

**ОБЩАЯ И РЕГИОНАЛЬНАЯ ГЕОЛОГИЯ. ГЕОТЕКТОНИКА И ГЕОДИНАМИКА/GENERAL AND REGIONAL GEOLOGY. GEOTECTONICS AND GEODYNAMICS**DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.165.98> EDN: YHERCN**ПРИРОДНЫЙ ВОДОРОД МОСКОВСКОГО ОСАДОЧНОГО БАСЕЙНА**

Научная статья

Шиловский А.П.^{1,*}, Шиловская И.А.²¹ ORCID : 0000-0003-3588-2421;^{1,2} Институт проблем нефти и газа РАН, Москва, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (ashilovsky08[at]gmail.com)

Аннотация

Целью статьи является анализ отечественного ресурсного потенциала и возможности локализации местоскоплений природного водорода на фоне состояния водородной энергетики и включения природного водорода в число полезных ископаемых России. Сходство основных геологических характеристик строения Московского осадочного бассейна как части Восточно-Европейской платформы со строением древних Африканской и Австралийской плит дают основания использовать геологическую ситуацию, связанную с разрабатываемыми месторождениями природного водорода в Мали и месторождения в Австралии, для прогнозирования перспектив обнаружения залежей природного водорода в качестве аналогов. Неоспоримым преимуществом природного водорода перед получаемым в промышленности водородом является низкая себестоимость, которая позволяет надеяться, что сможет компенсировать высокие расходы, связанные с транспортировкой и хранением этого ценного полезного ископаемого.

Ключевые слова: природный водород, Московский осадочный бассейн, Восточно-Европейская платформа, Африканская плита, Австралия, геосинтез, тектонохимия.

NATURAL HYDROGEN FROM THE MOSCOW SEDIMENTARY BASIN

Research article

Shilovskiy A.P.^{1,*}, Shilovskaya I.A.²¹ ORCID : 0000-0003-3588-2421;^{1,2} Oil and gas research institute RAS, Moscow, Russian Federation

* Corresponding author (ashilovsky08[at]gmail.com)

Abstract

The aim of the article is to analyse Russia's resource potential and the prospects for identifying natural hydrogen deposits in the context of the state of the hydrogen energy sector and the inclusion of natural hydrogen among Russia's mineral resources. The similarity of the main geological characteristics of the structure of the Moscow sedimentary basin, as part of the East European platform, to the structure of the ancient African and Australian plates provides grounds for using the geological situation associated with the natural hydrogen deposits being developed in Mali and the deposits in Australia to predict the prospects of discovering natural hydrogen deposits as analogues. An undeniable advantage of natural hydrogen over industrially produced hydrogen is its low production cost, which offers hope that it will be able to offset the high costs associated with the transport and storage of this valuable mineral resource.

Keywords: natural hydrogen, Moscow sedimentary basin, East European Platform, African Plate, Australia, geosynthesis, tectonic chemistry.

Введение

Смысл энергетической политики состоит в получении максимального количества энергии с минимальными издержками. Для этого ведется постоянный поиск новых способов получения энергии, новых подходов и принципов организации производства. Одним из перспективных векторов развития отрасли на сегодня является переход на использование водорода [1]. Водородная энергетика представляет собой стратегически значимое направление эволюции мировой энергетической системы. В последние годы она привлекает повышенное внимание исследователей и практиков, что обусловлено её потенциалом в контексте глобальных усилий по достижению углеродной нейтральности. По данным Statista в США на октябрь 2024 года общий объем инвестиций в эту сферу демонстрирует впечатляющий рост: было объявлено о прямых инвестициях в водородные проекты на сумму около 678 миллиардов долларов США до 2030 года. Из этой суммы 303 миллиарда долларов США были вложены в проекты, которые находились на объявленной стадии, 75 миллиардов долларов США — в уже реализованные проекты [2]. Рост популярности водородной энергетики во многом обусловлен глобальной потребностью в экологически чистых источниках энергии, что особенно актуально в контексте современного энергоперехода.

Привлекательность водорода определяется рядом уникальных физико-химических характеристик:

- *энергоёмкость*: водород содержит 142 МДж/кг энергии, что в три раза больше, чем у нефти, в семь раз больше, чем у каменного угля и в четыре раза больше, чем у природного газа [3];
- *распространённость*: водород является самым распространённым элементом во Вселенной, составляя около 75% от общей массы;

- универсальность применения: может использоваться в топливных элементах, газотурбинных установках, промышленном производстве, транспорте и даже медицине [4];

- технологические преимущества: возможность хранения в различных формах (газ, жидкость, гидриды).

Глобальное потребление водорода достигает 95 млн тонн в год и продолжает расти. По прогнозам, в некоторых отраслях на долю водорода будет приходиться до 30% будущих источников энергии, а к 2050 году мировой спрос на него вырастет более чем в пять раз [5].

