



ЭНЕРГЕТИКА И ЭКОЛОГИЯ

ENERGY AND ECOLOGY

ЭКОЛОГИЯ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ

ECOLOGY OF WATER RESOURCES

Статья поступила в редакцию 05.01.24 Ред. Рег. № 005-004-24

The article has entered in publishing office 05.01.24 Ed. Reg. No. 005-004-24

УДК 620.93

УДК 504.062:556.18



ВОЗМОЖНОСТИ ЭФФЕКТИВНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОДНЫХ
РЕСУРСОВ И ВОДОРОДНОГО РЫНКА В КАЗАХСТАНЕ



**Куришбаев А.¹, Габдуллин М.², Аманжолова Р.², Эм Т.², Сагин Ж.²,
Бурлибаева Д.³, Алиханов К.⁴, Серикканов А.⁴, Сарсекова Д.¹, Кинг Р.²**

¹ Казахский национальный аграрный исследовательский университет, Алматы, Казахстан,
rector@kaznaru.edu.kz, sarsekova.dani@kaznaru.edu.kz

² Казахско-Британский технический университет, Алматы, Казахстан,
m.gabdullin@kbtu.kz, r_amanzholova@kbtu.kz, t_em@kbtu.kz, j.sagin@kbtu.kz, r.king@kbtu.kz

³ Институт географии и водной безопасности, Алматы, Казахстан,
diana.burlibayeva@yandex.kz

⁴ Национальная академия наук Республики Казахстан при Президенте Республики Казахстан,
k.alikhanov.nas@gmail.com, a.serikkanov.nas@gmail.com

doi: 10.15518/isjaee.2024.01.179-207

Заключение совета рецензентов: 18.01.24

Заключение совета экспертов: 22.01.24

Принято к публикации: 31.01.24

Казахстан является одной из стран мира, наиболее пострадавших от изменения климата и нехватки воды. Последствиями стало изменение режима осадков, более частые экстремальные температуры и увеличение засушливости. Водную безопасность большинство стран мира связывают с важностью научных инвестиций, форум-сайт-исследований в программы адаптации к глобальному изменению климата, антропогенных чрезвычайных событий, увеличением частоты и продолжительности наводнений, засух и пожаров, с ростом населения, интенсивности сельского хозяйства, индустриализации, приводящей к снижению уровня грунтовых вод. Влажность почвы на уровне корней снижается, усиливая процессы опустынивания и засоления почв. В связи с этим стратегией многих стран становится увеличение инвестиций в программы научных исследований воды-почвы, прямая кооперация с совместными научно-практическими исследованиями агентств чрезвычайной безопасности и сельского хозяйства, широкое вовлечение населения в совместные программы с учеными-исследователями. В представленном обзоре проанализированы и предложены варианты усиления устойчивого развития Казахстана с более эффективным использованием водных ресурсов и развитием внутреннего водородного рынка. В Казахстане рассматриваются варианты регионов производства водорода, в том числе на Западе Казахстана, Мангистауской области, с использованием воды Каспийского озера. Альтернативный вариант, обсуждаемый в данном обзоре, связан с созданием мощностей по производству водорода в Северном Казахстане, где будет ис-

Куришбаев А., Габдуллин М., Аманжолова Р., Эм Т., Сагин Ж., Бурлибаева Д., Алиханов К., Серикканов А., Сарсекова Д., Кинг Р. Возможности эффективного использования водных ресурсов и водородного рынка в казахстане // Альтернативная энергетика и экология (ISJAE), 01 (418) 2024, с. 179-207

Kurishbaev A., Gabdullin M., Amanzholova R., Em T., Sagin J., Burlibayeva D., Alikhanov K., Serikkanov A., Sarsekova D., King R. Foresight for efficient use of water resources and the hydrogen market in kazakhstan // Alternative Energy and Ecology (ISJAE), 01(418) 2024, pp. 179-207



пользоваться часть воды от 16,5 куб. км воды, ежегодно уходящей в Северный Ледовитый океан из Казахстана через Россию. Кроме того, в Северном Казахстане имеются мощности по производству электроэнергии, уголь. В кооперации с Россией может быть использован природный газ, а также водные ресурсы России, в том числе из Северного Ледовитого океана. Изменение климата, повышение температуры ведет к повышению уровня океанов – прибрежные зоны океанов, острова будут уходить под воду. Стимулирование развития технологий по использованию вод из сточных рек, впадающих в океаны, становится актуальным во многих странах мира.

Ключевые слова: Central Asia, foresight, вода, водород, Казахстан, наводнения, засухи, устойчивое развитие.

FORESIGHT FOR EFFICIENT USE OF WATER RESOURCES AND THE HYDROGEN MARKET IN KAZAKHSTAN

Kurishbaev A.¹, Gabdullin M.², Amanzholova R.², Em T.², Sagin J.², Burlibayeva D.³, Alikhanov K.⁴, Serikkanov A.⁴, Sarsekova D.¹, King R.²

¹ Kazakh National Agrarian Research University, Almaty, Kazakhstan,
rector@kaznaru.edu.kz, sarsekova.dani@kaznaru.edu.kz

² Kazakh-British Technical University, Almaty, Kazakhstan,
m.gabdullin@kbtu.kz, r_amanzholova@kbtu.kz, t_em@kbtu.kz, j.sagin@kbtu.kz, r.king@kbtu.kz

³ Institute of Geography and Water Security, Almaty, Kazakhstan,
diana.burlibayeva@yandex.kz

⁴ National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan under the President of the Republic of Kazakhstan,
k.alikhanov.nas@gmail.com, a.serikkanov.nas@gmail.com

doi: 10.15518/isjaee.2024.01.179-207

Referred: 18.01.24

Received in revised form: 22.01.24

Accepted: 31.01.24

Kazakhstan is one of the countries in the world most affected by climate change and water shortages. The consequences include changes in precipitation patterns, more frequent extreme temperatures, and increased aridity. Most countries of the world associate water security with the importance of scientific investments, foresight studies in adaptation programs to global climate change, man-made emergency events, an increase in the frequency and duration of floods, droughts and fires, population growth, agricultural intensity, industrialization leading to a decrease in water levels. groundwater. Soil moisture at the root level decreases, intensifying the processes of desertification and soil salinization. In this regard, the strategy of many countries is to increase investment in water-soil scientific research programs, direct cooperation with joint scientific and practical research of emergency security agencies and agriculture, and widespread involvement of the population in joint programs with research scientists. The presented review analyzes and proposes options for strengthening the sustainable development of Kazakhstan with more efficient use of water resources and the development of the domestic hydrogen market. In Kazakhstan, scenarios and regions for hydrogen production are being considered, including in Western Kazakhstan, the Mangystau region, using the water of the Caspian Lake. The alternative region is considered in this review involves the creation of hydrogen production facilities in Northern Kazakhstan, which will use part of the water from 16.5 cubic meters. km of water that annually flows into the Arctic Ocean from Kazakhstan through Russia. In addition, in Northern Kazakhstan there are capacities to produce electricity with big coal reserves. In cooperation with Russia, natural gas can be used, as well as Russian water resources, including those from the Arctic Ocean. Climate change and rising temperatures lead to rising ocean levels; coastal zones of the oceans and islands will go under water. Stimulating the development of technologies for the use of water from the rivers flowing into the oceans is becoming relevant in many regions of the world.

Keywords: Central Asia, foresight, water, hydrogen, Kazakhstan, floods, drought, sustainable development.



Куришбаев
Ахылбек
Кажигулович
Kurishbayev Akhyrbek
Kazhigulovich

Сведения об авторе: доктор сельскохозяйственных наук, профессор, академик НАН РК, Казахский национальный аграрный университет.

Область научных интересов: сельское и водное хозяйство.

<https://orcid.org/0000-0002-0568-5964>

Author information: doctor of Agricultural Sciences, Professor, Academician of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, Kazakh National Agrarian University.

Research area: agriculture and water management.

<https://orcid.org/0000-0002-0568-5964>



Габдуллин
Маратбек
Тулбергеневич
Gabdullin Maratbek
Tulebergenovich

Сведения об авторе: PhD, кандидат физико-математических наук, профессор, Казахстанско-Британский технический университет (КБТУ).

Область научных интересов: физика плазмы, наноматериалы и нанотехнологии, водородная энергетика.

<https://orcid.org/0000-0003-4853-3642>

Author information: PhD, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Kazakh-British Technical University (KBTU).

Research area: Plasma Physics, Nanomaterials and Nanotechnology, Hydrogen Energy.

<https://orcid.org/0000-0003-4853-3642>



Аманжолова
Раушан Шапагатовна
Amanzholova Raushan
Shapagatovna

Сведения об авторе: магистр, Казахский агротехнический университет.

Область научных интересов: умные города и умные системы, водная инженерия.

<https://orcid.org/0000-0001-9129-1074>

Author information: MS, Kazakh Agrotechnical Research University.

