо к снижению, либо к отсутствию ожидаемого эффекта ГБО, либо проявлению негативного влияния гипе-

роксии на организм. Актуальность решения данной проблемы становится понятной, если рассматривать использование ГБО при отравлении угарным газом. Несмотря на то, что данный метод является «золотым стандартом» лечения данной патологии (клинические рекомендации РФ версия 2018–2020 гг.), в научной среде уже давно идут споры о преимуществах НГО перед ГБО в виду «неэффективности» последней [11, 39, 41]. Между тем при внимательном рассмотрении указанных работ видно, что многие авторы полностью игнорируют роль длительности предгипероксического периода при ГБО-терапии отравления угарным газом в оценке эффективности оксигенобаротерапии при данной патологии. Это касается и экспериментальных работ, где лечебный эффект гипероксии при отравлении угарным газом часто оценивается по одному сеансу ГБО. Видимо авторы наивно полагают, что кратковременное насыщение организма кислородом должно быть достаточно, чтобы устранить последствия гистотоксической гипоксии, вызванной отравлением окисью углерода.

Между тем гипероксическая санология, аккумулируя в себе клинические и экспериментальные исследования по изучению роли предгипероксического периода в эффективности применения оксигеноба-

ротерапии, поможет устранить не только указанные выше противоречия, но и прекратить безуспешное применение ГБО как «жест отчаяния» (когда все уже испробовано) при urgentных патологических состояниях. Такой подход дискредитирует данный метод лечения. И, наоборот, формируя методологическое мышление врачей с позиций гипероксического саногенеза, гипероксическая санология научит их своевременному использованию ГБО с целью профилактики развития критических состояний или создания условия для их быстрого купирования в случае возникновения. Примером этого может служить включение ГБО в лечение и профилактику развития дыхательной недостаточности при SARS-CoV-2- ассоциированной пневмонии [13, 25, 28, 42].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании вышеизложенного можно говорить о том, что гипероксическая санология, как новое научное направление в гипербарической медицине, позволит устранить многие существующие противоречия в оценке эффективности сверхнасыщения больного организма кислородом, его последствий и показаний к целесообразности его осуществления в нормобарических или гипербарических условиях. Она поможет сформировать у врачей единый методологический подход к пониманию механизмов влияния гипероксии на здоровый и больной организм, роли состояния его функционально-метаболических и морфогенетических систем на момент оксигенации для проявления лечебного эффекта гипербарической оксигенации. Остановившись только на изучении лечебных режимов гипероксического воздействия, гипероксическая санология позволит прежде всего упорядочить, а по возможности унифицировать схемы применения сеансов гипербарической оксигенации при конкретной патологии; обратив внимание исследователей на изучение эффектов гипероксии, вызываемых лечебными режимами гипероксигенации, равно как адаптацию здорового и больного организма к ним. В конечном счете это приведет не только к устранению необоснованных противопоказаний к применению оксигенобаротерапии, но и аргументированному расширению ее внедрения в практическое здравоохранение.

ЛИТЕРАТУРА

1. Архипенко Ю.В., Сазонтова Т.Г., Жукова А.Г. Повышение резистентности мембранных структур сердца, печени и мозга при адаптации к периодическому действию гипоксии и гипероксии. // Бюллетень экспериментальной биологии и медицины 2005. Т. 40, №3. С. 78–81. DOI: 10.1007/s10517-005-0466-0
2. Байдин С.А., Бурмистров И.Ю., Порва И.В. Гипербарическая оксигенация в комплексе предоперационной подготовки у детей с хирургическими пороками развития толстой кишки. // Бюллетень гипербарической биологии и медицины. Воронеж, 1999. Т. 7. №1–4. С. 57–58.
3. Барсуков В.А., Малышев Ю.А., Барсуков М.В., Деева Т.С. Определение периферического пульсового кровотока методом тетраполярной реографии и условия его применения для оценки эффективности оксигенотерапии. // Бюллетень гипербарической биологии и медицины. Воронеж, 1997. Т. 5. №3–4. С. 62–67.
4. Белокуров Ю.Н., Рыбачков В.В. Гипербарическая оксигенация при критических состояниях в хирургии Ярославль, 1983.
5. Булгакова Я.В., Савилов П.Н. Перекисное окисление липидов и антиоксидантная система головного мозга крыс при адаптации к гипероксической нагрузке // Патологическая физиология и экспериментальная терапия. 2022. Т. 63. №3. С. 80–90. DOI: 10.25557/0031-2991.2022.03.80-90
6. Глыбочко П.В., Фомин В.В., Моисеев С.В. Исходы у больных с тяжелым течением COVID-19, госпитализированных для респираторной поддержки в отделения реанимации и интенсивной терапии // Клиническая фармакология и терапия. 2020. № 3. С. 25–36. DOI: 10.32756/0869-5490-2020-3-25-36.
7. Кулешов В.И., Охотников С.В., Шевченко С.Б. Актуальные проблемы баротерапии // Мат-лы 5-й Всеармейской науч.-практич. конф. «Баротерапия в комплексном лечении и реабилитации раненых, больных и пораженных». СПб. 2003. С. 24–28.
8. Леонов А.Н. Гипероксия. Адаптация. Саногенез. Воронеж, 2006.
9. Лисовский А.И., Лисовская Н.А. Лечебные режимы // Мат-лы 8-й Всеармейской науч.-практич. конф. «Баротерапия в комплексном лечении и реабилитации раненых, больных и пораженных» СПб. 2012. С. 54–55.
10. Орлов Ю.П. Митохондриальная дисфункция при критических состояниях. Решат ли проблему сукцинаты? СПб.: ООО «Алюгиз», 2019.
11. Очколяс М.В. Дифференцированный подход к выбору показаний и тактики проведения ГБО при отравлении угарным газом // Мат-лы между. науч. конгресса «Многопрофильная клиника XXI века. Инновации в медицине-2017» СПб., 2017. С. 230–231.
12. Пелешенко Е.И., Черных И.К., Чернухин Ю.В. Спектральный анализ частот сердечных сокращений при действии ГБО в различных режимах // Механизмы гипербарической оксигенации (ред. А.Н. Леонов) Воронеж, 1986. С. 119–123.
13. Петриков С.С., Евсеев А.К., Левина О.А., Шабанов А.К., Горончаровская И.В. и др. Эффективность включения гипербарической ок-

- сигенации в комплексную терапию пациентов с COVID-19: ретроспективное исследование // Морская медицина. 2022. Т. 8, № 3. С. 48–61. DOI: 10.22328/2413-5747-2022-8-3-48-61.
14. Родионов В.В., Мельников Г.П., Шпектор В.А. Антиоксиданты и их роль в практике // Вопросы гипербарической медицины. 2014, спец-выпуск. С. 48–50.
 15. Руководство по гипербарической медицине (ред С.А. Байдин, А.Б. Граменецкий, Б.А. Рубинчик) М.: Медицина, 2008.
 16. Савилов П.Н., Яковлев В.Н. Леонов А.Н. Роль гипербарической оксигенации в механизмах детоксикации аммиака при резекции печени на фоне хронического гепатита // Анестезиология и реаниматология. 1994. №6. С. 31–34.
 17. Савилов П.Н., Васильев М.В. Стратегия и тактика развития гипербарической медицины в России на современном этапе // Бюллетень гипербарической биологии и медицины. Воронеж, 2003. Т. 11. №1–4. С. 3–20.
 18. Савилов П.Н. Гипероксическая дилатация легочных сосудов // Бюллетень гипербарической биологии и медицины. 2004. Т. 12. № 1–4. С. 45–85.
 19. Савилов П.Н. Молчанов Д.В. Влияние гипербарической оксигенации на кругооборот мочевины в организме при частичной гепатэктомии в эксперименте // Общая реаниматология. 2018. Т. 14. №4. С. 52–63. DOI:10.15360/1813-9779-2018-4-52-63.
 20. Савилов П.Н. Противовоспалительное действие гипербарического кислорода при лечении язвенной болезни: обзор // Морская медицина. 2023. Т. 9. № 1. С. 7–18 DOI: <http://dx.doi.org/10.22328/2413-5747-2023-9-1-7-18>
 21. Савилов П.Н. Гипероксическое состояние организма // Бюллетень гипербарической биологии и медицины. Воронеж. 2005. Т. 13. №1–4. С. 30–95.
 22. Савилов П.Н. Генетические механизмы гипероксического саногенеза // Бюллетень гипербарической биологии и медицины. 2007. Т. 15. №1–4. С. 3–56.
 23. Савилов П.Н. Исторические вехи леоновского учения о гипероксическом саногенезе. Вестник РАЕН. 2019. Т. 19. №4. С. 87–94.
 24. Савилов П.Н., Яковлев В.Н. Реакция глутаминсинтетазы гепатоцитов на повреждение печени и гипербарическую оксигенацию // Бюллетень экспериментальной биологии и медицины. 2015. Т. 160. №9. С. 272–275.
 25. Савилов П.Н. К вопросу об изучении гипероксического саногенеза SARS-CoV-2-ассоциированной пневмонии // Морская медицина. 2022. Т. 8. № 1. С. 7–19, <http://dx.doi.org/10.22328/2413-5747-2022-8-1-7-19>
 26. Семиголовский Н.Ю. Опыт применения ГБО в остром периоде инфаркта миокарда (ИМ), Кому, когда и как? // Тезисы докладов науч.-практич. конф. «Режимы оксигенотерапии в комплексном лечении и реабилитации раненых, больных и пораженных» 31.05-1.06.1994 г. Санкт-Петербург, СПб.: Типография ВИР, 1994 С. 23.
 27. Смянович А.Ф., Шанько Ю.Г., Козыро В.И. ГБО в хирургии околостволовых опухолей задней черепной ямки // Бюллетень гипербарической биологии и медицины. Воронеж, 1999. Т. 7. №1–4. С. 46–61.
 28. Струк Ю.В., Савилов П.Н., Якушева О.А., Вахтина Е.Б., Ефремова О.Ю. и др. Применение гипербарической оксигенации у больных новой коронавирусной инфекцией COVID-19// Морская медицина. 2023. Т. 9. № 2. С. 56–67. <https://doi.org/10.22328/2413-5747-2023-9-2-56-67>
 29. Теплов В.М., Разумный Н.В., Повзун А.С. Возможности применения гипербарической оксигенации в неотложной медицине: учебно-методическое пособие. СПб., 2017.
 30. Физиология и патология легочных сосудов (под ред Е.К. Уэйра, Дж.Т. Ривса (Пер с англ.) М.: Медицина, 1995.
 31. Шпектор В.А., Колчина Е.Я., Мельников Г.П. О некоторых клинических проблемах ГБО // Бюллетень гипербарической биологии и медицины. Воронеж, 1996. Т. 4. №1–4. С. 71–85.
 32. Шпектор В.А., Колчина Е.Я., Демуров Е.А., Мельников Г.П. ГБО как одно из направлений современной клинической медицины // Бюллетень гипербарической биологии и медицины. Воронеж. 1997. Т. 5. №1–2. С. 36–62.
 33. Шпектор В.А., Мельников Г.П., Колчина Е.Я. Нормобарическая оксигенотерапия (показания, осложнения, методики) // Бюллетень гипербарической биологии и медицины 2000. Т. 8. №3–4. С. 41–63.
 34. Шульга Н.И., Евтюхин А.И. Гипербарическая оксигенация как компонент хирургического комплексного лечения онкологических больных // Бюллетень гипербарической биологии и медицины Воронеж, 1999. Т. 7. №1–4. С. 47–49.
 35. Яковлев В.Н., Савилов П.Н. Глутаминовый цикл в филогенетически разнородных структурах головного мозга при геморрагическом шоке и гипербарической оксигенации // Вестник РАЕН. 2020. Т. 20. №1. С. 66–73.
 36. Яковлев Н.В., Савилов П.Н. Перекисное окисление липидов и антиоксидантная система легких при гипербарической оксигенации и ее последствия: проспективное исследование // Морская медицина. 2023. №9 (3). С. 84–90. DOI: <http://dx.doi.org/10.22328/2413-5747-2023-9-3-84-90>
 37. Crowe S.A., Døssing L.N., Beukes N.J., Bau M., Kruger S.J. et al. Atmospheric oxygenation three billion years ago (англ.). Nature, 2013. Iss. 501, N 7468. P. 535–538. DOI:10.1038/nature12426. PMID