При этом важно отметить, что не весь производимый водород является экологически чистым. На сегодняшний день около 95% всего водорода относится к категории «серого», получаемого из ископаемого топлива с высоким выбросом углекислого газа и только 5% приходится на «зеленый» водород, производимый с использованием возобновляемых источников энергии [6]. Учитывая, что в этом случае водород не является первичным энергоносителем, то его извлечение из химических соединений требует большого количества электроэнергии, что создает значительные вызовы для отрасли в контексте глобальных целей по снижению углеродного следа и, по сути, сводит на нет все экологические и энергетические преимущества водорода [7]. Кроме того, физические и химические свойства водорода создают ряд проблем при использовании [8], однако, уже сегодня найдены технические решения для большинства проблем: хранение водорода можно осуществлять в связанном виде; транспортировка может осуществляться, например, в виде аммиака [9]. Несмотря на растущие инвестиции и технологический прогресс, водородная энергетика все еще находится на этапе становления, требуя дальнейших разработок в области снижения себестоимости производства и повышения эффективности хранения и транспортировки водорода.

Перспективной альтернативой может стать природный — геологический или «золотой» водород [10]. Согласно последним исследованиям, проведенным Геологической службой США, результаты которых были опубликованы в декабре 2024 года, недра Земли содержат колоссальные запасы водорода, небольшой части которых хватит на удовлетворение энергетических потребностей всего человечества в течение двухсот лет. Как показал новый анализ, в породах и подземных резервуарах находится примерно 5,6 трлн тонн водорода, что в 26 раз больше известных залежей нефти (1,6 трлн баррелей весом около 0,15 тонны каждый) [11].

Целью статьи является анализ отечественного ресурсного потенциала, перспективы локализации местоскоплений природного водорода и возможное объяснение природы его образования.

Постановка задачи: в России в июле 2023 года: природный водород был официально включен в список полезных ископаемых России согласно приказу Росстандарта от 7 июля 2023 года №490-ст. Это изменение вступило в силу 1 августа 2023 года [12], [13]. Новый статус водорода как самостоятельного полезного ископаемого открыл новые перспективы для исследований и разработок в этой области. Ранее водород воспринимался преимущественно как вторичный энергоресурс, но теперь появилась возможность рассматривать его как добываемое ископаемое топливо. Это создало правовую основу для его промышленной добычи. Ведутся активные исследования по оценке масштабов водородной дегазации недр и поиску перспективных участков для добычи.

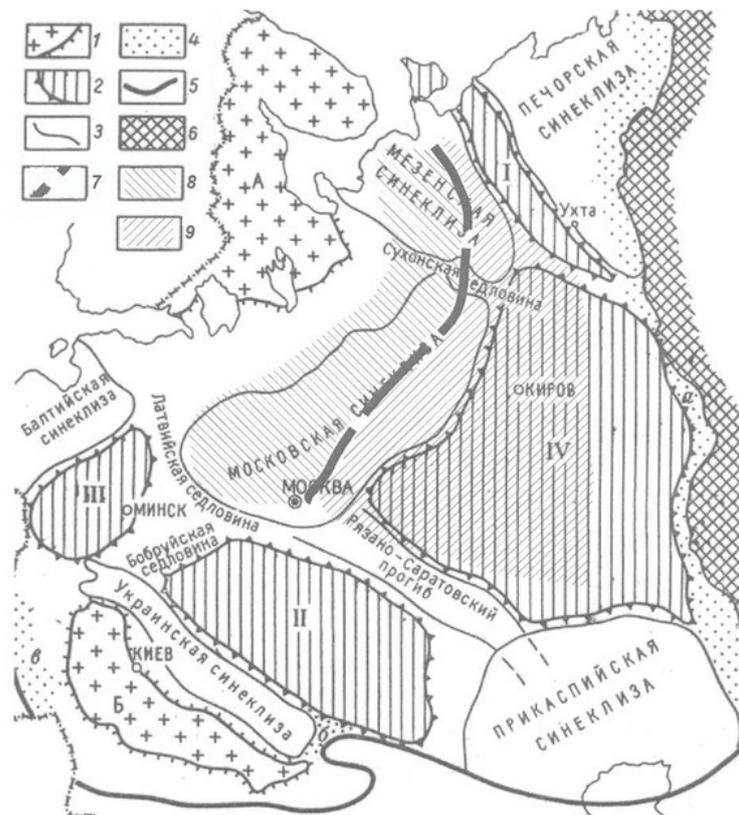


Рисунок 1 - Схема региональной тектоники Восточно-Европейской платформы
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.165.98.1>

Примечание: источник [14]; 1 – щиты: А – Балтийский, Б – Украинский, или Азово-Подольский; 2 – региональные поднятия: I – Тиманская гряда, II – Воронежский массив, III – Белорусский массив, IV – Волго-Уральская антеклиза; 3 – границы синеклиз; 4 – передовые прогибы: а – Предуральский, б – Преддонецкий, в – Предкарпатский; 5 – южная граница платформ; 6 – Урал, 7 – зона глубинных разломов, 8 – зоны развития траппов протерозойского возраста, 9 – зоны развития траппов нижнепалеозойского возраста

Методы и решения

Для решения поставленной задачи используется, как самый распространённый в геологии метод аналогий, основанный на использовании полученных результатов в сходных геологических условиях. В рамках этих исследований, перспективным представляется территория Московского осадочного бассейна, по совокупности геолого-геофизических данных и результатов бурения объединивший Московскую и Мезенскую синеклизы и Волго-Уральскую и Воронежскую антеклизы и расположенного в пределах древней Восточно-Европейской платформы (рис.1). Принципиальной особенностью геологического строения этой территории является наличие в осадочном разрезе пород трапповых формаций вендского и нижнедевонского возраста [15].