Research area: Smart city and smart system, water engineering.

<https://orcid.org/0000-0001-9129-1074>



Эм
Тимур Олегович
Em Timur Olegovich

Сведения об авторе: магистр, Казахстанско-Британский Технический университет.

Область научных интересов: информационные системы, водные ресурсы, программирование.

<https://orcid.org/0009-0007-6859-1053>

Author information: MS, Kazakh-British Technical University.

Research area: Information technologies, water resources, programming.

<https://orcid.org/0009-0007-6859-1053>



Сагинтаев
Жанай Матаевич,
Sagin Janay

Сведения об авторе: PhD, Западно-Мичиганский Университет, КБТУ, профессор.

Область научных интересов: Инженерная Геомастика, Водные ресурсы.

https://scholar.google.com/citations?hl=en&user=h0V2zs4AAAAJ&view_op=list_works&sortby=pubdate

Author information: PhD, Western-Michigan University, KBTU, professor.

Research area: Geomatics Engineering, Water Resources.

https://scholar.google.com/citations?hl=en&user=h0V2zs4AAAAJ&view_op=list_works&sortby=pubdate





Бурлибаева
Диана Маликовна
Diana Burlibaeva

Сведения об авторе: PhD, Институт географии и водной безопасности, Казахстан.

Область научных интересов: Гидрология, гидрохимия, экологический сток.
<https://orcid.org/0000-0002-2385-8611>

Author information: PhD, Institute of Geography and Water Security, Kazakhstan.

Research area: Hydrology, Hydrochemistry, Ecological flow.
<https://orcid.org/0000-0002-2385-8611>



Алиханов
Куантар Дауленович
Alikhanov Kuantar
Daulenovich

Сведения об авторе: PhD, Казахский национальный аграрный университет, Национальная академия наук Республики Казахстан при Президенте Республики Казахстан.

Область научных интересов: сельское хозяйство.
<https://orcid.org/0000-0001-9514-7678>

Author information: PhD, Kazakh National Agrarian University, National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan.

Research area: Agriculture.
<https://orcid.org/0000-0001-9514-7678>



Серикканов
Абай Серикканович
Serikkanov Abay
Serikkanovich

Сведения об авторе: кандидат физико-математических наук, Физико-технический институт, Национальная академия наук Республики Казахстан при Президенте Республики Казахстан.

Область научных интересов: возобновляемая энергетика, водные ресурсы.
<https://orcid.org/0000-0002-0568-5964>

Author information: Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Institute of Physics and Technology, National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan.

Research area: Renewable energy, water resources.
<https://orcid.org/0000-0002-0568-5964>



Сарсекова
Дани Нургисаевна
Sarsekova Dani
Nurgisaevna

Сведения об авторе: доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Казахский национальный аграрный университет.

Область научных интересов: лесопользащитные лесные полосы, лесная гидрология, изменение климата.
<https://orcid.org/0000-0003-0537-4936>

Author information: Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Kazakh National Agrarian University.

Research area: Forest shelterbelts, forest hydrology, climate change.
<https://orcid.org/0000-0003-0537-4936>



Кинг Ребекка
King Rebecca

Сведения об авторе: бакалавр гуманитарных наук в области географии, Делавэрский университет.

Область научных интересов: геопро-странственные технологии.
<https://orcid.org/0009-0000-9098-9411>

Author information: Bachelor of Arts in Geography, University of Delaware.

Research area: Geospatial Technology.
<https://orcid.org/0009-0000-9098-9411>

Таблица сокращений

Буквы латинского алфавита	
106C: 16N:1P	(C)углерод, (N) азот, (P) фосфор, соотношение-коэффициент Редфилда для анализа процессов фотосинтеза растений устойчивого поступления элементов
CERC	CanadaExcellenceResearchChairs, Руководители передовых исследований Канады
FEMA HAZUS	FederalEmergencyManagementAgency, Федеральное агентство по чрезвычайным ситуациям моделирование ЧС
Flood- MAR	ManagedAquiferRecharge, наводнения-Пополнение водоносного горизонта, управление паводками
ASR	AquiferStorageandRecovery, Хранение и восстановление водоносных горизонтов
Ag-MAR	Agriculture-ManagedAquiferRecharge, сельское хозяйство-Пополнение водоносного горизонта для CX
SDR	SocialDiscountRate, социальные ставки дисконтирования
S RTP	SocialRateofTimePreference, социальная норма временных предпочтений
SOC	Socialopportunitycostofcapital, социальная альтернативная стоимость капитала
SWAT	SoilandWaterAssessmentTool, оценочное моделирование состояния почвы и воды
RRBC	RedRiverBasinCommission, Бассейновый совет Красной реки
DWPI	Derwent World Patents Index, Мировой патентный индекс Дервент
IPC	International Patent Classification, Международная патентная классификация
SMR	Steam methane reforming, Паровая конверсия метана
HRS	Hydrogenrefuelingstations, водородные заправочные станции

CCUS	Carbon Capture, UsageandStorage; Улавливание, использование и хранение углерода
NRCan	Natural Resources Canada; Природные ресурсы Канады
CI	Carbon Intensity; Углеродная ёмкость
ATR	Auto-thermal reforming; Автотермический риформинг
SAPIF	Saudi Arabian Public Investment Fund; Государственный инвестиционный фонд Саудовской Аравии
Буквы русского алфавита	
CX	Сельское хозяйство
ЧС	Чрезвычайное событие
ЭУ	Экосистемные услуги
МПК	Международная патентная классификации
ПЭМ	Полимерно-электролитные мембраны.
ЕС	Европейский союз
ПАО	Публичное акционерное общество
ВИЭ	Возобновляемые источники энергии
МЭА	Международное энергетическое агентство
ЦА	Центральная Азия
Размерности	
км³	Кубический километр
см³	Кубический сантиметр
мм³	Кубический миллиметр
%	Процент
°C	Градус Цельсия



Введение

Казахстан является одним из регионов мира, наиболее пострадавших от изменения климата и нехватки воды. Изменение режима осадков, более частые экстремальные температуры с увеличением усиления пиков наводнений и увеличение засухливости – всё это оказывает негативное воздействие на устойчивое развитие экономики, сельскохозяйственное производство, ставя под угрозу продовольственную и экологическую безопасность [1]. Водную безопасность большинство стран мира связывает с важностью научных инвестиций, форсайт-исследований в программы адаптации к глобальному изменению климата, антропогенных чрезвычайных событий, увеличением частоты и продолжительности наводнений, засух и пожаров, с ростом населения, интенсивности сельского хозяйства, индустриализации, приводящей к снижению уровня грунтовых вод [2]. Влажность почвы на уровне корней снижается, тем самым усиливаются процессы опустынивания и засоления. [3]. В связи с этим многие страны выбрали своей стратегией: увеличение инвестиций в программы научных исследований воды-почвы; прямую кооперацию с совместными научно-практическими исследованиями агентств по чрезвычайной безопасности и сельскому хозяйству; широкое вовлечение населения в совместные программы с учеными-исследователями. Оптимальное решение многих проблем, как и лечение многих болезней людей, связано с правильной диагностикой болезни. Также успешность проведения любого проекта базируется на правильной диагностике ситуации, мониторинге прошлого, прогноза, анализа будущего, оценке текущих ресурсов, моделировании на правдивых входных данных, адаптации потребностей технологий на том, что реально есть. Как и в любой семье – оптимально жить по доходам, сопоставляя свои расходы. Большинство проблем водных ресурсов связано со следующими факторами: слабой научной поддержкой профессионального проектного управления водными ресурсами, с научно необоснованным финансовым прогнозом расходов, с отсутствием рабочей кооперации, с отсутствием единых баз данных платформ моделирования различных ведомств и министерств Казахстана – включая ведомства чрезвычайных ситуаций, водного и сельского хозяйства, внутренних дел и индустрии. В качестве решения проблемы водных ресурсов предлагается использовать стратегию единого взаимосвязанного организма – объединить в общую базу-платформу: гидрометеорологию осадков; перемещение поверхностно-подземных вод; точки