- 24067713
38. FUTUYMA DOUGLAS J. Evolution. Sunderland, Massachusetts: Sinuer Associates, Inc, 2005.
 39. CHUN-HUNG LIN I., WEI-HAIANG SU, YING-CHUN CHEN, PO-HAO FENG, WAN-CHEN SHEN JIANN-RUEY ONG ET. AL. Treatment with normobaric or hyperbaric oxygen and its effect on neuropsychometric dysfunction after carbon monoxide poisoning: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials // *Medicine (Baltimore)*. 2018 Sep; 97(39):e1245.
 40. Handbook of Hyperbaric Medicine / ed. by D. Mathieu. Springer (Netherlands), 2006.
 41. BUCKLEY N.A., ISBISTER G.K., STOKES B., JUURLINK D.N. Hyperbaric oxygen for carbon monoxide poisoning: a systematic review and critical analysis of the evidence // *Toxicol Rev* 2005. № 24(2). P. 75–92.
 42. PAGANINI M., PEROZZO B.G., F.A.G. The role of hyperbaric oxygen treatment for COVID-19: a review. // *Advances in Experimental Medicine and Biology*, 2020, Vol. 1289, P. 27–35. doi: 10.1007/5584_2020_568.
 43. SIVILOV P.N. Some aspects of Leonov's teachings on the hyperoxic sanogenesis // *Norwegian Journal of development of the international Science*. 2019. №1(33). Pt.1:24–31.
 44. SIVILOV P.N. Forms of Adaptation to Hyperoxia // *Norwegian Journal of development of the international Science* 2021. № 1(55). P. 26–32 DOI: 10.24412/3453-9875-2021-55-1-26-32.
 6. GLYBOCHKO P., FOMIN V., MOISEEV S. ET AL. Clinical outcomes of patients with COVID-19 admitted for respiratory support to the intensive care units in Russia. *Klinicheskaya farmakologiya i terapiya*. 2020;29(3):25–36. (In Russian)
 7. SHEVCHENKO S.B. Actual problems of barotherapy. Materials of the 5th All-Army scientific and practical conferences. "Barotherapy in the complex treatment and rehabilitation of the wounded, sick and affected" S.Pb.2003:24–28. (In Russian).
 8. LEONOV A.N. Hyperoxia. Adaptation. Sanogenesis. Voronezh, 2006. (In Russian).
 9. LISOVSKY A.I., LISOVSKAYA N.A. Therapeutic regimes. Materials of the 8th All-Army Scientific and Practical Conference. conferences. "Barotherapy in the complex treatment and rehabilitation of the wounded, sick and affected". 2012:54–55. (In Russian).
 10. ORLOV YU.P. Mitochondrial dysfunction in critical conditions. Will succinates solve the problem? Saint Petersburg: Alugiz LLC, 2019. (In Russian).
 11. OCHKOLYAS M.V. A differentiated approach to the choice of indications and tactics for conducting HBO in case of carbon monoxide poisoning. Materials of the international scientific Congress. "Multidisciplinary clinic of the XXI century. Innovations in medicine-2017". Saint Petersburg, 2017:230–231. (In Russian).
 12. PELESHENKO E.I., CHERNYKH I.K., CHERNUKHIN YU.V. Spectral analysis of heart rates under the action of HBO in various modes. Mechanisms of hyperbaric oxygenation (ed. A.N. Leonov) Voronezh, 1986:119–123. (In Russian).
 13. PETRIKOV S.S., EVSEEV A.K., LEVINA O.A., SHABANOV A.K., GORONCHAROVSKAYA I.V., POTAPOVA N.A., SLOBODENIUK D.S., GRIN A.A. The effectiveness of the inclusion of hyperbaric oxygenation in the complex therapy of patients with COVID-19: retrospective study. *Morskaya meditsina*, 2022;8;(3):48–61. (In Russian).
 14. RODIONOV V.V., MELNIKOV G.P., SHPEKTOR V.A. Antioxidants and their role in practice. *Voprosy giperbaricheskoy meditsiny*. Special issue. 2014:48–50.
 15. Handbook of hyperbaric medicine. Ed. S.A. Baidin, A.B. Gramenetsky, B.A. Rubinchik. Moscow: Medicine, 2008. (In Russian).
 16. SIVILOV P.N., YAKOVLEV V.N. LEONOV, A.N. The role of hyperbaric oxygenation in the mechanisms of ammonia detoxification during liver resection against the background of chronic hepatitis. *Anesteziologiya i reanimatologiya*. 1994;6:31–34. (In Russian).
 17. SIVILOV P.N., VASILIEV M.V. Strategy and tactics of development of hyperbaric medicine in Russia at the present stage. *Byulleten' giperbaricheskoy biologii i meditsiny*. Voronezh, 2003;11;(1–4):3–20. (In Russian).
 18. SIVILOV P.N. Hyperoxic dilation of pulmonary vessels. *Byulleten' giperbaricheskoy biologii i meditsiny*. 2004;12;(1–4):45–85. (In Russian).
 1. ARKHIPENKO YU.V., SAZONTOVA T.G., ZHUKOVA A.G. Increased resistance of the membrane structures of the heart, liver and brain during adaptation to the periodic effects of hypoxia and hyperoxia. *Bulletin of Experimental Biology and Medicine* 2005;40;(3):78–81. (In Russian).
 2. BAYIDIN S.A., BURMISTROV I.YU., PORVA I.V.A. Hyperbaric oxygenation in the complex of preoperative preparation in children with surgical malformations of the colon. *Byulleten' giperbaricheskoy biologii i meditsiny*. Voronezh, 1999;7;(1–4):57–58. (In Russian).
 3. BARSUKOV V.A., MALYSHEV YU.L., BARSUKOV M.V., DEEVA T.S. Determination of peripheral pulse blood flow by tetrapolar rheography and conditions of its use to assess the effectiveness of oxygen therapy. *Byulleten' giperbaricheskoy biologii i meditsiny*. Voronezh, 1997;5;(3–4):62–67. (In Russian).
 4. BELOKUROV YU.N., RYBACHKOV V.V. Hyperbaric oxygenation in critical conditions in surgery Yaroslavl, 1983. (In Russian)
 5. BULGAKOVA YA.V., SIVILOV P.N. Lipid peroxidation and the antioxidant system of the rat brain during adaptation to hyperoxic load. *Patologicheskaya fiziologiya i eksperimental'naya terapiya*. 2022;66(3):80–90. (In Russian).