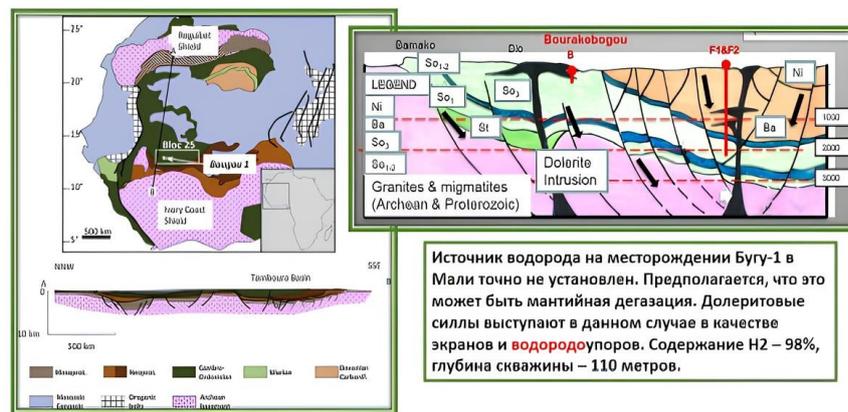
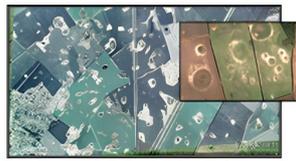


Рисунок 2 - Мали. Первое в мире разрабатываемое месторождение природного водорода Бугу-1
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.165.98.2>

Примечание: источник [18]

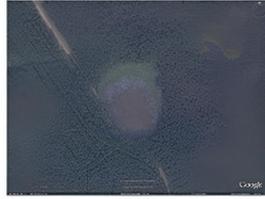
Вся поверхность Московского осадочного бассейна характеризуется проявлением самопроизвольных выбросов природного водорода (рис. 3). Удивительно, откуда он берется? Возможность для глубинного подтока [17] вызывает серьезные возражения: с одной стороны — территория асейсмична, это древняя стабильная территория, с другой — весьма сомнительно, что водород в платформенных условиях при своей высокой химической активности сможет преодолеть значительную дистанцию в геологической среде не будучи связанным в той или иной форме. А проявление, тем не менее, есть, что дает основания предполагать, что существует другой механизм образования водорода.



Разрушающиеся выходами H₂ поля Липецкой области



Восток Воронежской области



Московская область, 1.5 км на юго-восток от г. Электросталь



Кольцевая структура проседания в Московской области (между деревнями Жилно и Веревское, 22 км на ССЗ от Москвы, размеры 450x350 м).

Рисунок 3 - Примеры самопроизвольных выходов водорода на Русской плите
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.165.98.3>

Примечание: источник [16]

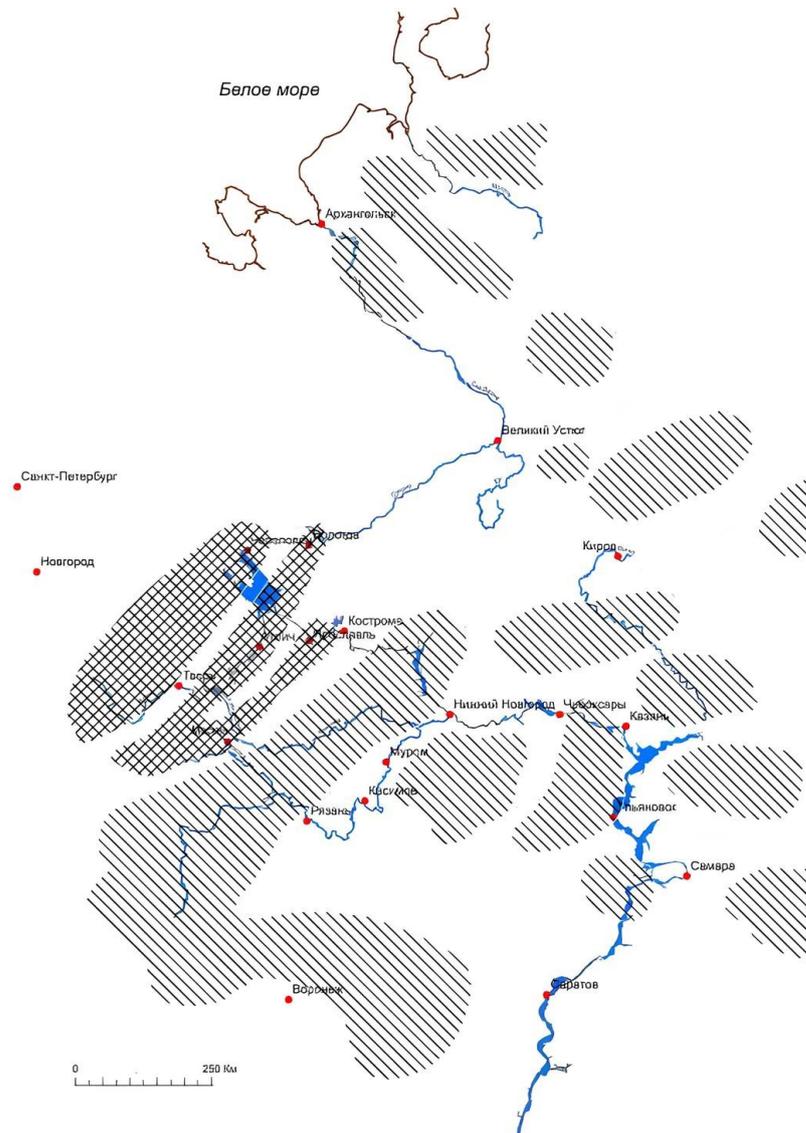


Рисунок 4 - Распространение пород трапповых формаций в пределах Московского осадочного бассейна
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.165.98.4>

Примечание: источник [15]; косой штриховкой выделены зоны распространения траппов нижнедевонского возраста, квадратной штриховкой – вендского возраста

Геологическую ситуацию, связанную с проявлениями природного водорода для платформенных областей можно исследовать на примере существующих месторождений.