потребителей; точки болезней, заражения, плохого качества воды – все это с научной оценкой финансовых расходов на смоделированный спрогнозированный участок проблемы. Многие страны в настоящее время интенсивно вкладываются в научные работы ученых-исследователей, в развивающие прикладные научные программы по сельскому хозяйству (СХ), адаптированные к чрезвычайным ситуациям (ЧС): наводнениям, засухам, пожарам, землетрясениям. В программы финансирования вовлекаются страховые компании. Усиливаются полномочия ученых-исследователей прикладных Институтов Водной Безопасности по управлению практическими программами СХ, речными бассейновыми комитетами, включая трансграничные. Акцентируется внимание на более эффективном использовании системы восполнения, возобновления подземных вод; экономии финансовых расходов путем устранения строительства поверхностных дамб, резервуаров. Предлагаются различные возможности эффективного использования водных ресурсов и водородного рынка в Казахстане. Казахстан нацелен на увеличение забора воды из Каспийского моря для реализации проекта HYRASIA ONE по производству зеленого водорода с инвестициями в 50 миллиардов евро. Анализ эффективности и альтернативы таким проектам практически отсутствует. Требуются более устойчивые программы, способные убедить и повлиять на лица, принимающие решения в Казахстане, в ЦА. Потенциалом для производства и устойчивого использования природного «белого» водорода на подземных геологических «фабриках» в Казахстане являются альтернативные исследования ресурсов подземных вод. Казахстан богат природными ресурсами – рудными породами, обогащенными железом, минералами, ураном, которые необходимы для реакций серпентинизации железорудных пород и по урановым реакциям распада радиолиза с выделением природного водорода из подземных вод. Исследования подземных геологических «фабрик» требуют значительных усилий и нуждаются в стимулировании развития в Казахстане. Правильная классификация подземных вод и научные исследования необходимы для разделения ресурсов питьевых подземных вод, колодцев и территорий, где потенциально могут располагаться подземные геологические «фабрики», производящие природный «белый» водород. Анализ возможностей для масштабной целевой программы по улучшению устойчивости водных ресурсов с развитием водородного рынка проаннотирован в данной работе.

1. Права, полномочия и финансирование ведущих ученых Водной Безопасности

По аналогии действующих в Канаде-США программ Canada US Excellence Research Chairs (CERC, https://www.cerc.gc.ca/about-au_sujet/index-eng.aspx)

оптимально предоставить права и финансирование ведущим ученым с инновационными технологиями (Рис. 1).

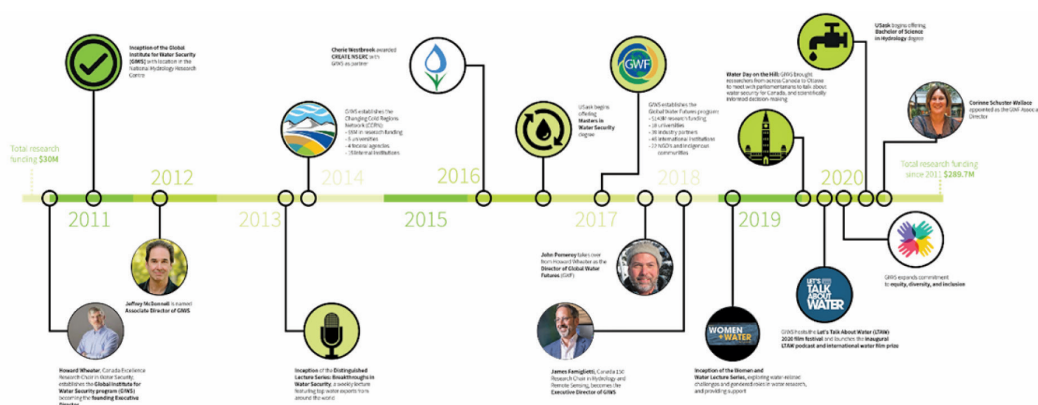


Рис. 1. Диаграмма Института Водной Безопасности с финансированием водных проектов ученых-исследователей Саскатчеванского Бассейна Канады-США с 30 миллионов долларов в 2011 году до 290 миллионов долларов в 2020 году [4]

Fig. 1. Institute for Water Security diagram with funding for water projects of scientists in the Saskatchewan Basin of Canada-USA from 30 million dollars in 2011 to 290 million dollars in 2020 [4]

2. Моделирование ЧС с финансовой аналитикой FEMA HAZUS США Канада

Адаптировать Единую геоинформационную базу данных моделирования чрезвычайных ситуаций Канады-США FEMA HAZUS (<https://www.fema.gov/flood-maps/products-tools/hausus>) по предоставлению стандартизированных инструментов и данных для оценки риска землетрясений, наводнений, ураганов,

засух, пожаров с экономическим анализом и сценариями планирования финансовых расходов (Рис. 2) в кооперации со страховыми компаниями, Министерствами СХ, ЧС, водных ресурсов и ирригации (ВРИ) Казахстана.



Рис. 2. Единая геоинформационная база данных моделирования чрезвычайных ситуаций FEMA HAZUS по оценке рисков землетрясений, наводнений, ураганов, засух, пожаров с финансовыми расчетами [5]

Fig. 2. Unified geographic information database for modeling emergency situations FEMA HAZUS for assessing the risks of earthquakes, floods, hurricanes, droughts, fires with financial expenses calculation [5]

Экономическая польза, эффективность от внедрения проактивных действий, мероприятий заранее до ЧС, использование комбинированных действий с технологиями FEMA HAZUS оценены Федеральным Агентством по ЧС 1:10. Каждый доллар, вложенный заранее до ЧС, экономит до 10 долларов на послед-

ствиях ЧС [6]. По мере того, как число и стоимость погодных и климатических катастроф усиливаются, Федеральное агентство по чрезвычайным ситуациям FEMA США все больше инвестирует в проактивные действия подготовки для эффективного реагирования на них. Каждый год в течение последних пяти лет в

США происходит более 20 бедствий стоимостью более 20 миллиардов долларов [6]. Стратегия FEMA США – стать более дальновидным, а не реактивным. Изменение климата требует планирования на десятилетия вперед, но в прошлом это не входило в обязанности FEMA. Сейчас же FEMA США интенсивно вкладывается в исследовательские работы по модели-

рованию сценариев по ЧС на десятки лет вперед.

В Министерстве ЧС Казахстана программы, аналогичные FEMA HAZUS США, плохо отработаны. При инвестициях в программы, аналогичные FEMA HAZUS, нескольких миллионов долларов, система может сэкономить десятки миллионов долларов на последствиях ЧС Казахстана.

3. Накопление паводковых вод в подземных горизонтах Flood-MAR

Адаптировать программы Канады-США Flood-MAR (<https://floodmar.org/>) по накоплению дренажных паводковых вод по технологиям искусственного восполнения подземных вод. Зависимость от поверхностных вод и строительство водохранилищ создают экологические проблемы с потерями воды в виде

испарений. США-Канада, осознавая свои ошибки, устраняют поверхностные водохранилища и развивают больше технологий Flood-MAR по использованию и восполнению подземных водных ресурсов для последующего применения подземных вод во время засух (Рис. 3).

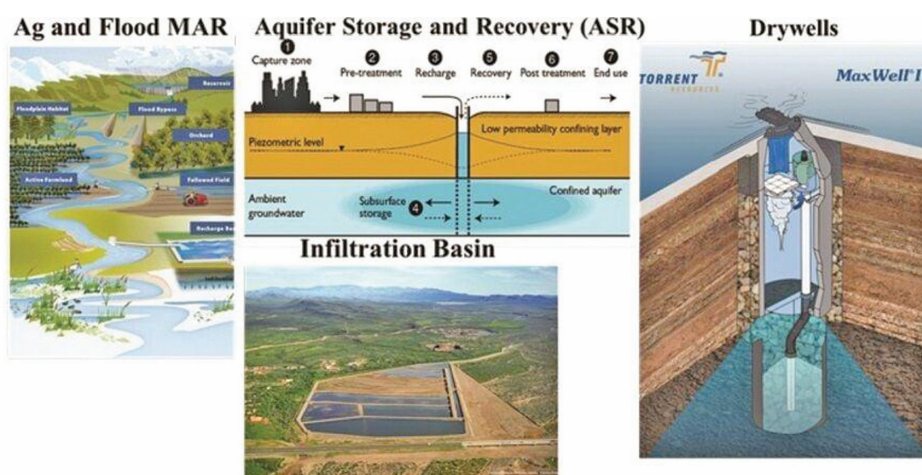


Рис. 3. Схемы различных управляемых систем пополнения водоносных горизонтов [7]
Fig. 3. Different Managed Aquifer Recharge (MAR) technologies [7]

В США в Калифорнии, ввиду усиления кризиса с водой, правительство призывает население, фермеров использовать больше технологии Flood-MAR, стимулируя финансированием грантами и льготными кредитами, наряду с этим прекратив поддержку строительства дамб-резервуаров [8]. Польза, эффективность от внедрения программ Flood-MAR – в повышении гибкости в управлении водными ресурсами, устойчивости к засухе, в региональной самодостаточности увеличения водоснабжения, защите от наводнений [9]. Инвестиции в Flood-MAR имеют высокую отдачу. MAR обеспечивает ценные социальные выгоды и способствует сохранению ресурсов подземных вод [10]. Не существует единого мнения относительно подходящего метода оценки социальной ставки дисконтирования (SDR) для проектов социальной инфраструктуры. Двумя наиболее часто используемыми альтернативами являются социальная норма временных предпочтений (SRTP) и социальная альтернативная стоимость капитала (SOC). SRTP – это скорость, с которой общество готово отложить единицу текущего потребления в обмен на большее потребление в будущем. При использовании этого подхода, не-