19. SAVILOV P.N., MOLCHANOV D.V. The Effect of Hyperbaric Oxygenation on the Circulation of Urea in Rats Following Experimental Partial Hepatectomy. *Obshchaya reanimatologiya*. 2018;14;(4):52–63. (In Russian).
20. SAVILOV P.N. Anti-inflammatory effect of hyperbaric oxygen in the treatment of peptic ulcer disease: review. *Morskaya meditsina*. 2023;9;(1):7–18. (In Russian).
21. SAVILOV P.N. Hyperoxic state of the body. *Byulleten' giperbaricheskoy biologii i meditsiny*. Voronezh, 2005;13;(1–4):30–95. (In Russian).
22. SAVILOV P.N. Genetic mechanisms of hyperoxic sanogenesis. *Byulleten' giperbaricheskoy biologii i meditsiny*. 2007;15;(1–4):3–56. (In Russian).
23. SAVILOV P.N. Historical milestones of Leonov's teachings about the hyperoxic sanogenesis. *Vestnik RAYEN*. 2019;19;(4):87–94. (In Russian).
24. SAVILOV P.N., YAKOVLEV V.N. Reaction of hepatocyte glutamine synthetase to liver damage and hyperbaric oxygenation. *Byulleten' eksperimental'noy biologii i meditsiny*. 2015;160;(9):272–275. (In Russian).
25. SAVILOV P.N. On the question of studying hyperoxic sanogenesis SARS-CoV-2-associated pneumonia. *Morskaya meditsina*. 2022;8;(1):7–19. (In Russian).
26. SEMIGOLOVSKY N.YU. The experience of using HBO in the acute period of myocardial infarction (MI), To whom, when and how? Abstracts of the scientific and practical conference "Modes of oxygenobarotherapy in the complex treatment and rehabilitation of the wounded, sick and affected" 31.05-1.06.1994. Saint Petersburg: VIR Printing House, 1994:23. (In Russian).
27. SMEYANOVICH A.F., SHANKO YU.G., KOZYRO V.I. HBO in surgery of periarticular tumors of the posterior cranial fossa. *Byulleten' giperbaricheskoy biologii i meditsiny*. Voronezh, 1999;7;(1–4):46–61. (In Russian).
28. STRUK YU.V., SAVILOV P.N., YAKUSHEVA O.A., VAKHTINA E.B., EFREMOVA O.YU., PERVEEVA I.M., VERIKOVSKAJA A.V. Application of hyperbaric oxygenation in patients with a new coronavirus infection covid-19: prospective study. *Morskaya meditsina*. 2023; 9;(2):56–67. <https://doi.org/10.22328/2413-5747-2023-9-2-56-67> (In Russian).
29. TEPLOV V. M., RAZUMNY N. V., POVZUN A. S. The possibilities of using hyperbaric oxygenation in emergency medicine: an educational and methodological guide. Saint Petersburg, 2017. (In Russian).
30. Physiology and pathology of pulmonary vessels (ed. by E.K. Ware, J.T. Reeves (Translated from English). Moscow: Meditsina, 1995. (In Russian).
31. SHPEKTOR V.A., KOLCHINA E.YA., MELNIKOV G.P. On some clinical problems of HBOT. *Byulleten' giperbaricheskoy biologii i meditsiny*. Voronezh, 1996;4;(1–4):71–85. (In Russian).
32. SHPEKTOR V.A., KOLCHINA E.YA., DEMUROV E.A., MELNIKOV G.P. HBO as one of the directions of modern clinical medicine. *Byulleten' giperbaricheskoy biologii i meditsiny*. Voronezh, 1997;5;(1–2):36–62. (In Russian).
33. SHPEKTOR V.A., MELNIKOV G.P., KOLCHINA E.YA. Normobaric oxygen therapy (indications, complications, techniques). *Byulleten' giperbaricheskoy biologii i meditsiny*. 2000;8;(3–4):41–63. (In Russian).
34. SHULGA N.I., YEVTYUKHIN A.I. Hyperbaric oxygenation as a component of surgical complex treatment of cancer patients. *Byulleten' giperbaricheskoy biologii i meditsiny*. Voronezh, 1999;7;(1–4):47–49. (In Russian).
35. YAKOVLEV V.N., SAVILOV P.N. Glutamine cycle in phylogenetically heterogeneous brain structures in hemorrhagic shock and hyperbaric oxygenation. *Vestnik RAYEN*. 2020;20;(1):66–73. (In Russian).
36. YAKOVLEV N.V., SAVILOV P.N. Lipid peroxidation and the antioxidant system of the lungs during hyperbaric oxygenation and its aftereffect: prospective study. *Morskaya meditsina*. 2023;9;(3):84–90. (In Russian).
37. CROWE S.A., DOSSING L.N., BEUKES N.J., BAU M., KRUGER S.J., FREI R., CANFIELD D.E. Atmospheric oxygenation three billion years ago. *Nature*, 2013;501;7468:535–538.
38. FUTUYMA DOUGLAS J. Evolution. Sunderland, Massachusetts: Sinauer Associates, Inc, 2005.
39. CHUN-HUNG LIN I., WEI-HAIANG SU, YING-CHUN CHEN, PO-HAO FENG, WAN-CHEN SHEN, JIANN-RUEY ONG ET. AL. Treatment with normobaric or hyperbaric oxygen and its effect on neuropsychometric dysfunction after carbon monoxide poisoning: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Medicine* (Baltimore). 2018 Sep; 97(39):e1245.
40. Handbook of Hyperbaric Medicine / ed. by D. Mathieu. Springer (Netherlands), 2006.
41. BUCKLEY N.A., ISBISTER G.K., STOKES B., JUURLINK D.N. Hyperbaric oxygen for carbon monoxide poisoning : a systematic review and critical analysis of the evidence. *Toxicol Rev*. 2005;24;(2):75–92.
42. PAGANINI M., PEROZZO B.G., F.A.G. The role of hyperbaric oxygen treatment for COVID-19: a review. *Advances in Experimental Medicine and Biology*, 2020;1289:27–35.
43. SAVILOV P.N. Some aspects of Leonov's teachings on the hyperoxic sanogenesis. *Norwegian Journal of development of the international Science*. 2019;1;(33):1:24–31.
44. SAVILOV P.N. Forms of Adaptation to Hyperoxia. *Norwegian Journal of development of the international Science*. 2021;1;(55):26–32.

Савилов Павел Николаевич,
д.м.н., профессор, врач анестезиолог-реаниматолог
ТОГБУЗ «Тамбовская ЦРБ»

✉ 392524 Тамбовская обл., Тамбовский р-н, с. Покрово-
Пригородное, ул. Полевая, д. 4,
e-mail: pavel-savilov@rambler.ru

УДК 001 (075)

DOI: 10.52531/1682-1696-2025-25-1-165-173

Научная статья

EDN: VVRCFC

ПАМЯТНИК РУССКОЙ ИСТОРИИ И КУЛЬТУРЫ XII ВЕКА – СПАСО-ПРЕОБРАЖЕНСКИЙ СОБОР В ПЕРЕСЛАВЛЕ-ЗАЛЕССКОМ. ИЗУЧЕНИЕ И РЕСТАВРАЦИЯ. II часть*

С.И. Воробьев

ФГАОУ ВО Первый МГМУ

им. И.М. Сеченова Минздрава России
(Сеченовский Университет), Москва,
Российская Федерация

Статья посвящена изучению и реставрации древнейшего памятника русской истории и религиозной архитектуры Спасо-Преображенского собора XII в. Переславля-Залесского. Собор, заложенный в 1152 г. великим князем Юрием Долгоруким при основании будущей столицы Северо-Восточной Руси града Переславля-Залесского и достроенный в 1157 г. святым благоверным князем Андреем Боголюбским, является родоначальником Владимиро-Суздальского зодчества XII–XIII веков.

Ключевые слова: собор, культура, православие, памятник русской истории и религиозной архитектуры, реставрационные работы, святые благоверные князья, «золотая пропорция»

Продолжая статью «Памятник русской истории и культуры XII века – Спасо-Преображенский собор в Переславле-Залесском. Изучение и реставрация». I часть, опубликованную в журнале «Вестник РАЕН» 2024, №3, необходимо подчеркнуть, что особое внимание уделяно проведению в соборе, не столько реставрационных, сколько научно-исследовательских

Original article

MONUMENT OF RUSSIAN HISTORY AND CULTURE OF THE XII CENTURY – TRANSFIGURATION CATHEDRAL IN PERESLAVL-ZALESSKY. STUDY AND RESTORATION. II part

S.I. VOROBYEVFEDERAL STATE AUTONOMOUS EDUCATIONAL
INSTITUTION OF HIGHER EDUCATION FIRST
MOSCOW STATE MEDICAL UNIVERSITY
THEM. SECHENOV MINISTRY OF HEALTH OF
RUSSIA (SECHENOV UNIVERSITY), MOSCOW,
RUSSIAN FEDERATION

The article is devoted to the study and restoration of the oldest monument of Russian history and religious architecture of the Transfiguration Cathedral of the XII century Pereslavl-Zalessky. The cathedral, founded in 1152 by Grand Duke Yuri Dolgoruky at the foundation of the future capital of Northeastern Russia, the city of Pereslavl-Zalessky and completed in 1157 by the Holy Prince Andrei Bogolyubsky, is the ancestor of Vladimir-Suzdal architecture of the XII–XIII centuries.

KEYWORDS: cathedral, culture, Orthodoxy, monument of Russian history and religious architecture, restoration work, holy princes, "golden proportion"

и проектных работ в 2006 г., хотя и проводились ремонтно-реставрационные работы в 2007 г.

1.1. ПРОВЕДЕНИЕ ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ИЗУЧЕНИЯ СОБОРА

Инженерно-технические работы проводились сотрудниками НПРМ «Яблоко» (Ярославль).

Спасо-Преображенский собор представляет собой почти квадрат с четырьмя массивными крестчатыми столбами, несущими своды и главу.

Собор сложен в технике полубутовой кладки с использованием массивных блоков известняка, уложенных порядно. Лицевая поверхность блоков – тесанная.

© 2024, С.И. Воробьев

Поступила в редакцию 19.10.2023

* Продолжение, начало в «Вестник РАЕН» 2024, №3.
С. 140–148

Собор одноглавый, трехапсидный, крестовокупольный, четырехстолпный с хорами, стены выложены из хорошо пригнанных друг к другу блоков белого камня. Размеры собора в плане по наружному обмеру: $15,5 \times 15,8 \times 15,3 \times 15,8$ м (без апсид), размеры внутри собора между стенами: $1270 \times 1273 \times 1276 \times 1273$ см, размеры внутри собора между крестчатыми столбами: $513 \times 516 \times 514 \times 513$ см, высота куба 12,5, высота барабана 6 м, толщина стен 1,2–1,3 м, строительный объем здания составляет около 4500 м^3 (рис. 1).