Первым примером разрабатываемого месторождения водорода с дебитом чистого водорода (90–98%) является знаменитое месторождение в деревне Буракебугу, область Куликоро, Мали (рис. 2) [18], которое находится на древней Африканской плите. Это месторождение связано с долеритовыми силлами, то есть породами трапповых формаций, в качестве покрывки и водонасыщенными песчаниками в качестве коллектора, на достижение которых собственно и нацеливалась первая скважина. Интересен факт того, что в процессе более чем десятилетней эксплуатации этого месторождения, давление в скважине не падает, а наоборот, возросло на 10 процентов, что, видимо, дает основания полагать, что водород поступает не из резервуара, а является результатом генерации *in situ* по типу «геосинтеза» [19]. Из описания этого месторождения природного водорода следует, что в пределах месторождения отсутствуют в том или ином виде источники углерода.

Вторым месторождением природного водорода является открытое компанией Gold hydrogen, Ltd из Брисбана, Австралия на полуострове Йорк. Скважина Ramsey 1, находящаяся в пределах кратона Гаулер на Аделаидском рифте (рис. 5а), дала из плотных кембрийских песчаников формации Куллара/Парара, перекрывающими древний фундамент, на глубине 240 м приток газов, содержащих 73,3% и более природного водорода, а на глубине 892 м в газах обнаружено 3,6% гелия. Скважина Ramsey 2 дала из тех же песчаников приток газов, содержащих до 95,8% водорода [20]. Наличие отдельных притоков водорода и гелия свидетельствует об их различном генезисе: появление водорода выше по разрезу указывает на его локальную генерацию, не связанную с глубинными факторами, которые являются преобладающими для гелия [21]. Вся территория полуострова Йорк характеризуется наличием выходов природного водорода на поверхность (рис. 5б). Кстати, зоны проявления водорода в скважинах так же свободны от присутствия углерода.

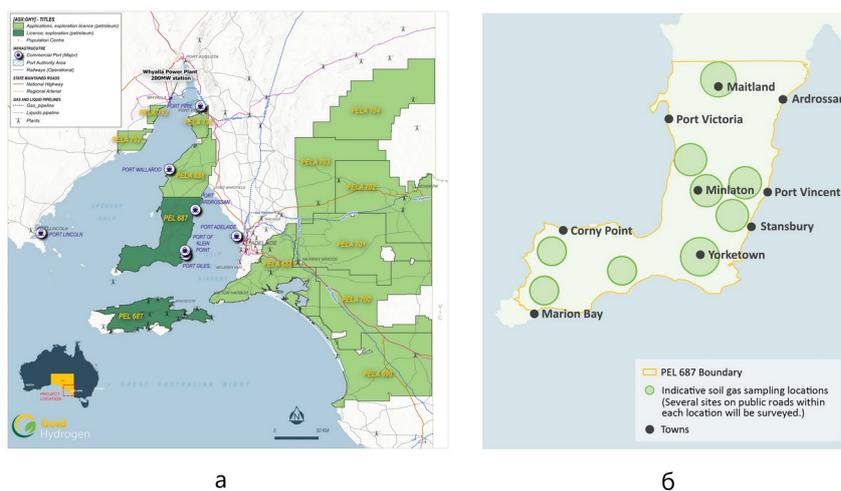


Рисунок 5 - Южная Австралия: а – расположение лицензионного участка Gold hydrogen, Ltd.; б – выходы природного водорода на поверхность на полуострове Йорк

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.165.98.5>

Примечание: источник [20]

Чтобы подчеркнуть активность в сфере практических исследований по поиску природного водорода необходимо упомянуть краткое сообщение о том, что Китай в районе Внутренней Монголии построил скважину глубиной 800 м с целью оценки перспектив добычи природного водорода [22].

Возможная природа генерации водорода

После регистрации в 1982 году открытия №326: «Экспериментально установлено неизвестное ранее явление преобразования органического вещества осадочных пород под действием тектонических и сейсмических процессов земной коры, заключающееся в повышении карбонизации и генерирования углеводородов в результате механохимических реакций, возникающих под действием переменных механических напряжений» [23]; и затем развития этих результатов не только на органические вещества в работах Н.В. Черского и В.П. Царева [24], [25] в литературе появились термины механохимических и тектохимических реакций. При этом под тектоническими и сейсмическими процессами понимается так называемый «сейсмический шум» — это общее название для относительно постоянных вибраций земной поверхности, вызванных множеством причин, которые часто являются неинтерпретируемым или нежелательным компонентом сигналов, регистрируемых сейсмометрами. Принципиальной особенностью механохимических реакций является то, что сначала под действием переменных механических напряжений в минералах пород возникают внутрикристаллические дефекты, которые, диффундируя к поверхности