давние оценки SDR в Великобритании находились в диапазоне 3,5-3,75 %. Совет экономических консультантов США предлагает проверить на чувствительность предложения по социальной инфраструктуре с использованием альтернативных ставок дисконтирования, предлагая ставки 3 % и 7 %. При использовании чувствительности затрат и выгод MAR к изменениям ставки дисконтирования с использованием ставок 3 %, 5 % и 8 % и выгод схем MAR, исходя из срока жизни проекта 30 и 50 лет [9]. В то же время, если проанализировать экономический эффект от Flood-MAR с позиции рационального использования бюджетных финансов на ЧС по наводнениям, то по оценке Федерального Агентства FEMA США по ЧС – 1:10 – на каждый доллар, вложенный заранее до ЧС, экономится до 10 долларов на последствиях ЧС [6]. При расходах в 10 миллионов долларов на последствиях наводнений, внедрение технологий Flood-MAR может сэкономить 9 миллионов долларов, при начальной инвестиции заранее в 1 миллион долларов на Flood-MAR. Более того, эффективность использования для сельского хозяйства Ag-MAR демонстрирует, что существует потенциал для увеличения региональ-

ного пополнения запасов на 7-13 %, увеличения потребления сельскохозяйственных культур на 9-12 % и увеличения потребления естественной растительности – на 20-30 %. Ag-MAR имеет большой потенциал для повышения долгосрочной устойчивости водных ресурсов в сельскохозяйственных регионах [11].

4. Единая ГИС базы данных моделирования Министерств СХ Канады-США SWAT

Адаптировать Единую геоинформационную базу данных моделирования Министерства СХ Канады-США SWAT (<https://data.nal.usda.gov/dataset/swat-soil-and-water-assessment-tool>, <https://www.weg.uoguelph.ca/weg-model-development/>), мониторинга состояния почв и водных ресурсов, с моделированием качества и количества поверхностных и грунтовых вод, прогнозирования воздействия на окружающую среду землепользования, с методами управления земельными ресурсами и изменением климата. SWAT (Рис. 4) широко используется для оценки предотвращения и борьбы с эрозией почвы, контроля загрязнения из рассредоточенных источников и регионального управления в водоразделах [12].

SWAT в денежное выражение, аналогично FEMA HAZUS США по ЧС. Обе программы моделирования используются на геоинформационной платформе как plug-in вставки с системы обработки ГИС данных и имеют единые ГИС стандарты [13]. В дополнение к тому, что SWAT может быть использован в тандеме с FEMA HAZUS США по ЧС, SWAT способствует более эффективному планированию и использованию водных ресурсов с анализом почвы и расходов удобрений с качеством воды. SWAT позволяет фермерским хозяйствам оптимизировать расходы до 70 % с подготовкой моделей оптимального переустройства землепользования со всех посевов и пастбищных угодий по анализу чистой приведенной стоимости десяти-



Рис. 4. База данных моделирования программа Министерств СХ Канады-США SWAT мониторинга состояния почв и водных ресурсов с моделированием качества и количества поверхностных и грунтовых вод и прогнозирования воздействия на окружающую среду землепользования, с методами управления земельными ресурсами и изменения климата, источник [12].

Инструменты моделирования имитируют функционирование экосистем и их взаимодействие с деятельностью человека, помогая принимать решения и оценивать стратегии управления. Это приводит к принятию обоснованных решений, которые балансируют человеческое развитие и защиту окружающей среды. Среди этих моделей Инструмент оценки почвы и воды (SWAT) выделяется своей способностью моделировать множество биофизических процессов, которые могут быть связаны с предоставлением экосистемных услуг (ЭУ). SWAT успешно применяется для оценки ЭУ, дополнительно помогая переводить результаты

тилетних прибылей ферм и коэффициентов экономической эффективности снижения нагрузки США [14]. Если, к примеру, расходы фермера составляют около 10000 долларов, то при эффективном использовании технологий моделирования SWAT расходы можно оптимизировать до 70 %, а это 7000 долларов, и тогда у фермера будет меньшая сумма расходов – около 3000 долларов.

В Казахстане программы аграрного моделирования, аналогичные программам моделирования Министерства СХ США SWAT, плохо отработаны.

5. Бассейновые комитеты для адаптации в Центральной Азии

В Канаде-США применяется научное совместное управление трансграничными речными бассейнами, такими как: Саскачеванский речной бассейн, Глобальный Институт Водной Безопасности, Бассейновый комитет Канады-США Canada-US Red River Basin Commission (<https://www.redriverbasincommission.org/>). Создание аналогичных комитетов в Центральной Азии, в том числе Казахстана с Киргизией по совместному владению водными ресурсами, водохранилищами; обоюдной ответственностью содержания, финансирования, ведения безопасности, подготовке единой геоинформационной базы данных моделирования чрезвычайных ситуаций FEMA HAZUS по оценке риска землетрясений, наводнений, засух, а также накоплению вод Flood-MAR, позволит более эффективно сотрудничать по ЧС. Академии, совместно с Министерствами СХ, ЧС, ВРИ Казахстана, усилить работу бассейновых комитетов (Рис. 5, 6) с вовлечением ученых; создать пилотную программу научно-исследовательских программ по Чу-Таласкому Бассейновому Комитету, в составе двух областей Кыргызстана, Чуйской и Талаской, а также Жамбылской области Казахстана, в кооперации с бассейновыми комитетами и Институтами Водной Безопасности Канады-США (<https://water.usask.ca/>, <https://waterforfood.nebraska.edu/>). Ученым Академии наладить программы исследований, обучения, повышения

квалификации и прямого участия в конференциях, совместных проектах Канады-США с Казахстаном и Кыргызстаном.

Бассейновое управление через бассейновые комитеты позволяет более эффективно и открыто управлять водными ресурсами речных бассейнов самим жителям, фермерам, организациям, находящимся в бассейне рек. Риски ЧС снижаются, водопотребление на единицу выращенной продукции становится более прогнозируемым. Устраняется дорогостоящая бюрократическая система административного министерского управления, водные ресурсы управляются бассейновыми пользователями водных ресурсов. Финансовый доход увеличивается в несколько раз при одинаковом объеме используемой воды на единицу выращенной продукции путем согласованного использования программ прогноза, таких как FEMA HAZUS США, Flood-MAR, SWAT.

Потенциал для устойчивого развития заключается в сокращении расходов на дорогостоящие бюрократические системы администрирования и внедрение современных технологий с правом собственности на ресурсы жителей, пользователей водными ресурсами в пределах бассейна, преобразованием прав на воду с системой рыночных экологических программ водопользования с возможностями для естественного самовосстановления водных ресурсов.

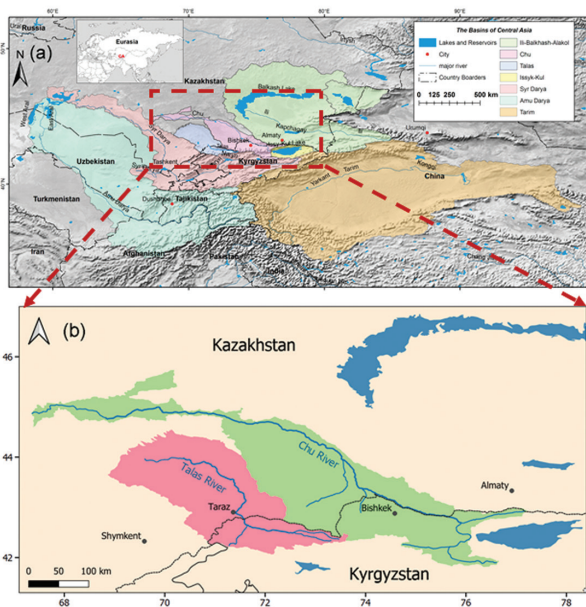


Рис. 5. (а) Бассейны Южной Центральной Азии.