Конструкция и состояние фундамента. Для оценки состояния фундамента был заложен один шурф у северной стены внутри собора (рис. 2, 3, 4). Результаты исследований показали, что фундаменты собора ленточные, представлены кладкой из валунов метаморфических пород. Средний размер валунов в поперечнике 0,15–0,20 м. Сверху фундамент густо пролит известковым тестом, толщина слоя составляет 50 мм. Бутовая кладка фундамента в верхней части выступает за обрез стены на 0,5 м.

Ширина фундамента в его верхней части составляет 2,5 м. Толщина стены собора – 1,3 м.

Высота фундамента от обреза стены до его подошвы – 1,4 м. Глубина заложения подошвы фундамента от верхней отметки белокаменных полов – 2,0 м. В поперечном сечении фундамент сужается резко книзу, что указывает на то, что бут укладывался в заранее выкопанный ров, имевший место полукруглого в сечении канала.

Известковый раствор очень хорошего качества спустя более чем 800 лет полностью сохранил свои связующие свойства и набрал большую прочность. Раствор маловлажный, при сильном ударе молотком не разрушается. Между валунами фундамента – междувалунное пространство полностью пролито известковым раствором. Пустоты отсутствуют. На глубине 2,5 м грунтовые воды в период исследования фундамента не обнаружены. Фундаменты располагаются в грунтах, представленных маловлажной серовато-желтой супесью средней зернистости. Общее состоя-

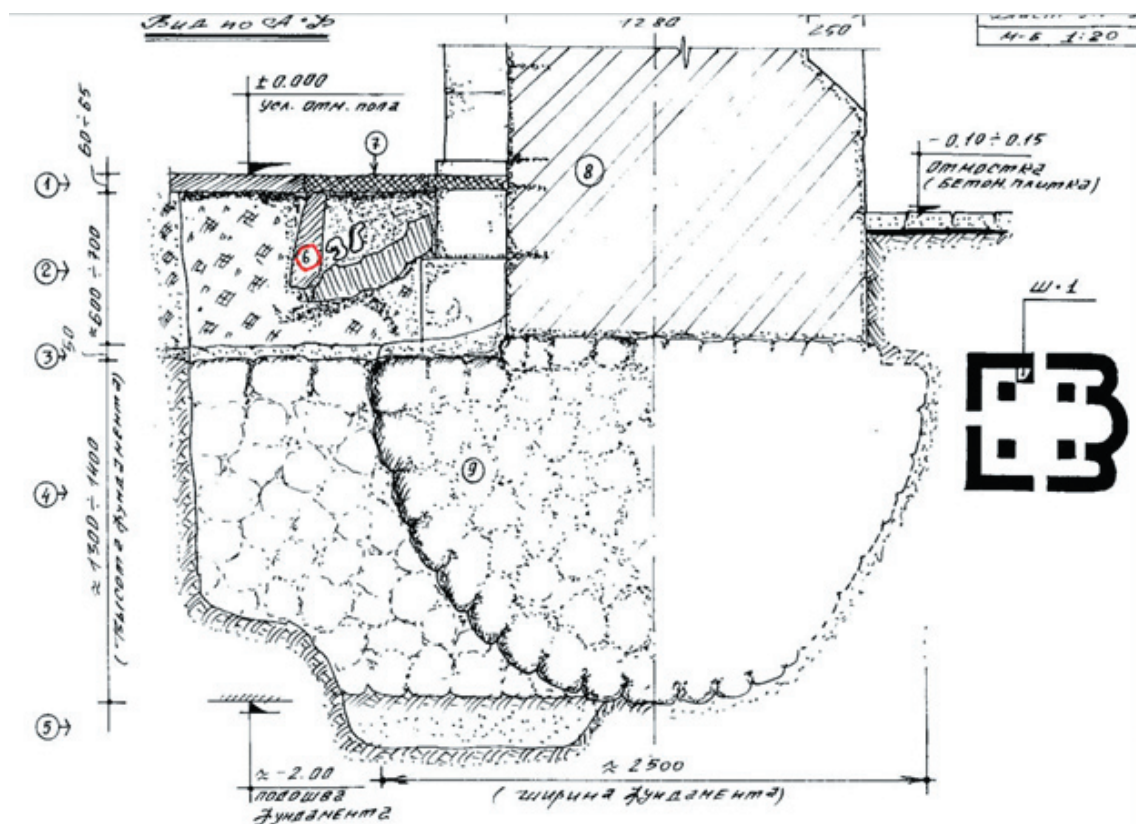


РИС. 1.

Схема фундамента во время проведения ремонтно-реставрационных работ Спасо-Преображенского собора в 2006–2007 гг. [7]

Условные обозначения: 1 – белокаменный пол XIX в., 2 – подсыпные полы XIX в., 3 – известковая проливка под фундамент XII в., 4 – супесчаный материковый выброс, 5 – материк, 6 – останки погребения XVIII–XIX вв., 7 – бетонные плитки на цементном растворе XIX в., 8 – стена собора из блоков белого камня, 9 – бутовый фундамент из валунного камня. Ш-1 – отмечено место шурфа в соборе



РИС. 2.

2006–2007 гг. Обнаружены останки захоронения XVIII–XIX вв. у северной стены собора во время проведения ремонтно-реставрационных работ Спасо-Преображенского собора [7]

ние фундаментов собора хорошее, что подтверждается отсутствием деформаций вышележащих конструкций – стен и сводов.

Конструкция и состояние наружных несущих стен.

Стены памятника сложены из белокаменных блоков, средним размером $0,6 (0,5) \times 0,3 \times 0,3 (0,4)$ м, толщина стен первого яруса составляет 1,3 м, второго – 1,2 м. Согласно ранним исследованиям стены собора сложены из 2-х рядов блоков – внешняя и внутренняя верста, а пространство между ними заполнено белокаменным щебнем, пролитым известковым раствором. На стенах, как внутри, так и с наружи на высоту более 1,0 метра имеется плесень и высолы. Видны следы поздних вычинок. На стенах имеются незначительные трещины, следы ранних деформаций. Общее состояние фундаментов, стен и сводов – удовлетворительное. Утраты составляют не более 15%.

Конструкция и состояние нижней части стен (цоколя) внутри собора. Обследование состояния белокаменной кладки стен собора в ее нижней части проводилось с целью выявления причин образования на поверхности кладки сырости и плесени и связанной с ними деструкция камня. Как показали исследования, материалы кладки собора, в особенности ее нижней части, подвергаются поверхностному, капиллярному и конденсированному увлажнению.

Конструкция и состояние цоколя и отмостки. Цоколь белокаменный, выступающий за плоскость стены на 0,25 м. Часть цоколя скрыта отмосткой, высота видимой части составляет 0,4–0,5 м. Кладка цоколя увлажнена, с северной и восточной сторон современное известковое покрытие частично утрачено. Наблюдается образование на поверхности кладки сырости и плесени и связанной с ними деструкция камня.

Отмостка по периметру здания выполнена в 2002 г. из бетонных плиток производства «Сиян» (г. Ярос-



РИС. 3.

Шурф у северной стены Спасо-Преображенского собора во время проведения ремонтно-реставрационных работ 2006–2007 гг. [7]

лавль). Непосредственно возле стен памятника отмостка нарушена по всему периметру, что позволяет воде свободно проникать в грунт, увлажняя фундамент и стены собора. Кроме того, на некоторых участках у стен наблюдается активный рост травы (рис. 4).

Следует отметить тот факт, что ширина отмостки составляет несколько метров. В связи с этим вода, попадающая в грунт, не имеет возможность свободно испаряться. При планировании территории и проектирования новой отмостки следует учесть необходимость уменьшения ее площади.

Конструкция и состояние полов. В соборе полы выложены белокаменными плитами средним размером $71 (75) \times 71$ см в конце XIX века. Общая площадь пола составляет около 165 м^2 . Пол в центральной части имеет уклон в направлении солеи – по оси запад-восток. Солея приподнята над центральной частью на одну ступень. Белокаменные ступени солеи имеют сколы и трещины. Около 25–30% плит пола имеют повреждения и значительную истертость. В алтаре часть плит утрачена полностью. В юго-западном углу собора имеются захоронения, закрытые мраморными надгробиями. Общие утраты составляют до 50%.

Конструкция и состояние перекрытий. Собор перекрыт системой крестовых сводов, опирающихся

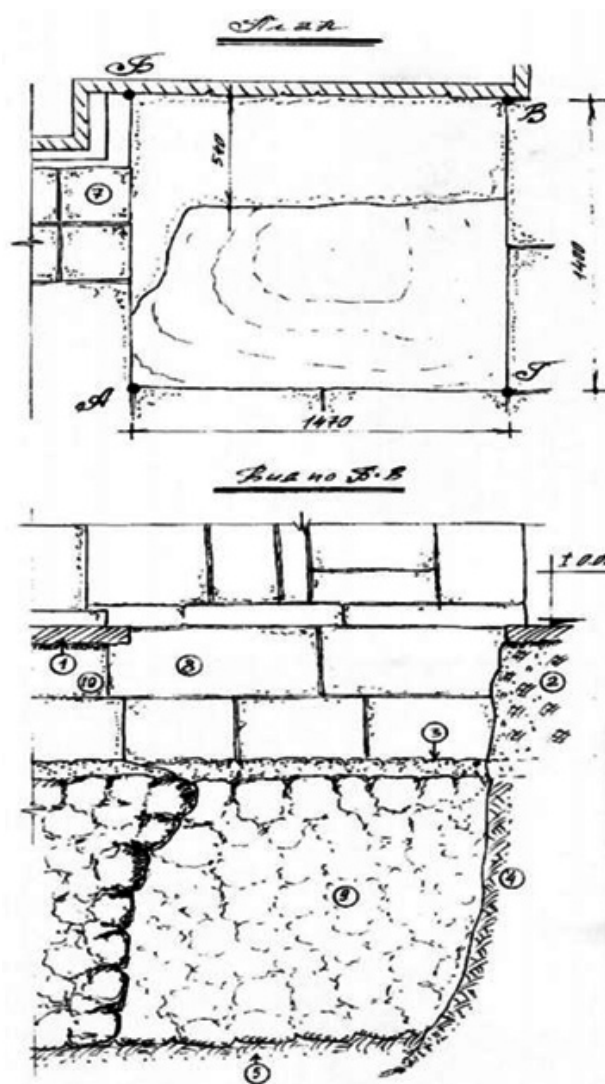


РИС. 4.