зерен минералов, создают на ней энергонасыщенный слой радикалов, снижающий энергию Гиббса химических реакций, протекающих на поверхности матрицы пород в среднем на $\Delta G = 40-80$ кДж/моль [26]. В итоге реакции, термодинамически запрещенные при температуре $\leq 500^\circ\text{C}$, происходят в геологической среде при «стандартных» условиях ($T = 25^\circ\text{C}$ и $P = 1$ атм) и сопровождаются большим тепловыделением. Последовательность преобразований, что очень важно, начинается с появления в результате распада воды водорода, который вступая в реакцию с углеродом или углеродсодержащими органическими и неорганическими соединениями генерирует углеводороды. Но, в случае дефицита углерода, в недрах создается генератор природного водорода.

Обсуждение

Все перечисленные факторы, обнаруженные в связи с месторождением природного водорода в Мали и на юге Австралии, можно обнаружить и в условиях Московского осадочного бассейна, в зонах, где отсутствуют источники углерода, то есть практически вся территория за исключением территорий, связанных с Подмосковным угольным бассейном и спорадическими органогенными постройками ордовикского времени и т.д., где, что очевидно, имеются источники углерода, и скорее следует ожидать тектонохимическую генерацию углеводородов [24], [27]. Отмечается приуроченность этих проявлений к зонам распространения пород трапповых формаций таких как Московский регион, Воронежская область (рис. 4). Кстати, к подобным же выводам, но своим путем пришел и В.П. Полеванов [28]. Необходимо отметить, что закартированные самопроизвольные проявления водорода являются не результатом систематических исследований по всей территории, а, к сожалению, только случайно обнаруженными энтузиастами. Можно с уверенностью утверждать, что такие же очаги проявления природного водорода можно ожидать и в других зонах распространения пород трапповых формаций при проведении целевых геологоразведочных работ.

Заключение

На основании вышесказанного и наблюдаемого массового выхода водорода на поверхности в пределах территории Московского осадочного бассейна, можно заключить, что наблюдается генерация водорода, имеющего тот же механизм, что и в месторождении в Мали и на юге Австралии.

Вряд ли можно ожидать образования значительных местоскоплений природного водорода наподобие углеводородных. Видимо зоны генерации природного водорода в пределах платформенных территорий будут иметь ограниченное распространение, обусловленное границами реализации тектонохимического реактора, но зато эти зоны будут существовать до тех пор, пока будут сохраняться геологические условия их образования.

Неоспоримым преимуществом природного водорода перед получаемым в промышленности водородом является низкая себестоимость, которая позволяет надеяться, что сможет компенсировать высокие расходы, связанные с транспортировкой и хранением этого ценного полезного ископаемого.

Финансирование

Статья написана в рамках выполнения государственного задания ИПНГ РАН, № 125021302095-2.

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

Funding

The article was written as part of the implementation of the IPNG RAS state assignment, No. 125021302095-2.

Conflict of Interest

None declared.

Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

Список литературы / References

1. Родичкин И.Г. Водородная экономика как драйвер энергетического перехода / И.Г. Родичкин, В.А. Карасевич // Экономические и социальные проблемы России. — 2022. — № 1. — С. 26–45. — DOI: 10.31249/espr/2022.01.02.
2. Hydrogen: global direct investment 2030 // Statista. — 2025. — URL: <https://www.statista.com/statistics/1478719/hydrogen-global-direct-investment-outlook> (accessed: 23.05.2025).
3. Водород // Химическая энциклопедия: в 5 т. / гл. ред. И.Л. Кнунянц. — Москва: Советская энциклопедия, 1988. — Т. 1: А — Дарзана. — С. 400–402.
4. Резванов Р. Новая энергетическая повестка для В-поездов / Р. Резванов // РЖД-Партнёр. — 19 апреля 2021. — URL: <https://www.rzd-partner.ru> (дата обращения: 23.05.2025).
5. Net Zero by 2050: A Roadmap for the Global Energy Sector // International Energy Agency. — URL: <https://www.iea.org/reports/net-zero-by-2050> (accessed: 23.05.2025).
6. Костюнина Г.М. Водородная энергетика в странах АСЕАН / Г.М. Костюнина // Российский внешнеэкономический вестник. — 2024. — URL: <https://eurasia.today/actual/strany-asean-realizuyut-proekty-v-sfere-vodorodnoy-energetiki> (дата обращения: 23.05.2025).
7. Дегтярев К.С. Идеи и перспективы поиска свободного природного водорода / К.С. Дегтярев, М.Ю. Березкин, О.А. Синюгин // Сантехника Отопление Кондиционирование. — 2023. — № 12. — С. 78–80.
8. Литвиненко В.С. Барьеры реализации водородных инициатив в контексте устойчивого развития глобальной энергетики / В.С. Литвиненко, П.С. Цветков, М.В. Двойников, Г.В. Буслаев // Записки Горного института. — 2020. — Т. 244. — С. 428–438. — DOI: 10.31897/PMI.2020.