(б) Бассейн рек Чу-Талас Киргизстан-Казахстан

Fig. 5. (a) Basins of South Central Asia. (b) Chu-Talas Basin, Kyrgyz-Kazakhstan

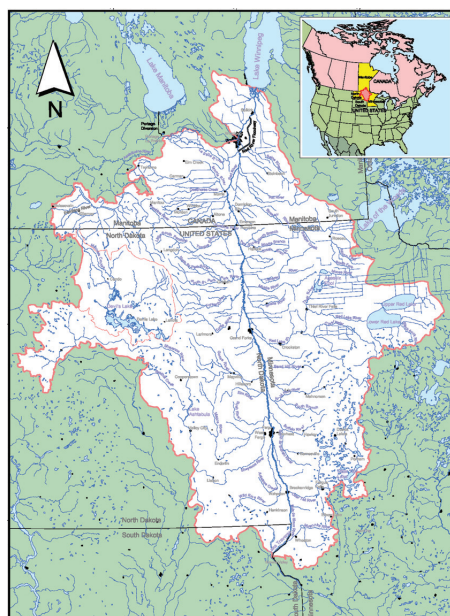


Рис. 6. Один из трансграничных бассейнов Канады-США [4]

Fig. 6. One of the Canada-US transboundary basins [4]

6. Снего-, водо-, лесозащитные полосы со сбором паводков Flood-MAR

Адаптировать программы Канады-США Министров СХ по научным программам повышения лесистости, обязать землепользователей к обеспечению посадок и содержанию леса вдоль всех водоемов на расстоянии от берега эквидистантной полосой, рав-

ной ширине водоема, мест накопления снего- водо- задержания (<https://forestthreats.org/news/in-the-news/us-forests-provide-83-million-people-with-half-their-water-threat-center-science-highlighted-by-american-geophysical-union>).

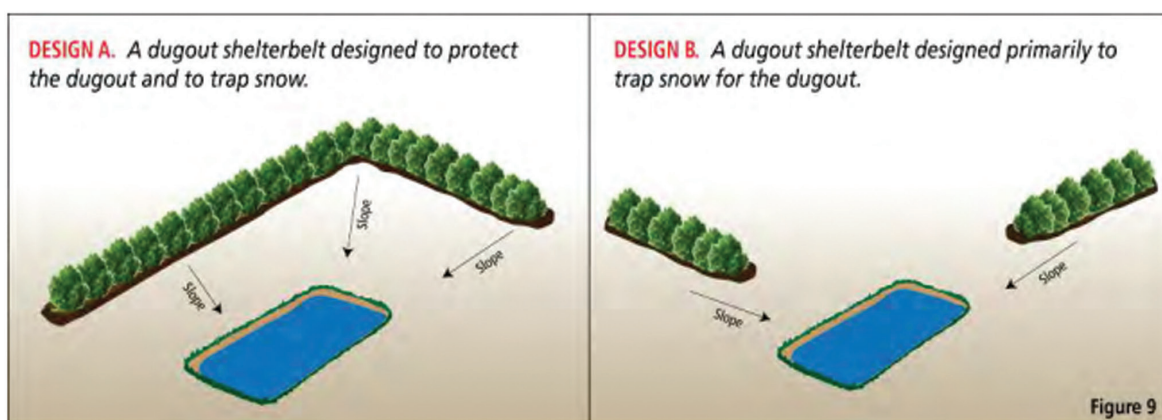


Рис. 7. Программы Канады-США Министров СХ по научным программам повышения лесистости, обязанности землепользователей к обеспечению посадок и содержанию леса вдоль водоемов, накоплению снего-паводков [15]

Fig. 7. The Canada-USA Ministries of Agriculture programs to increase forest cover by requiring the land users to ensure planting and maintenance of forests along reservoirs to increase the snow accumulation and flood mitigation activities [15]

Программы комбинированного использования лесонасаждений для снего- водоудержания с технологиями Flood-MAR интенсивно продвигаются в США-Канаде с дружелюбными инструкциями, программами повышения квалификации в колледжах с грантовой системой стимулирования населения фермеров. В среднем общая продуктивность системы комбинированного использования лесонасаждений для сельских полей увеличивается на 30 % по сравнению с обычным выращиванием сельскохозяйств. Финансовые выгоды варьируются в зависимости от типа внедренной Агролесомелиоративной системы [16]. Финансовые выгоды от Агролесоводства можно, в основном, оценивать четырьмя различными

критериями:

- а) критерий прямого вывода из компонента дерева/кустарника;
 - б) критерий косвенного усиления производительности, вызванного компонентами деревьев/кустарников;
 - в) критерий уменьшения количества внешних факторов при поддержке деревьев/кустарников [17].
- В дополнение – расширение экосистемных услуг, таких, как повышение устойчивости, увеличение биоразнообразия, уменьшение углерода и улучшение качества воды с более стабильной предсказуемой системой водообеспечения путем снего- водоудержания по технологиям Flood-MAR.

7. Тренды по развитию водородных хабов

В реализации водородно-водных программ эффективное производство водорода является одной из важнейших задач. Комплексный анализ патентов, связанных с производством водорода, проведен за 2018-2023 годы. Исследование с использованием индекса мировых патентов, данных Derwent World Patents Index (DWPI, Web of Science, Clarivate Analytics) [19], включает библиометрический анализ, оценку технологий и обновление технологий в области производства водорода. Проанализированы технологии, используемые для производства водорода и освещены последние технологические обновления в производстве водорода, которые включают новые источники получения водорода, разработку устройства, обновленный метод обработки и разработку катализаторов.

Водород считается зеленой или чистой системой, поскольку водород можно производить из возобновляемого сырья, такого как вода и биомасса. Китай, США, Япония лидируют по количеству публикаций о патентах на водород. Анализ кодов Международной патентной классификации (МПК) International Patent Classification (IPC) [20] показывает, что электролиз стал доминирующим методом производства водорода: за 10 лет было опубликовано в общей сложности 611 патентов. Следом за ним следует разложение неорганических соединений, таких как аммиак, с использованием различных методов, таких как термическое разложение и фотолиз, с 464 патентами, выданными за тот же период.

Краткое описание способов получения водорода, их преимущества и недостатки

Метод	Преимущества	Недостатки
Паровая конверсия метана Steam methane reforming (SMR) [4, 5]	– На данный момент это самый дешевый и устойчивый способ производства водорода в промышленных масштабах. – Процесс очень энергоэффективен: на каждый килограмм произведенного водорода расходуется относительно мало энергии.	– В качестве основного сырья используют ископаемое топливо, особенно природный газ. – Этот процесс также приводит к значительным выбросам углекислого газа в качестве побочного продукта, что способствует изменению климата.
Частичное окисление Partial oxidation [6, 7, 8]	– Обеспечивает более высокий выход водорода по сравнению с SMR. – Гибкость в выборе сырья, поскольку в качестве сырья можно использовать различные углеводороды, включая природный газ, пропан и жидкое топливо. – Может быть интегрирован с технологиями улавливания углерода для смягчения воздействия на окружающую среду.	– Производит оксид углерода и диоксид углерода в качестве побочного продукта, что способствует выбросам парниковых газов, если не используются технологии улавливания и хранения углерода (CCS). – Потребляет значительное количество энергии, поскольку процесс требует высоких температур.
Автотермический риформинг Auto-thermal reforming [7, 10]	– Более высокий выход водорода по сравнению с частичным окислением, что делает его более эффективным при производстве водорода. – Производимый синтез-газ можно отрегулировать так, чтобы он имел желаемое соотношение водорода и монооксида углерода, что делает его пригодным для различных последующих процессов, включая синтез метанола.	– Вырабатывает углекислый газ в качестве побочного продукта, что способствует выбросам парниковых газов. – Требуются значительные затраты энергии для достижения и поддержания высоких температур, что влияет на общую энергоэффективность.
Разложение аммиака Ammonia decomposition [11, 12, 13]	– Потенциальный метод получения водорода без выбросов углекислого газа, что делает его экологически чистым методом. – Аммиак содержит высокое содержание водорода, что делает его потенциальным носителем для хранения и транспортировки водорода.	– Требуют высоких температур и могут быть энергоемкими, что может повлиять на общую эффективность. – Зависимость от катализатора, что делает этот метод реакции сложным и дорогостоящим.
Электролиз Electrolysis [4, 14, 15, 16]	– Экологичный метод производства водорода, поскольку он может работать от возобновляемых источников, таких как солнечная или ветровая энергия. – В процессе не образуются вредные побочные продукты, что делает его очень экологически чистым.	– Для работы требуется значительное количество энергии, что делает его менее эффективным, чем SMR. – Оборудование, необходимое для этого процесса, может быть дорогим, что может привести к увеличению стоимости производства водорода.
Газификация биомассы Biomass gasification [4, 13, 20]	– Газификация биомассы является возобновляемым и устойчивым источником производства водорода с использованием органических отходов, таких как древесина, сельскохозяйственные или пищевые отходы. – Этот процесс также производит другие ценные побочные продукты, такие как биоуголь, который можно использовать в качестве удобрения для почвы.	– Газификация биомассы не так эффективна, как SMR или электролиз, а выход водорода ниже, чем в этих процессах. – Этот процесс может оказаться более сложным в управлении и эксплуатации, поскольку требует тщательного контроля температуры и давления.
Фотобиологическое и фотоэлектрохимическое расщепление воды. Photobiological and photoelectrochemical water splitting [19, 21, 22]	– Оба метода являются экологически чистыми методами производства водорода, поскольку в них можно использовать солнечную энергию в качестве основного источника энергии. – Эти процессы не производят никаких вредных побочных продуктов, что делает их очень экологически чистыми.	– Оба метода все еще находятся на экспериментальной стадии и еще не получили эффективного масштабирования для промышленного производства. – Процесс требует дорогостоящего оборудования, что может увеличить стоимость производства водорода.