Схема фундамента во время проведения ремонтно-реставрационных работ Спасо-Преображенского собора в 2006–2007 гг. [7]

Условные обозначения: 1 – белокаменный пол XIX в., 2 – подсыпные полы XIX в., 3 – известковая проливка под фундамент XII в., 4 – супесчаный материковый выброс, 5 – материк, 6 – останки погребения XIX в., 7 – бетонные плитки на цементном растворе XIX в., 8 – стена собора из блоков белого камня, 9 – бутовый фундамент из валунного камня, 10 – лопатка (цоколь) собора из белокаменных блоков

через подпружные арки на 4 столба и стены. Своды и арки выложены из белокаменных блоков. Связевой каркас отсутствует (в XII веке воздушные металлические связи не применялись, а деревянные, по-видимому, сгнили или сгорели). Своды и подпружные арки в удовлетворительном состоянии. Утраты составляют 5–10%.

Конструкция и состояние столбов. Четыре крестчатых в плане столба несут на себе своды и барабан купола. Ширина граней столбов колеблется в пределах

1,22–1,25 м, что соответствует ширине внутрестенных лопаток. Нижняя часть столбов увлажнена, имеется плесень и высолы. Общее состояние столбов удовлетворительное. Утраты составляют не более 10%.

Конструкция и состояние крыши и кровли. Покрытие собора – позакомарное, по сводам. Кровля металлическая, окрашена в зеленый цвет. Глава собора луковичной формы также имеет металлическое покрытие и окрашена в зеленый цвет. Имеются водосточные трубы. Работы по кровле проводились в 2002 г. Утраты отсутствуют.

Конструкция и состояние элементов декора. Согласно членению внутреннего пространства на три продольных и три поперечных (западный, южный и северный) фасады разделены широкими лопатками на три прясла, каждое из которых заканчивается полукружьем закомар. Лопатки храма лишены каких-либо украшений. Их строгую монолитность нарушают глубокие впадины узких щелевидных окон и простые перспективные ниши трех дверных проемов. Верх барабана и верх апсид украшены декоративным фризом. На барабане городчатый пояс, ленты поребрика и полуваля, а на апсидах совместно городчатого пояса введен аркатурный. Утраты наружного декора составляют не более 5%.

Конструкции и состояние оконных заполнений. Оконные проемы – арочные, щелевидной формы. Количество проемов в барабане – 8 шт., в алтаре – 5 шт., на северном фасаде – 2 шт., на южном фасаде – 3 шт., на западном фасаде – 3 шт. Неплотности примыкания оконных заполнений к откосам проемов способствуют проникновению атмосферных осадков внутрь собора. Общее состояние оконных заполнений неудовлетворительное.

ПРОВЕДЕНИЕ РЕМОНТНО-РЕСТАВРАЦИОННЫХ РАБОТ

Ремонтно-реставрационные работы проводились сотрудниками НПРМ «Яблоко».

Конструкция и состояние металлической лестницы. Внутри собора имеется металлическая винтовая лестница XIX в. ведущая на хоры. Количество ступеней 31 шт. Нижние ступени лестницы разрушены, а несущий каркас и ограждение имеют следы сильной коррозии, что делает эксплуатацию лестницы невозможной. Общее состояние лестницы аварийное. Утраты составляют 50% (рис. 5–7).

Интересен тот факт, что в настоящее время ход на хоры устроен внутри собора, на них ведет лестница, расположенная в северо-западном углу здания. Однако первоначально на второй ярус попадали непосредственно снаружи, не заходя внутрь собора. Лестница заложена при реставрации конца XIX века белым камнем на цементе. Дверная ниша с арочным верхом на уровне отлива в западной трети северной стены – след этого входа. Куда вела эта дверь – неизвестно, поскольку никаких следов построек с северной стороны

собора не сохранилось. Возможно, собор был связан с крепостными валами [9].

По поводу времени установки в соборе металлической винтовой лестницы на хоры. Из докладной записки академика Императорской Академии художеств Г.И. Котова, посетившего Спасо-Преображенский собор в августе 1894 г., сообщается, что в целом реставрация собора выполнена по чертежам В.В. Суслова, за исключением внутренних деревянных дверей.

Для предупреждения появления сырости в стенах над полом пробито пять отверстий, снабженных печными дверцами; снаружи на зиму предполагается закрывать отверстия деревянными щитками. Деревянная лестница на хоры заменена железной. Пол сделан из каменных плит. Кирпичные княжеские надгробия с разрешения Владимирской духовной консистории заменены мраморными [13].

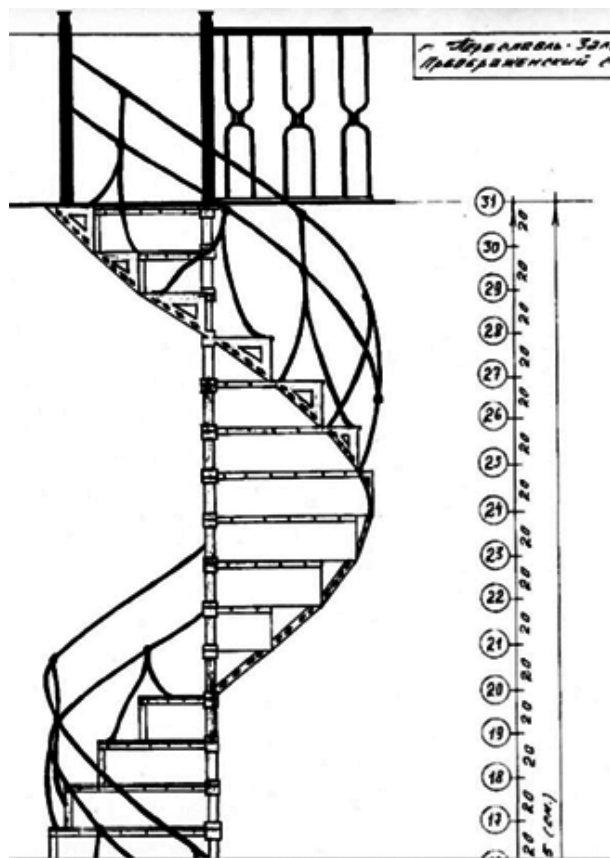


РИС 5.

Схема реставрации металлической винтовой лестницы XIX века, ведущей на хоры, имеющей 31 ступеньку. Ремонтно-реставрационные работы в Спасо-Преображенском соборе 2006–2007 гг. [7]

ПОИСК «ЗОЛОТОЙ ПРОПОРЦИИ» СОБОРА

Числа правят миром. И одним из главных чисел в нашем мире, как утверждает ряд ученых [12], является число Фибоначчи – 1,618034 (большое число Фи), рассчитанное Леонардо из Пизы (1180–1240 гг.) по прозвищу Фибоначчи.

Это число часто называют «золотым числом» или «божественным». Есть также малое число фи 0,618034 ($1 : 1,61803 = 0,618$). Число Фи возникает из последовательности ряда чисел Фибоначчи: сумма двух соседних чисел в ней равна последующему числу, например, 2 (1+1), 3 (1+2), 5 (2+3), 8 (3+5), 13 (5+8), 21 (8+13) и так до бесконечности, но и потому, что частное двух соседствующих чисел, например, 3:5, 5:8, 8:13, 13:21 и т.д. обладает уникальным свойством – приближенностью к числу 0,618, то есть к малому числу фи. Или к большому числу Фи, например, 5:3, 8:5, 13:8, 21:13 и т.д. приближенностью к золотому числу 1,618034.

Можно утверждать, как указывает автор работы [10], что число Фи – это постоянная, которая связана с реальностью глубже и загадочнее, чем число Пи. Как и у числа Пи, у числа Фи нет математического решения, и после запятой знаки также продолжают до бесконечности.

Представление о золотой пропорции, как указывает автор работы [8], имели и древние греки, и египтяне. Но впервые еще в 1509 г. в книге «Божественная Пропорция», иллюстрации к которой принадлежат Леонардо да Винчи, монах Лука Пачоли дал научное определение правилу. Он видел в золотом сечении божественное единство: маленький отрезок – это сын; большой – отец; весь отрезок – это святой дух. Историки присваивают Леонардо Да Винчи определения термина «золотого сечения», поскольку он долгое время изучал божественную закономерность и воплощал ее принцип в своих творениях.

Разобраться, что такое золотое сечение в архитектуре и строительстве можно на примере двух отрезков разной длины, приведенной в работе [10]. К примеру, внутри большого находится несколько маленьких. Тогда длины небольших отрезков относятся к общей длине большого отрезка как 0,62 (0,618). Такое определение помогает разобраться, на сколько частей можно поделить определенную линию, чтобы она соответствовала гармоническому правилу. Используя этот метод можно узнать, каким должно быть отношение самого большого отрезка к длине всего объекта. Это соотношение равняется 1,62 (1,618), т.е. золотому числу.