9. Дусалимов М.Э. Основные проблемы транспорта и хранения водорода / М.Э. Дусалимов, С.Я. Валиуллина, И.Г. Гундорова, В.А. Алексеев // Neftegaz.RU. — 2022. — № 9. — URL: <https://magazine.neftegaz.ru/articles/transportirovka/749043-osnovnye-problemy-transporta-i-khraneniya-vodoroda> (дата обращения: 23.05.2025).
10. Natural hydrogen // Wikipedia. — URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Natural_hydrogen (accessed: 23.05.2025).
11. Новиков А. Открыты гигантские запасы водорода, способные веками снабжать энергией все человечество / А. Новиков // Газета.Ru. — 2024. — URL: <https://www.gazeta.ru/science/news/2024/12/29/24738584.shtml> (дата обращения: 23.05.2025).
12. ОК 032-2002. Общероссийский классификатор полезных ископаемых и подземных вод (с попр. и Изм. № №1/2011, 2/2012, 3/2014, 4/2017, 5/2023) / утв. пост. Госстандарта России от 25.12.2002 №503-ст.
13. Об утверждении Изменения 5/2023 ОКП ИИПВ к Общероссийскому классификатору полезных ископаемых и подземных вод: Приказ Росстандарта от 07.07.2023 №490-ст.
14. Гаврилов В.П. Как устроены и чем богаты наши недра / В.П. Гаврилов. — Москва: Недра, 1981. — 192 с.
15. Шиловский А.П. Резервы нефтегазодобывающей промышленности России / А.П. Шиловский // Нефтяное хозяйство. — 2015. — № 3. — С. 48–50.
16. Ларин В.Н. Водородная дегазация на Русской платформе / В.Н. Ларин. — URL: <https://plate-tectonic.narod.ru/degazationHphotoalbum.html> (дата обращения: 23.05.2025).
17. Сывороткин В.Л. Водородная дегазация Земли и экологические проблемы / В.Л. Сывороткин // Окружающая среда и энергетика. — 2021. — № 3. — С. 75–90.
18. Prinzhofer A. Discovery of a large accumulation of natural hydrogen in Bourakebougou (Mali) / A. Prinzhofer, C.S.T. Cissé, A.B. Diallo // International Journal of Hydrogen Energy. — 2018. — Vol. 43, № 42. — P. 19315–19326.
19. Закиров С.Н. Геосинтез в проблеме происхождения нефти и газа / С.Н. Закиров, Э.С. Закиров, А.А. Баренбаум [и др.] // Труды VIII Международного технологического симпозиума. — Москва: Институт нефтегазового бизнеса, 2013. — С. 43–46.
20. Крессей Р. Стремление к развитию природных источников водорода и гелия в Австралии / Р. Крессей // Доклад на Конференции по добыче природных ископаемых в Нусе. — 2024. — URL: <https://www.goldhydrogen.com.au/wp/wp-content/uploads/2024.06.19-Australian-Hydrogen-Conference-Presentation.pdf> (дата обращения: 23.05.2025).
21. Соколов В.Б. Гелий / В.Б. Соколов // Химическая энциклопедия: в 5 т. / гл. ред. И.Л. Кнунянц. — Москва: Советская энциклопедия, 1988. — Т. 1: А — Дарзана. — С. 513–514. — ISBN 5-85270-008-8.
22. В Китае пробурили первую национальную скважину природного водорода // e-plus.media. — URL: <https://e-plus.media/news/v-kitae-proburili-pervuyu-nacjonalnuyu-skvazhinu-prirodnogo-vodoroda/> (дата обращения: 23.05.2025).
23. Трофимук А.А. Явление преобразования органического вещества осадочных пород под действием тектонических и сейсмических процессов земной коры / А.А. Трофимук, Н.В. Черский, В.П. Царев, Т.И. Сороко // Диплом на открытие №326. — Приоритет 21.04.1982.
24. Черский Н.В. Влияние тектоно-сейсмических процессов на образование и накопление углеводородов / Н.В. Черский, В.П. Царев, Т.И. Сороко, О.Л. Кузнецов. — Новосибирск: Наука, 1985. — 224 с.
25. Царев В.П. Особенности нефтегазообразования в зонах тектоно-сейсмической активации / В.П. Царев. — Новосибирск: Наука. Сиб. отд., 1988. — 186 с.
26. Баренбаум А.А. Метан в угольных шахтах: образование и причина его взрывов / А.А. Баренбаум, А.П. Шиловский // Физико-химические и петрофизические исследования в науках о Земле. XXV международная конференция, посвященная 300-летию Российской академии наук. Материалы конференции. — Москва: ИГЕМ РАН, 2024. — С. 14–17. — URL: http://www.igem.ru/petrometing_XXV (дата обращения: 23.05.2025).
27. Шиловский А.П. Незабитые запасы углеводородов: Недра Московско-Мезенского осадочного бассейна / А.П. Шиловский, Т.И. Шилова. — Saarbrücken: Palmarium Academic Publishing, 2012. — 92 с. — ISBN 978-3-8473-9482-2.
28. Полеванов В.П. Природный водород. Предварительное руководство для поисков / В.П. Полеванов // Недра. — 2022. — № 4. — С. 4–11.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Rodichkin I.G. Vodorodnaya ekonomika kak drayver energeticheskogo perekhoda [Hydrogen Economy as a Driver of the Energy Transition] / I.G. Rodichkin, V.A. Karasevich // Ekonomicheskie i social'nye problemy Rossii [Economic and Social Problems of Russia]. — 2022. — № 1. — P. 26–45. — DOI: 10.31249/espr/2022.01.02. [in Russian]
2. Hydrogen: global direct investment 2030 // Statista. — 2025. — URL: <https://www.statista.com/statistics/1478719/hydrogen-global-direct-investment-outlook> (accessed: 23.05.2025).
3. Vodorod [Hydrogen] // Himicheskaya enciklopediya: v 5 t. [Chemical Encyclopedia: in 5 vols.] / ed.-in-chief I.L. Knunyanc. — Moscow: Soviet Encyclopaedia, 1988. — Vol. 1: A — Darzana. — P. 400–402. [in Russian]
4. Rezvanov R. Novaya energeticheskaya povestka dlya V-poezdov [New Energy Agenda for V-Trains] / R. Rezvanov // RZHD-Partner [Russian Railways Partner]. — April 19, 2021. — URL: <https://www.rzd-partner.ru> (accessed: 23.05.2025). [in Russian]
5. Net Zero by 2050: A Roadmap for the Global Energy Sector // International Energy Agency. — URL: <https://www.iea.org/reports/net-zero-by-2050> (accessed: 23.05.2025).
6. Kostyunina G.M. Vodorodnaya energetika v stranah ASEAN [Hydrogen Energy in ASEAN Countries] / G.M. Kostyunina // Rossijskij vneshneekonomicheskij vestnik [Russian Foreign Economic Bulletin]. — 2024. — URL:



<https://eurasia.today/actual/strany-asean-realizuyut-proekty-v-sfere-vodorodnoy-energetiki> (accessed: 23.05.2025). [in Russian]

7. Degtyarev K.S. Idei i perspektivy poiska svobodnogo prirodnogo vodoroda [Ideas and Prospects for Searching for Free Natural Hydrogen] / K.S. Degtyarev, M.Yu. Berezkin, O.A. Sinyugin // Santekhnika Otoplenie Kondicionirovanie [Plumbing Heating Conditioning]. — 2023. — № 12. — P. 78–80. [in Russian]

8. Litvinenko V.S. Bar'ery realizacii vodorodnyh iniciativ v kontekste ustojchivogo razvitiya global'noj energetiki [Barriers to the Implementation of Hydrogen Initiatives in the Context of Sustainable Development of Global Energy] / V.S. Litvinenko, P.S. Tsvetkov, M.V. Dvojniov, G.V. Buslaev // Zapiski Gornogo instituta [Journal of Mining Institute]. — 2020. — Vol. 244. — P. 428–438. — DOI: 10.31897/PMI.2020. [in Russian]

9. Dusalimov M.E. Osnovnye problemy transporta i hraneniya vodoroda [Main Problems of Hydrogen Transport and Storage] / M.E. Dusalimov, S.Ya. Valiullina, I.G. Gundorova, V.A. Alekseev // Neftegaz.RU. — 2022. — № 9. — URL: <https://magazine.neftgaz.ru/articles/transportirovka/749043-osnovnye-problemy-transporta-i-khraneniya-vodoroda> (accessed: 23.05.2025). [in Russian]

10. Natural hydrogen // Wikipedia. — URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Natural_hydrogen (accessed: 23.05.2025).

11. Novikov A. Otkryty gigantkie zapasy vodoroda, sposobnye vekami snabzhat' energiej vse chelovechestvo [Giant Hydrogen Reserves Capable of Supplying Energy to All Mankind for Centuries Have Been Discovered] / A. Novikov // Gazeta.Ru. — 2024. — URL: <https://www.gazeta.ru/science/news/2024/12/29/24738584.shtml> (accessed: 23.05.2025). [in Russian]

12. OK 032-2002. Obshcherossijskij klassifikator poleznyh iskopaemyh i podzemnyh vod (s popr. i Izm. №№1/2011, 2/2012, 3/2014, 4/2017, 5/2023) [OK 032-2002. Russian Classification of Minerals and Groundwater (with amendments and changes No. 1/2011, 2/2012, 3/2014, 4/2017, 5/2023)] / approved by Decree of the Gosstandart of Russia dated December 25, 2002 No. 503-st. [in Russian]

13. Ob utverzhdenii Izmeneniya 5/2023 OKPiiPV k Obshcherossijskomu klassifikatoru poleznyh iskopaemyh i podzemnyh vod: Prikaz Rosstandarta ot 07.07.2023 №490-st [On the approval of Amendment 5/2023 to the Russian Classification of Minerals and Groundwater: Order of Rosstandart dated July 7, 2023 No. 490-st]. [in Russian]

14. Gavrilov V.P. Kak ustroeny i chem bogaty nashi nedra [How Our Subsoil is Structured and What It Is Rich In] / V.P. Gavrilov. — Moscow: Nedra, 1981. — 192 p. [in Russian]

15. Shilovskij A.P. Rezervy neftegazodobyvayushchej promyshlennosti Rossii [Reserves of the Oil and Gas Industry in Russia] / A.P. Shilovskij // Neftyanoe hozyajstvo [Oil Industry]. — 2015. — № 3. — P. 48–50. [in Russian]

16. Larin V.N. Vodorodnaya degazaciya na Russkoj platforme [Hydrogen Degassing on the Russian Platform] / V.N. Larin. — URL: <https://plate-tectonic.narod.ru/degazationHphotoalbum.html> (accessed: 23.05.2025). [in Russian]

17. Syvorotkin V.L. Vodorodnaya degazaciya Zemli i ekologicheskie problemy [Hydrogen Degassing of the Earth and Environmental Problems] / V.L. Syvorotkin // Okruzhayushchaya sreda i energovedenie [Environment and Energy Studies]. — 2021. — № 3. — P. 75–90. [in Russian]

18. Prinzhofer A. Discovery of a large accumulation of natural hydrogen in Bourakebougou (Mali) / A. Prinzhofer, C.S.T. Cissé, A.B. Diallo // International Journal of Hydrogen Energy. — 2018. — Vol. 43, № 42. — P. 19315–19326.