Метод	Преимущества	Недостатки
Плазменный риформинг Plasma reforming [23, 24, 25]	– Потенциал производства зеленого водорода при использовании возобновляемого сырья. – Можно использовать универсальное сырье, включая природный газ, биогаз, биомассу и отходы. – Эффективно преобразовывать углеводороды в водород без выбросов углекислого газа.	– Энергоемкость, поскольку процесс требует значительного количества электроэнергии для генерации и поддержания плазменной дуги, что может повлиять на ее стоимость. – Требует сложных инженерных и эксплуатационных требований из-за экстремальных температур и контроля плазмы. – Все еще находится на ранней стадии разработки и требует дальнейших исследований оптимизации.

Оценка тенденций патентной активности по странам дает представление о потенциальном рынке водорода по странам. Учитывая потенциал водорода, значительные усилия в области исследований и разработок направляются на производство и применение водорода внутри стран. Многие страны активно инвестируют в эту область исследований. Ниже представлена тенденция патентной активности по странам. Лидируют Китай, США, Япония по количеству выданных патентов на технологию производства водорода, продемонстрировав существенный рост патентной активности, начиная с 2018 года до 2023 года. Европа, Австралия, Южная Корея также активно участвуют в патентной деятельности, связанной с

технологией производства водорода. Страны стали ведущими в области водородных технологий благодаря таким факторам, как сильная государственная поддержка, стратегическое планирование, рыночный потенциал, технологический прогресс и совместные инновации [26]. Четко определенная национальная водородная стратегия страны с четкими целями способствовала скоординированным усилиям и комплексному планированию в водородном секторе. Чтобы поддержать развитие водородных технологий, правительства стран ввели политику развития водородных программ, осуществляя интенсивное финансирование научных исследований (Рис. 8).

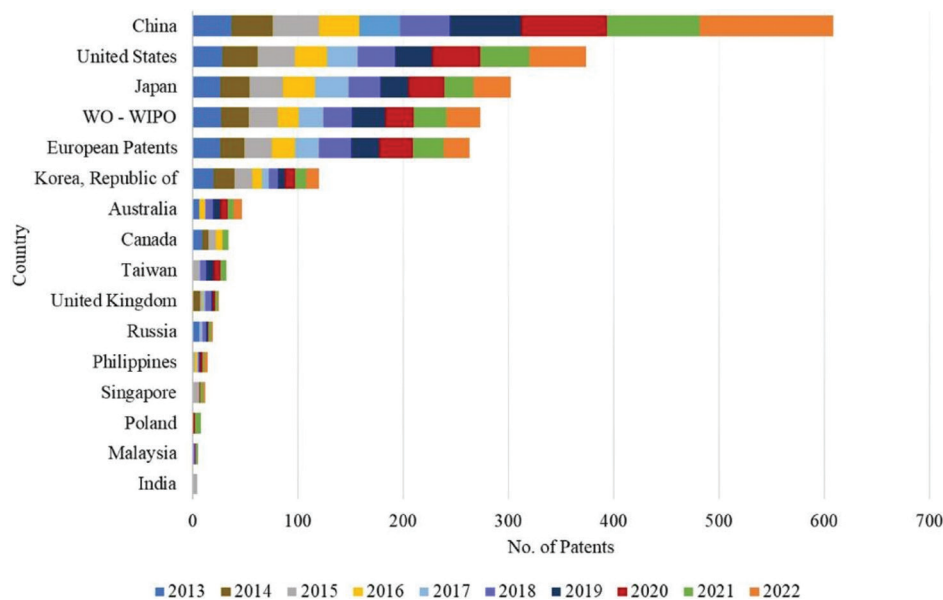


Рис. 8. Динамика патентных публикаций по странам мира [26]

Fig. 8. Dynamics of patent publications by countries [26]

Патентный анализ с использованием кодов Международной патентной классификации (МПК) International Patent Classification (IPC) [20], как показано на рис. 9, представляет преобладающие технологические тенденции в производстве водорода. Электролиз воды является доминирующим методом:

за последнее пятилетие было опубликовано 611 патентов. Вторая по величине патентная классификация посвящена разложению неорганических соединений, особенно аммиака: за тот же период было выдано 464 патента.

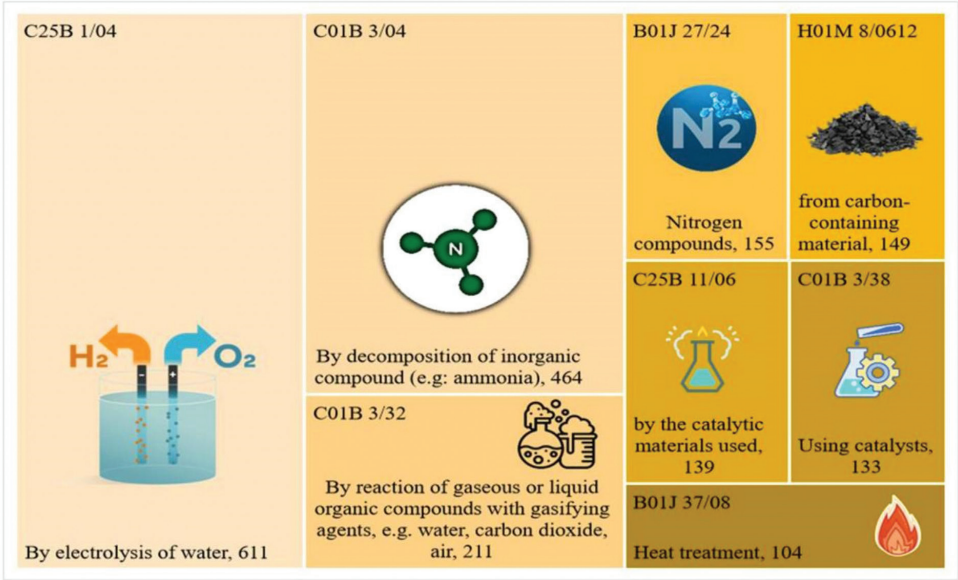


Рис. 9. Категории патентов на производство водорода МПК (IPC) [20]. Электролиз воды, производство водорода из воды, является доминирующим методом с 611 патентами [20]

Fig. 9. Hydrogen Production Patent Categories (IPC) [20]. Water electrolysis, the production of hydrogen from water, is the dominant method with 611 patents [20]

США и Канада также интенсивно финансируют научные работы ученых исследователей в кооперации с Индустрией по созданию Водородных хабов (Рис. 10), тем самым способствуя увеличению публикации и количеству патентов по водороду для развития сво-

его внутреннего рынка использования водорода. Это в свою очередь способствует использованию новых технологий и технических решений аграрными корпорациями, ирригационными и транспортными машинами для работ по производству продовольствия.

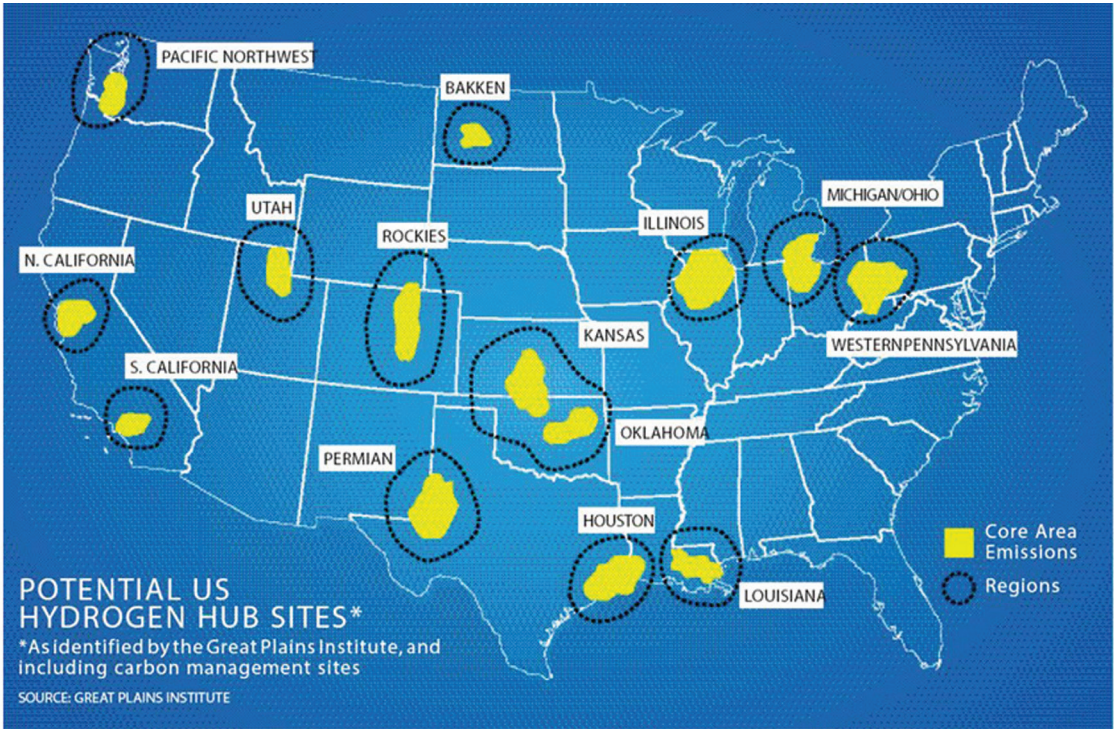


Рис. 10. Развиваемые водородные хабы на территории США [27]