Законы «золотой пропорции» присутствуют во всех шедеврах русской архитектуры, как утверждает И.Ш. Шевелев (1990 г.), это строилось на протяжении нескольких столетий. В плане стены храмов или опорные колонны обычно вписываются в квадрат или прямоугольник со сторонами 1:2. Изучая архитектуру церкви Покрова на Нерли, автор пришел к выводу, что



РИС. 6.

Ремонтно-реставрационные работы в Спасо-Преображенском соборе 2006–2007 гг. Металлическая винтовая лестница ведущая на хоры, имеющая 31 ступеньку. А – лестница до реставрации, Б – лестница после реставрации [7]



РИС. 7.

Ремонтно-реставрационные работы в Спасо-Преображенском соборе 2006–2007 гг. Верхняя часть металлической винтовой лестницы XIX века, ведущей на хоры после реставрации [7]

в нем с удивительной чистотой проявляется пропорция, которая представляет собой отношение большей стороны к диагонали в прямоугольнике с отношением сторон 1:2 (прямоугольник «два квадрата»).

Вместе с функцией золотого сечения, как указывает А.В. Волошинов (1992) в своей книге, закон золотого сечения также определяет пропорциональный строй церкви Покрова на Нерли. Это неудивительно, ибо данные отношения связаны геометрией двойного квадрата. Как установил Афанасьев, закону золотого сечения подчинены прежде всего главные вертикали храма, определяющие его силуэт: высота основания, равная высоте тонких колонок четверика, и высота барабана. Диаметр барабана относится к его высоте также в золотой пропорции. Эти пропорции видны с любых точек зрения. Переходя к западному фасаду, ряд золотого сечения можно продолжить: плечи храма относятся к диаметру барабана в золотой пропорции. Итак, принимая высоту белокаменной части церкви (от цоколя до купола) за единицу, мы получаем ряд золотого сечения: 1, ϕ , ϕ^2 , ϕ^3 , ϕ^4 , который определяет силуэт архитектурного сооружения. Этот ряд можно продолжить и в более мелких деталях. Непостижимая, казалось бы, гармония храма Покрова на Нерли подчинена математически строгим законам пропорциональности. План церкви построен на пропорциях функции золотого сечения – «живых квадратах», а ее силуэт определяется рядом золотого сечения (рис. 8). Эта цепь математических закономерностей и становится волшебной мелодией взаимосвязанных архитектурных форм. Конечно, законы пропорциональности определяют только «скелет» сооружения, который

должен быть правильным и соразмерным, как скелет здорового человека. Но помимо математических законов меры в недрах архитектурного шедевра непременно заложены и непознанные законы красоты: «как мера и красота скажет...»! Именно диалектика взаимодействия законов меры и законов красоты, которые часто проявляются в отклонениях от законов меры, и создает неповторимый образ архитектурного шедевра. Рассмотрим известные метрические замеры Спасо-Преображенского собора, чтобы найти это золотое число или золотую пропорцию.

Так, известно, что высота Спасо-Преображенского собора, измеренная Н.Н. Ворониным (1961), составляет около 23 м – эта самый большой «отрезок» собора. В этом отрезке находится второй отрезок, меньше первого – это высота куба основного здания около 14 м (с учетом «врастания в землю» на 90 см). Согласно правилу ряда чисел Фибоначчи частное двух соседствующих чисел может дать золотое число 1,62. Проверим это на наших числах: $23 : 14 = 1,64$. Получился достаточно хороший результат 1,64, отличия минимальны всего лишь – 0,02, учитывая погрешность в методах измерения собора, перестройки купола и т.д. Конечно, идеально было бы, если метрические измерения собора соответствовали числам из ряда Фибоначчи, например, 3, 5, 8, 13 и 21 и т.д. Тогда отношения 21 к 13 составляли 1,62, или $13 : 21 = 0,62$ (малое число Фи). Это была бы идеальная золотая пропорция – высота всего собора к его основному зданию (кубу). В нашем случае, 23 и 14, соотношение 1,64, также показывает гармоничное соотношение большого отрезка к малому и наоборот $14 : 23 = 0,61$,

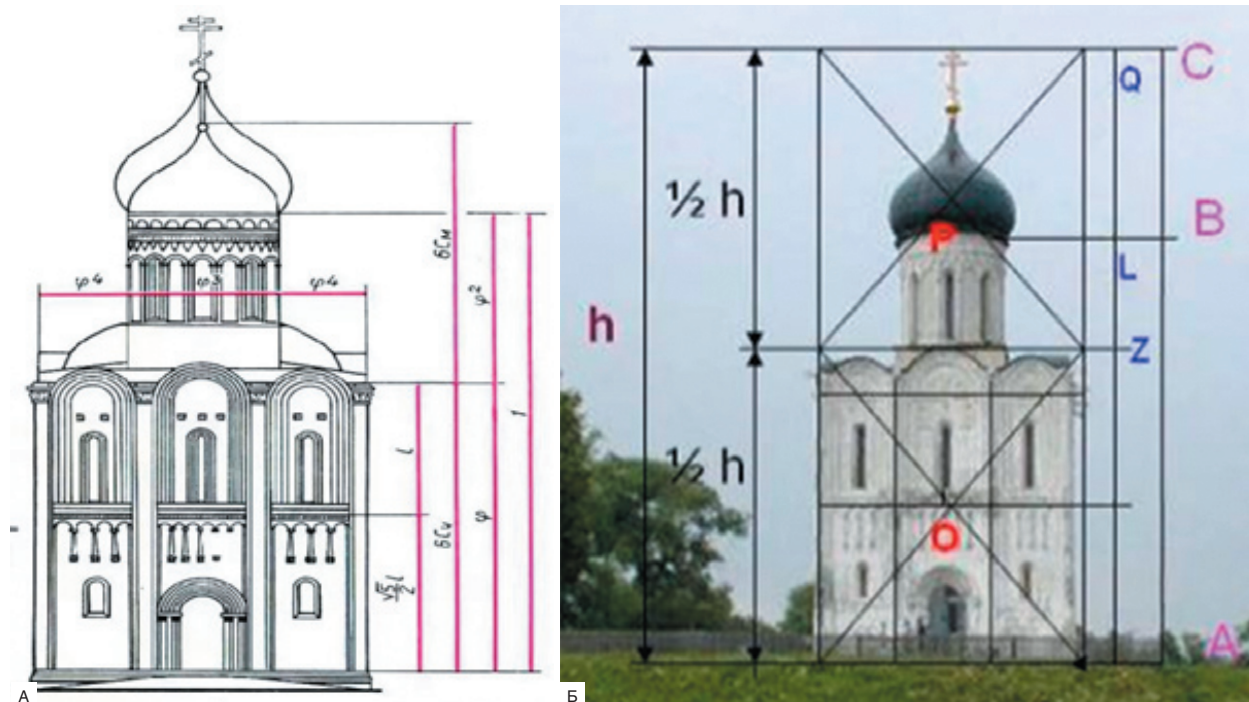


Рис. 8.

А – Пропорции церкви Покрова Богородицы на Нерли [4]. Б – Некоторые пропорциональные членения западного фасада церкви [14]

также приближается к малому числу Φ – 0,62. Таким образом, в возведении Спасо-Преображенского собора в Переславле-Залесском выдержаны главные пропорции гармоничности, сохранен закон пропорциональной связи целого и составляющих это целое частей, т.е. сохранен закон золотой пропорции. Несомненно, есть и другие измерения собора, которые соответствуют золотой пропорции, мы приводим лишь один из многих (рис. 9).

Дальнейшие работы по утвержденной Программе ремонтно-реставрационных работ 2006–2007 гг. Спаса-Преображенского собора Благотворительный фонд имени академика И.П. Павлова, к сожалению, продолжить не смог в связи с большой потребностью в финансовых средствах. По-видимому, финансированием реставрации памятников федерального значения должно заниматься государство, что оно и сделало в 2015 г. согласно федеральной целевой программы «Культура России (2012–2018 годы)», по направлению IV «Направление по сохранению культурного наследия», по разделу «Реставрация объектов культурного наследия народов Российской Федерации» (согласно отчету 2015 г. Переславль-Залесского государственного историко-архитектурного и художественного музея-заповедника), а не частные благотворительные фонды.

Однако полученный опыт позволил нам участвовать в других аналогичных проектах, но меньшего

масштаба, по воссозданию памятников российской истории, науки, культуры и православия. В том числе, воссоздания в 2014–2017 гг. часовни-храма Ильи-пророка (уменьшенная копия Переславского Спасо-Преображенского собора) на крутом берегу реки Оки в Тульской области в память о героических защитниках града Алексин от золотоордынского хана Ахмата в 1472 г. и в память о Славе русского оружия и Христоролюбивом воинстве российском, спасшим княжество Московское от полчищ Орды (рис. 10).

По окончании ремонтно-реставрационных работ памятника федерального значения Спасо-Преображенского собора XII в. участники реставрации и изучения подготовили подробные документы и отчеты [4–7] по проделанной работе, которые были переданы в департамент культуры и туризма Администрации Ярославской области для дальнейшего использования.

В заключение необходимо отметить, что Благотворительный фонд имени академика И.П. Павлова и его руководство в этот юбилейный 870-й год закладки Спасо-Преображенского собора выражает глубокую признательность и благодарность всем участникам и партнерам Программы 2006–2007 гг. по ремонтно-реставрационным работам древнейшего памятника русской истории и культуры Спасо-Преображенского собора XII в. Переславля-Залесского.