19. Zakirov S.N. Geosintez v probleme proiskhozhdeniya nefti i gaza [Geosynthesis in the Problem of the Origin of Oil and Gas] / S.N. Zakirov, E.S. Zakirov, A.A. Barenbaum [et al.] // Trudy VIII Mezhdunarodnogo tekhnologicheskogo simpoziuma [Proceedings of the VIII International Technological Symposium]. — Moscow: Institut neftegazovogo biznesa, 2013. — P. 43–46. [in Russian]

20. Kressej R. Stremlenie k razvitiyu prirodnyh istochnikov vodoroda i geliya v Avstralii [The Drive to Develop Natural Hydrogen and Helium Sources in Australia] / R. Kressej // Doklad na Konferencii po dobyche prirodnyh iskopaemyh v Nuse [Report at the Natural Resources Mining Conference in Noosa]. — 2024. — URL: <https://www.goldhydrogen.com.au/wp/wp-content/uploads/2024.06.19-Australian-Hydrogen-Conference-Presentation.pdf> (accessed: 23.05.2025). [in Russian]

21. Sokolov V.B. Gelij [Helium] / V.B. Sokolov // Himicheskaya enciklopediya: v 5 t. [Chemical Encyclopedia: in 5 vols.] / ed.-in-chief I.L. Knunyanc. — Moscow: Soviet Encyclopaedia, 1988. — Vol. 1: A — Darzana. — P. 513–514. — ISBN 5-85270-008-8. [in Russian]

22. V Kitae proburili pervuyu nacional'nuyu skvazhinu prirodnogo vodoroda [China Drilled the First National Natural Hydrogen Well] // e-plus.media. — URL: <https://e-plus.media/news/v-kitae-proburili-pervuyu-nacziionalnuyu-skvazhinu-prirodnogo-vodoroda/> (accessed: 23.05.2025). [in Russian]

23. Trofimuk A.A. Yavlenie preobrazovaniya organicheskogo veshchestva osadochnyh porod pod dejstviem tektonicheskikh i seismicheskikh processov zemnoj kory [The Phenomenon of Transformation of Organic Matter in Sedimentary Rocks under the Influence of Tectonic and Seismic Processes of the Earth's Crust] / A.A. Trofimuk, N.V. Cherskij, V.P. Carev, T.I. Soroko // Diplom na otkrytie №326 [Discovery Diploma No. 326]. — Priority date April 21, 1982. [in Russian]

24. Cherskij N.V. Vliyanie tektono-sejsmicheskikh processov na obrazovanie i nakoplenie uglevodorodov [Influence of Tectono-Seismic Processes on the Formation and Accumulation of Hydrocarbons] / N.V. Cherskij, V.P. Carev, T.I. Soroko, O.L. Kuznecov. — Novosibirsk: Nauka, 1985. — 224 p. [in Russian]

25. Carev V.P. Osobennosti neftegazoobrazovaniya v zonah tektono-sejsmicheskoy aktivacii [Features of Oil and Gas Formation in Zones of Tectono-Seismic Activation] / V.P. Carev. — Novosibirsk: Nauka. Sib. br., 1988. — 186 p. [in Russian]

26. Barenbaum A.A. Metan v ugol'nyh shahah: obrazovanie i prichina ego vzryvov [Methane in Coal Mines: Formation and Cause of Its Explosions] / A.A. Barenbaum, A.P. Shilovskij // Fiziko-himicheskie i petrofizicheskie issledovaniya v naukah o Zemle. XXV mezhdunarodnaya konferenciya, posvyashchennaya 300-letiyu Rossijskoj akademii nauk. Materialy konferencii [Physicochemical and Petrophysical Studies in Earth Sciences. XXV International Conference Dedicated to the 300th Anniversary of the Russian Academy of Sciences. Conference Proceedings]. — Moscow: IGEM RAN, 2024. — P. 14–17. — URL: http://www.igem.ru/petromeeting_XXV (accessed: 23.05.2025). [in Russian]



27. Shilovskij A.P. Nerazvedannye zapasy uglevodorodov: Nedra Moskovsko-Mezenskogo osadochnogo bassejna [Unexplored Hydrocarbon Reserves: The Subsoil of the Moscow-Mezen Sedimentary Basin] / A.P. Shilovskij, T.I. Shilovskaya. — Saarbrücken: Palmarium Academic Publishing, 2012. — 92 p. — ISBN 978-3-8473-9482-2. [in Russian]

28. Polevanov V.P. Prirodnyj vodorod. Predvaritel'noe rukovodstvo dlya poiskov [Natural Hydrogen. A Preliminary Guide for Prospecting] / V.P. Polevanov // Nedra [Subsoil]. — 2022. — № 4. — P. 4–11. [in Russian]