Fig. 10. Developing hydrogen hubs in the United States [27]

8. Водород Китая

Китай является крупнейшим в мире производителем водорода, производя 33 миллиона тонн водорода в год, что составляет треть от общего мирового производства. Производство осуществляется в основном на нефтяных или угольных установках нефтеперерабатывающих или химических заводов, производство которого из угля остается дешевле, чем электролиз природного газа или воды, по цене около 0,7-1,2 юаня (0,1-0,19 доллара США) за куб. метр. Благодаря благоприятной политике правительства, в Китае наблюдается быстрый рост производства водорода: с 25 миллионов тонн в 2020 году до 33 миллионов тонн в 2021 году. Производство водорода планируется довести до 120 миллионов тонн к 2060 году. Хотя производство водорода в Китае набирает обороты, в развитии водородной отрасли все еще далеко не гладко. Многие

проблемы требуют решения по всей производственной цепочке. Общая стоимость производства водорода на основе возобновляемых источников относительно высока. Центральные и местные органы власти разработали ряд стратегий и планов по созданию благоприятной бизнес-среды и расширению масштабов отрасли. Отсутствие технологических ноу-хау в процессе производства, хранения и транспортировки водорода приводит к низкой эффективности и более высокой стоимости. Недостаточное развитие автомобильной промышленности. Хотя правительство более активно продвигает электромобили, водородными транспортными средствами, как правило, являются автобусы и тяжелые грузовики: на дорогах Китая всего 7000 автомобилей [45].



Рис. 11. Рост производства водорода в Китае [45]

Fig. 11. Growth of hydrogen production in China [45]

Китайский водородный альянс прогнозирует, что производство водорода на основе возобновляемых источников энергии может достичь 100 миллионов тонн к 2060 году, что составляет 20 процентов конечного потребления энергии в Китае. Как отмечается в последнем плане, китайское правительство уделяет все большее внимание технологическим исследованиям и инновациям, связанным с водородом. Акцент отражает стремление страны преодолеть нынешнюю нехватку знаний, опыта и инфраструктуры в производстве низко углеродных форм водорода. Например, текущая конкурентоспособность Китая связана с технологией щелочного электролиза, которая хорошо зарекомендовала себя и дешева, но гораздо менее совместима с прерывистыми возобновляемыми источниками энергии, чем электролизеры с полимерно-электролитными мембранами (ПЭМ). Электролизеры ПЭМ занимают менее 10 % китайского рынка, на котором доминируют щелочные электролизеры. Водородная энергетика также является частью планов Китая в отношении ряда других отраслей, таких, как

транспортные средства на новой энергии. Например, план развития отрасли транспортных средств на новой энергии предусматривает увеличение мощности водородных заправочных станций (HRS) с 72 единиц в середине 2020 года до 2000 единиц к 2035 году, демонстрируя тесную взаимосвязь развития водородной энергетики. Инвестиции в «зеленую» энергетику в Китае открывают значительные, но зачастую труднодоступные возможности. С одной стороны, Китай имеет амбициозные планы по декарбонизации и превращению в мирового лидера в области зеленых технологий, что приведет к многочисленным инвестициям и стимулам для развития смежных отраслей. С другой стороны, в энергетическом секторе традиционно доминируют государственные предприятия, многие отечественные компании получают субсидии, которые подрывают иностранную конкуренцию, а цели правительства в области энергетической безопасности рискуют усилить скептицизм в отношении зависимости от иностранных поставщиков.

9. Водород России

Несколько десятилетий назад Россия начала активно изучать возможность формирования базовой технологии производства водорода, также анализируются возможные объемы экспорта водородного топлива. По планам Минэнерго РФ, к 2035 году на долю России должно приходиться около 15-16 % мирового рынка водорода. Стоит отметить, что на уровень экономического развития и уровень благосостояния граждан России значительное влияние оказывает экспорт углеводородов, поэтому диверсификация производственных мощностей за счет формирования нового направления – производства водорода, является логичной и целесообразной. Однако существующие бизнес-модели являются препятствием для развития водородной энергетики в стране. Российские энергетические корпорации еще не готовы к энергетическому переходу. В будущем это может негативно отразиться на их экспорте и прибылях. Как показал

пилотный проект использования водорода на общественном транспорте в Санкт-Петербурге в конце 2019 года, крупные российские города могут стать успешным примером применения этих технологий, в связи с чем в будущем они могут положительно повлиять на имидж России и позволят восстановить и укрепить сотрудничество со странами ЕС. Потенциал этого сотрудничества отмечен в Энергетической стратегии России до 2035 года, которая была опубликована в один день со Стратегией развития водородной энергетики в Германии. В Энергетической стратегии России большие надежды возлагаются на водород, и отмечается, что он имеет значительный экспортный потенциал и является продуктом с высокой добавленной стоимостью. Ярким примером производства водорода в РФ является компания ПАО «Татнефть», запустившая в этом году проект нефтеперерабатывающего комплекса «ТАНЕКО» в Нижнекамске.

10. Водород США

Министерство энергетики Соединенных Штатов Америки опубликовало План развития гидроэнергетики в стране, согласно которому особое внимание уделяется развитию водородных технологий, увеличению объемов его производства, транспортировки, хранения, а также увеличение доли его использования в различных сферах. Одной из ключевых задач Плана является использование низко углеродных источников энергии для производства водорода. К низко углеродным источникам энергии относятся возобновляемые источники энергии (ВИЭ), атомная энергетика, а также ископаемое топливо – углекислый газ, который планируется улавливать, использовать и хранить (Carbon Capture, Usage and Storage: CCCS). В рамках инициативы «H2@Scale», запущенной Министерством энергетики США в начале 2020 года, проводится исследование возможности разработки ядерно-энергетических систем, производящих одновременно водород и низко углеродную электроэнергию. Среди десятков проектов, финансируемых в рамках этой инициативы, один будет реализован тремя коммерче-

скими электроэнергетическими компаниями в США в сотрудничестве с Национальной лабораторией Айдахо Министерства энергетики. Проект будет включать в себя технические и экономические оценки, а также экспериментальную демонстрацию производства водорода на нескольких атомных электростанциях в США. Одна из электроэнергетических компаний, участвующих в проекте, Exelon, являющаяся крупнейшим производителем низко углеродной электроэнергии в США, в настоящее время предпринимает шаги по установке электролизера с полимерной электролитической мембраной мощностью в один мегаватт и соответствующей мощностью инфраструктуры на одной из своих атомных электростанций. С помощью этой системы, которая может быть введена в эксплуатацию к концу 2023 года, можно будет наглядно увидеть экономическую целесообразность производства водорода методом электролиза для удовлетворения потребностей систем, связанных с производством электроэнергии на месте, а также возможность масштабирования в будущем.

11. Водород Саудовской Аравии

Саудовская Аравия осознала необходимость диверсифицировать свою энергетическую структуру и снизить зависимость от нефти и газа. Королевство реализует несколько инициатив, направленных на повышение энергоэффективности, увеличение использования возобновляемых источников энергии и изучение новых источников энергии, таких как водород. Страна поставила амбициозные цели по внедрению возобновляемых источников энергии и планирует увеличить долю возобновляемых источников энер-

гии в своем энергетическом балансе до 50 % к 2030 году. В 2019 году министр энергетики принц Абдель Азиз бен Салман объявил о запуске Национальной водородной стратегии, цель которой – сделать страну крупным игроком на мировом рынке водорода. Стратегия направлена на производство голубого водорода из природного газа с использованием технологии улавливания и хранения углерода (Carbon Capture, Usage and Storage: CCCS), а также зеленого водорода из возобновляемых источников энергии [46, 47].