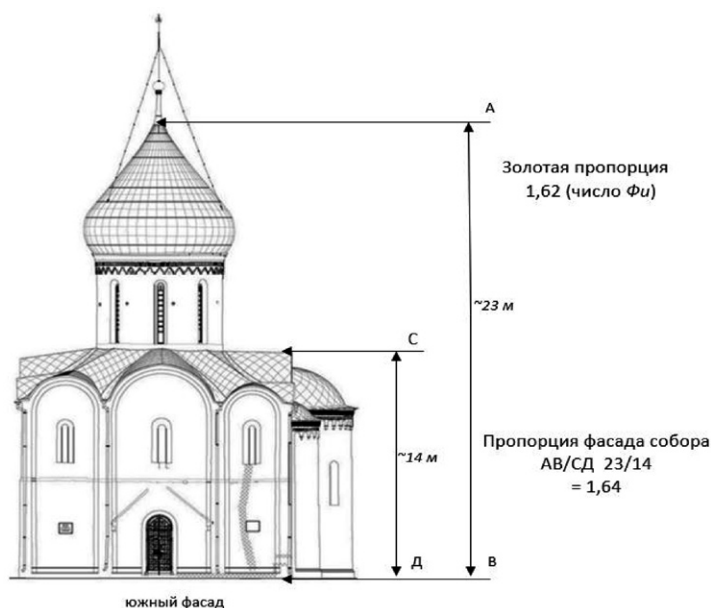


РИС. 9.

Переславский Спасо-Преображенский собор и его пропорция гармоничности – золотая пропорция (с учетом, что здание «выросло в землю», примерно, как указывает Н.Н. Воронин, 1961 г., на 90 см)

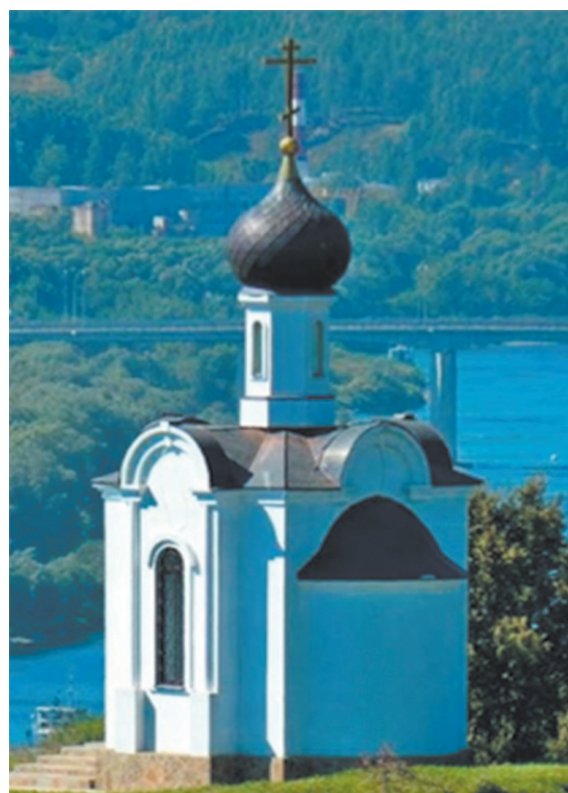


РИС. 10.

Часовня-храм Ильи-пророка на берегу реки Оки в Тульской обл. воссозданный Благотворительным фондом им. академика И.П. Павлова в 2014–2017 гг. в память о героических защитниках града Алексин от золотоордынского хана Ахмата в 1472 г. [13]

ЛИТЕРАТУРА

1. Волошинов А.В. Математика и искусство. М.: Просвещение, 1992.
2. Воронин Н.Н. Зодчество Северо-Восточной Руси XII-XV веков, 2 т. Институт археологии АН СССР отв. ред. Б.А. Рыбаков. М.: Изд-во АН СССР, 1961. Т. 1, XII столетие. С. 77–90.
3. Лапшина А.М., Пахомова Е.А. Математика божественных пропорций (число Фи). <http://rae.ru/forum2010/45/617>.
4. Отчет Научно-производственной реставрационной мастерской «Яблоко». Научно-проектная документация. Т. 1. Предварительные работы по памятнику архитектуры XII в. Спасо-Преображенский собор в г. Переславль-Залесском. Борисоглебск, 2006.
5. Отчет Центральных научно-реставрационных проектных мастерских Министерства культуры РФ. Научно-проектная документация. Разработка технологии реставрации белокаменных фасадов и интерьеров. Спасо-Преображенский собор в г. Переславль-Залесском. Шифр 690.18. М., 2006. Т. 2. Кн. 5.
6. Отчет Центральных научно-реставрационных проектных мастерских Министерства культуры РФ. Научно-проектная документация. Комплексные научные исследования. Натуральные исследования. Изучение температурно-влажностного режима. Спасо-Преображенский собор в г. Переславль-Залесском. Шифр 632.17. М., 2006.
7. Отчет Центральных научно-реставрационных проектных мастерских Министерства культуры РФ. Аннотационный отчет. Изучение температурно-влажностного режима. Спасо-Преображенский собор в г. Переславль-Залесском. Шифр 690.18. М., 2006.
8. Отчет о наблюдении за реставрационными работами на объекте культурного наследия Федерального значения «Спасо-Преображенский собор, 1157 год». Переславль-Залесский, 2015.
9. Пропорция храма Покрова Богородицы на Нерли (1165г.). <http://900igr.net/prezentacija/geometrija/zolotoe-sechenie-101451/proportsii-khrama-pokrova-bogoroditsy-na-nerli-1165-g-7.html>.
10. Смирнов М.И. Переславль-Залесский. г. Переславль-Залесский, 1928. С. 28.
11. Тайны ряда Фибоначчи: как работает принцип золотого сечения в архитектуре. https://dzen.ru/a/XOP5_-zz_wCzsDpy
12. Числа Фибоначчи. https://ru.wikipedia.org/wiki/Числа_Фибоначчи.
13. Часовня-храм во имя пророка Божьего Ильи в Тульской области. https://yandex.ru/maps/org/chasovnya_ilii_proroka_na_sorokinoy_gore/1738057750/gallery/?ll=37.103193%2C54.504467&z=17. Aleksey M., 2018.

14. ШЕВЕЛЕВ И.Ш., МАРУТАЕВ М.А., ШМЕЛЕВ И.П. Золотое сечение. Три взгляда на природу гармонии. М., 1990.

REFERENCES

1. VOLOSHINOV A.V. Mathematics and art. Moscow: Enlightenment, 1992. (In Russian).
2. VORONIN N.N. Architecture of North-Eastern Russia of the XII–XV centuries, vol. 2. Institute of Archeology of the USSR Academy of Sciences, ed. by B.A. Rybakov. Moscow: Publishing House of the USSR Academy of Sciences, 1961;1, XII century:77–90. (In Russian).
3. LAPSHINA A.M., PAKHOMOVA E.A. Mathematics of divine proportions (the number of Phi). <http://rae.ru/forum2010/45/617>. (In Russian).
4. Report of the Scientific and industrial restoration workshop Yabloko. Scientific and project documentation. Vol. 1. Preliminary work on the monument of architecture of the XII century. The Transfiguration Cathedral in Pereslavl-Zalessky: Borisoglebsk, 2006. (In Russian).
5. Report of the Central Scientific and Restoration Design Workshops of the Ministry of Culture of the Russian Federation. Scientific and project documentation. Development of technology for restoration of white stone facades and interiors. The Transfiguration Cathedral in Pereslavl-Zalessky. Cipher 690.18. Moscow, 2006;2;5. (In Russian).
6. Report of the Central Scientific and Restoration Design Workshops of the Ministry of Culture of the Russian Federation. Scientific and project documentation. Comprehensive scientific research. Natural research. Study of temperature and humidity conditions. The Transfiguration Cathedral in Pereslavl-Zalessky. Cipher 632.17. Moscow, 2006. (In Russian).
7. Report of the Central Scientific and Restoration Design Workshops of the Ministry of Culture of the Russian Federation. Annotation report. Study of temperature and humidity conditions. The Transfiguration Cathedral in Pereslavl-Zalessky. Cipher 690.18. Moscow, 2006. (In Russian).
8. Report on the supervision of restoration work at the object of cultural heritage of Federal significance Transfiguration Cathedral, 1157yr.: Pereslavl-Zalessky, 2015. (In Russian).
9. Proportions of the Church of the Intercession of the Virgin on the Nerl (1165yr.). <http://900igr.net/prezentacija/geometrija/zolotoe-sechenie-101451/proportsii-khrama-pokrova-bogoroditsy-na-nerli-1165-g-7.html>. (In Russian).
10. SMIRNOV M.I. Pereslavl-Zalessky: Pereslavl-Zalessky, 1928:28. (In Russian).
11. Secrets of the Fibonacci series: how the golden ratio principle works in architecture. https://dzen.ru/a/XOP5_-zz_wCzsDpy. (In Russian).
12. Fibonacci numbers. <https://ru.wikipedia.org/wiki/>. (In Russian).
13. Chapel-temple in the name of the Prophet of God Elijah in the Tula region. https://yandex.ru/maps/org/chasovnya_ili_proroka_na_sorokinoy_gore/1738057750/gallery/?ll=37.103193%2C54.504467&z=17. Aleksey M. 2018. (In Russian).
14. SHEVELEV I.SH., MARUTAЕV M.A., SHMELEV I.P. Golden section. Three views on the nature of harmony. Moscow, 1990. (In Russian).

Воробьев Сергей Иванович,
д.б.н., профессор ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет), президент Благотворительного фонда им. академика И.П. Павлова

119991, г. Москва, Трубецкая, д. 8, с. 2,
119991, Moscow, Trubetskaya Street, 8, p. 2,
тел.: +7 (495) 609-14-00, e-mail: vorobyev@mail.ru

НАШ ДОМ – НАША ПЛАНЕТА

7 февраля 2025 г. в Доме ученых в г. Москва состоялась церемония награждения лауреатов Международной экологической премии «ЭкоМир-2024», учрежденной Российской академией естественных наук (РАЕН).

Премия «ЭкоМир» – общественная награда, ежегодно вручаемая за выдающиеся достижения в охране окружающей среды и обеспечении экологической безопасности. Глобальный просветительский проект, в рамках которого учреждена Премия, осуществляется РАЕН с 1997 г. Всероссийские конкурсы на получение премии «ЭкоМир» проводятся с 2004 г., а с 2017 г. Премия получила международный статус, объединив множество самоотверженных и увлеченных людей из разных стран, чувствующих ответственность за судьбу окружающего мира. Цели проекта – содействие развитию экологической науки и политики, повышение уровня экологического образования и культуры, распространение экологически чистых



технологий, сохранение биоразнообразия и улучшение здоровья населения.

Церемония награждения лауреатов началась выступлением Председателя оргкомитета «ЭкоМир-2024», главного ученого секретаря РАЕН Л.В. Иваницкой. Она рассказала об истории и значении конкурса, его высоком статусе, открывающем лауреатам широкие возможности при осуществлении их проектов. В этом году на соискание Премии поступило свыше 160 заявок: из России и 23 стран ближнего и дальнего зарубежья (Туркменистан, Бразилия, Египет, Индонезия, Китай, Вьетнам, ЮАР, Сербия, Израиль, Казахстан и др.). 134 заявки приняты к рассмотрению. На церемонии награждения присутствовали сотрудники посольств стран ближнего и дальнего зарубежья, представители которых принимали участие в конкурсе.

В подведении итогов «ЭкоМир-2024» приняли участие президент РАЕН, д.э.н., профессор П.И. Бурлак, вице-президенты РАЕН – члены жюри конкурса, академик РАН Ю.А. Рахманин, В.С. Петросян, А.Х. Шахвердиев, вице-президенты Ю.Н. Райков, В.Н. Савельев, В.А. Золотарев, заместитель председателя Оргкомитета А.В. Антонов, член Попечительского совета

Премии, исполнительный директор НП «ЮНЕПКОМ» В.Г. Усов.

Лауреаты конкурса «ЭкоМир-2024» I степени награждались орденом РАЕН «За вклад в развитие науки и экономики», лауреатам II и III степеней вручались медали им. Н.Н. Моисеева – выдающегося ученого, академика РАЕН и РАН, математика и мыслителя. Кроме того, многие участники конкурса получили почетные дипломы.

За исследование и сохранение редкого генофонда, природного и культурного наследия Северо-Западного Кавказа д.б.н., профессор, соавтор Красной книги РФ С.А. Литвинская награждена орденом «За спасение жизни на Земле».

Среди награжденных лауреатов I степени:

– АО «Государственный космический научно-производственный центр им. М.В. Хруничева» – за проведение исследований воздействия запусков космических аппаратов на окружающую среду, санитарно-эпидемиологическое состояние населения, проживающего на территории, подверженной влиянию ракетно-космической деятельности;

– Автономная некоммерческая организация в сфере содействия улучшению экологии и окружаю-





Главный ученый секретарь РАЕН Л.В. Иваницкая
и президент РАЕН П.И. Бурак



щей среды «Чистая Арктика» – за реализацию общественного экологического проекта «Чистая Арктика»;

– В.В. Мясоедова – за разработку инновационных технологий создания полимерных нанокомпозигов многоцелевого назначения;

– Ван Канлинь (КНР) – за разработку инновационных лекарственных препаратов;

– коллектив авторов: А.А. Стехин, Г.В. Яковлева, Ю.А. Рахманин – за монографию «Системный

взгляд на долголетие. Водная парадигма жизни»;

– «Адвокатское бюро города Москвы «Жаров группа» – за разработку юридически обоснованных стратегий, предупреждающих нарушение экологического законодательства при рассмотрении вопросов ликвидации несанкционированных свалок;

– авторский коллектив В.В. Вершинин, В.А. Широкова, П.П. Лепехин, Р.С. Широков, А.С. Нартов, Ю.Д. Юрова, М.О. Мулин – за

проект по учебно-методическому сопровождению подготовки специалистов по формированию экологической устойчивости агроландшафтов и их охране;

– А.И. Линник – за комплекс работ с использованием инновационных решений для экологически ориентированного устойчивого развития и сохранения здоровья населения России и планеты;

– некоммерческое партнерство «Национальное агентство по энергосбережению и возобновляемым источникам энергии» – за создание гидроэнергетической установки для энергоснабжения промышленных предприятий и населенных пунктов на труднодоступных территориях РФ;

– В.Я. Ефременков – за разработку технологических процессов и оборудования для линии рециклинга и утилизации стеклобоя;

– ООО Научно-производственное объединение Биоцентр «Ставрополье» – за разработку и внедрение системы адаптивного биологизированного земледелия;

– коллектив авторов под руководством Ирады Мамед гызы Гусейновой (Азербайджан) – за разработку концептуальной модели механизма стрессоустойчивости, основанной на выявлении взаимодействия экспрессии ключевых генов, ответственных за засухоустойчивость пшеницы и метаболома;

– коллектив авторов: Т.В. Папаскири, В.В. Вершинин, Е.П. Ананичева, В.А. Костеша, А. Шевчук – за разработку программного комплекса для обнаружения незаконных свалок ТБО, съемки их координат с использованием геодезических технологий.

Более подробную информацию о подведении итогов конкурса можно найти на сайте РАЕН:

https://raen.info/press_centre/novosti/1295-7-fevralja-v-dome-uchyonyh-sostojalas-ceremonijana-grazhdenija-laureatov-mezhdunarodnoi-ekologicheskoi-premii-ekomir-2024.html

ВАСИЛИЮ АНДРЕЕВИЧУ АЗАРЕНКУ – 80 ЛЕТ



21 апреля Василию Андреевичу Азаренку, председателю Уральского отделения секции наук о лесе РАЕН, д.с.-х.н., профессору исполняется 80 лет.

Василий Андреевич родился в деревне Залесье Лепельского района Витебской обл. Белорусской ССР в семье сельских учителей.

В 1963 г. закончил Лепельскую среднюю школу-интернат и поступил в Хабаровский политехнический институт по специальности «Лесоинженерное дело». В 1973 г. в Уральском лесотехническом институте (УЛТИ) защитил кандидатскую диссертацию. С 1971 по 1975 гг. работал старшим преподавателем кафедры механизации лесоразработок Хабаровского политехнического института и в 1975 году был приглашен в УЛТИ на должность старшего преподавателя кафедры технологии и оборудования лесопромышленного производства. В 1976 г. ему присвоено учёное звание доцента, а в 2002 г. – учёное звание профессора.

С 1982 по 1987 г. Василий Андреевич работал начальником научно-исследовательской части УЛТИ, а с 1988 по 2006 год – проректором по учебной работе вуза.

В 1999 г. при непосредственном участии В.А. Азарёнка совместно с Ассоциацией международных автомобильных перевозчиков России в Уральской государственной лесотехнической академии (УГЛТА)

организован и зарегистрирован в государственных структурах Учебно-консультативный центр ассоциации международных автомобильных перевозчиков (УКЦ АСМАП), который стал ведущим учебно-методическим центром в Уральском федеральном округе по подготовке и повышению квалификации специалистов и водителей для международных автомобильных перевозок.

С июня 2006 по октябрь 2011 гг. В.А. Азарёнок был ректором Уральского государственного лесотехнического университета (УГЛТУ), а позже перешел на должность советника ректора и в 2012 г. защитил докторскую диссертацию. Сегодня он – профессор кафедры Технологии и оборудования лесопромышленного производства (ТОЛП) в университете.

Под руководством В.А. Азарёнка были созданы филиалы Уральского государственного лесотехнического университета в Советском (Ханты-Мансийский автономный округ Тюменской области), Кудымкаре (Коми-Пермяцкий автономный округ Пермской области).

В 1999 г. за особые заслуги в укреплении мира, дружбы, сотрудничества и взаимопонимания между народами и достигнутые результаты в учебной и научной работе Василий Андреевич награжден Орденом Дружбы. Имеет звания «Отличник народного просвещения РСФСР», «Почетный работник высшего профессионального образования Российской Федерации», «Почетный работник науки и техники РФ», «Почетный доктор наук Российской Академии Естествознания».

В 2007 г. по инициативе В.А. Азаренка был создан Уральский лесной технопарк. Технопарк стал инновационной площадкой для лесного комплекса Уральского федерального округа (УФО).

За 50 лет работы Василия Андреевича в УЛТИ-УГЛТА-УГЛТУ им

подготовлено и выпущено более 180 научных трудов: статей, монографий, авторских свидетельств и учебных пособий. Область его научных интересов – экологические проблемы лесопользования. Такое же название имеет академическая лаборатория, организованная в вузе с участием институтов УрО РАН, научным руководителем которой является Василий Андреевич. В рамках этой лаборатории с участием известных ученых были разработаны основные лесоводственно-технологические параметры природоохраняющих технологий лесопользования для УФО. В 2004 г. за серию работ в области экологических проблем лесопользования лаборатория была удостоена Золотой медали Всероссийской выставки «Лесной комплекс 2004 год».

Свои фундаментальные научные знания В.А. Азарёнок передает студентам, магистрантам и аспирантам в преподаваемых им дисциплинах: инновационные технологии заготовки древесины; экология лесопромышленного производства; оценка воздействия технологий заготовки древесины на окружающую среду; способы снижения техногенного воздействия на лесную среду; лесозащита. Это нашло отражение в многочисленных учебно-методических работах, в т.ч. одного учебника с грифом УМО в области лесного дела, четырех учебных пособий с грифом Минобразования РФ и трех учебных пособий с грифом УМО в области лесного дела.

С 2000 г. Василий Андреевич является одним из основателей и председателем Белорусской национально-культурной автономии «Белорусы Урала – «Белур»».

Президиум РАЕН от души поздравляет Василия Андреевича с юбилеем! Желает крепкого здоровья, присущей бодрости духа и оптимизма, много новой и увлекательной работы.