План направлен на производство 1,2 миллиона тонн зеленого водорода и удовлетворение 10 % мировой потребности в водороде к 2030 году. Кроме того, Государственный инвестиционный фонд Саудовской Аравии (SAPIF) инвестирует в несколько энергетических проектов по всему миру, включая совместное предприятие Power и Air Products, которое построит завод по производству экологически чистого водорода и аммиака стоимостью в 5 миллиардов долларов в Неоме, Саудовская Аравия [48]. Завод будет иметь мощность 1,2 ГВт и производить 650 тонн зеленого водорода в сутки. Энергетическая политика страны призывает к переходу к более диверсифицированному и устойчивому энергетическому балансу с упором на расширение использования возобновляемых источников энергии и разработку новых источников энергии, таких как водород. Национальная водородная стратегия и инвестиции страны в глобальные водородные проекты потребовали приверженности тому, чтобы стать крупным игроком на водородном рынке и внести свой вклад в глобальный переход к низко углеродной экономике. Саудовская Аравия имеет потенциал стать крупным игроком на мировом рынке зеленого водорода, и долгосрочная карта производства зеленого водорода может помочь стране реализовать этот потенциал.

Фаза 2023-2025 гг.: В этот период основное внимание должно быть уделено созданию необходимой инфраструктуры для производства экологически чистого водорода. Это включает в себя развитие возобновляемых источников энергии, таких как энергия ветра и солнца, а также создание предприятий по производству водорода. Правительству следует стимулировать частные инвестиции в проекты возобновляемой энергетики и установить партнерские отношения с международными компаниями, имеющими опыт в производстве экологически чистого водорода.

Фаза 2025-2030 гг.: на этом этапе целью должно стать увеличение производства зеленого водорода и

сделать его более экономически конкурентоспособным по сравнению с традиционным производством водорода. Правительство должно продолжать инвестировать в возобновляемые источники энергии и поощрять частный сектор делать то же самое. Создание внутреннего рынка экологически чистого водорода должно стать приоритетом с целью снижения зависимости от традиционного ископаемого топлива.

Фаза 2030-2035 гг.: к этому моменту производство зеленого водорода должно быть хорошо налажено в стране. Фокус должен сместиться на увеличение экспорта зеленого водорода из стран, особенно в Азию и Европу. Правительству следует установить партнерские отношения со странами, которые стремятся перейти на возобновляемые источники энергии, особенно со странами с высоким спросом на водород.

Фаза 2035-2040 гг.: Заключительный этап долгосрочной карты должен быть сосредоточен на максимизации потенциала производства зеленого водорода в стране. Это включает в себя расширение производства зеленого водорода, увеличение экспорта и разработку новых применений зеленого водорода, например, на транспорте и в промышленности. Правительству также следует инвестировать в исследования и разработки, чтобы еще больше снизить стоимость производства зеленого водорода и повысить его эффективность. Долгосрочная карта производства зеленого водорода в стране должна быть сосредоточена на создании необходимой инфраструктуры, увеличении производства и конкурентоспособности, расширении экспорта и разработке новых приложений. Это потребует значительных инвестиций времени, ресурсов и опыта, но потенциальные выгоды, как экономические, так и экологические, значительны. При правильной стратегии и поддержке Саудовская Аравия может стать лидером в производстве экологически чистого водорода и ключевым игроком в переходе к более устойчивому энергетическому будущему.

12. Водород Канады

Водородная стратегия Канады призвана стимулировать инвестиции и партнерство, чтобы сделать Канаду глобальным поставщиком водорода и увеличить его внутреннее производство. Это изменит канадский энергетический сектор, заявили в NRCan, Федеральном департаменте природных ресурсов. Канада в настоящее время входит в десятку крупнейших производителей водорода в мире, производя около 3 миллионов тонн водорода в год, и страна выигрывает от растущего глобального спроса на водород на рынке, который, как ожидается, достигнет почти 12 триллионов канадских долларов к 2050 году, согласно данным в NRCan. Стратегия также будет дополнена Стандартом чистого топлива, который будет стимулировать инвестиции и рост топливного

сектора Канады путем стимулирования разработки и внедрения экологически чистых видов топлива, таких как водород. Поскольку Канада в настоящее время является четвертым по величине поставщиком природного газа в мире, ожидается, что голубой водород будет играть важную роль в канадской водородной экономике. В частности, упоминается газовая стратегия провинции Альберта (Alberta's Natural Gas Vision and Strategy), которая предусматривает крупномасштабное производство водорода из природного газа в сочетании с технологией улавливания и хранения углерода (CCCS). «Система снабжения водородом в Канаде может включать как крупные централизованные предприятия в богатых природным газом провинциях или в регионах с высоким уровнем

распространения недорогих возобновляемых источников энергии, так и мелкомасштабное распределенное электролитическое производство вблизи центров спроса», – говорится в документе. «Предполагается, что цены на водород, включая транспортировку, достигнут 1,50-3,50 канадских долларов/кг по мере масштабного производства и инвестиций в инфраструктуру». Внедрение водорода будет в первую очередь сосредоточено на энергоемких областях, где он обеспечивает преимущества перед альтернативными низкоуглеродными вариантами. Речь идет о перевозках на дальние расстояния, обеспечении теплом промышленности и зданий, промышленных процессах, а также о производстве электроэнергии. Канада планирует экспортировать водород, но стратегия не устанавливает конкретных целей. В документе определены пять целевых рынков: США, ЕС, Китай, Южная Корея и Япония. Также отмечается, что Канадские технологии топливных элементов используются в 80 % соответствующих водородных проектах по всему миру. Промышленность и правительства провинций будут играть ключевую роль в определении того, какие пути производства водорода будут реализованы в какие сроки в Канаде, при этом правительство будет играть роль в разработке политики, например, устанавливая пределы углеродной ёмкости CI (Carbon Intensity), а промышленность будет определять наиболее экономичные пути, которые соответствуют пределу. В целом, ожидается, что будет развиваться сбалансированный региональный подход к развитию поставок водорода в Канаду за счет сочетания источников ископаемого топлива и чистой электроэнергии. Такая диверсификация источников топлива наилучшим образом позволит увеличить объемы производства для поддержки развития внутреннего и экспортного рынков. На стоимость производства водорода различными способами влияют технические и экономические факторы, включая стоимость сырья (природного газа, электроэнергии), капитальные затраты и текущие эксплуатационные расходы. По данным МЭА,

топливо и сырье являются крупнейшим компонентом производственных затрат и составляют от 45 % до 75 % в зависимости от того, где в мире производится водород. Согласно отчету Азиатско-Тихоокеанского исследовательского центра за 2018 год, в Канаде наблюдается одна из самых низких в мире себестоимость производства как SMR+CCUS, так и гидроэлектролиза. Это ценовое преимущество дает Канаде возможность практически немедленно начать производство дешевого водорода с низким содержанием хлора. В настоящее время масштабное производство водорода с низким выходом углерода CI в Канаде обходится дешевле при использовании ископаемого топлива по сравнению с методами электролиза. Хотя в Канаде цены на электроэнергию конкурентоспособны по сравнению с международными рынками, для производства водорода по целевым ценам затраты должны находиться в диапазоне 40/МВтч. Промышленные тарифы с высокими пиковыми нагрузками и структуры тарифов, не учитывающие преимущества декарбонизации, могут стать барьером на пути электролиза. Углеродная ёмкость CI производства водорода – это метод сравнения выбросов парниковых газов водорода на протяжении всего жизненного цикла при его перемещении от первичного источника энергии/сырья к поставляемому энергетическому товару. Конечное использование также иногда может учитываться при анализе жизненного цикла, но для простоты здесь оно отделено от выбросов на пути производства. В случае водорода, полученного из природного газа посредством SMR + CCUS, сюда входят выбросы в процессе добычи, необходимые для восстановления газа, а также выбросы, образующиеся в процессе SMR или ATR (за вычетом любых CCUS). Выбросы при добыче в Канаде различаются по регионам, и на национальном и провинциальном уровне предпринимаются усилия по снижению выбросов за счет таких мер, как сокращение неорганизованных выбросов метана и электрификация оборудования, добывающего по течению.

Заключение: рекомендации по усилению роли ученых Казахстана

В Казахстане важно усилить роль ученых, участие ученых Национальной Академии наук Республики Казахстан при Президенте Республики Казахстан в программах и проектах, включая:

- По аналогии действующих в США-Канаде программ создания Водородных хабов (<https://nebraskaexaminer.com/2023/04/06/nebraska-two-partner-states-bid-to-be-hydrogen-hub-that-could-bring-1-billion-in-federal-funds/>) подготовить потенциальные регионы, карты территорий по созданию Водородных хабов для внутреннего пользования Казахстана в кооперации с учеными-исследователями и Индустрией США.
- Усилить кооперацию с ведущими учеными

Японии, Китая, США по водородным технологиям для развития внутреннего водородно-водного рынка в Казахстане.

- Создать условия ученым Казахстана развивать альтернативные регионы для производства водорода с научными исследованиями, в том числе изучения возможностей производства водорода на Севере Казахстана в кооперации с Россией и Китаем, используя водные ресурсы России в производстве водорода для внутреннего пользования водорода в Казахстане. Из Казахстана в Россию в Северный Ледовитый океан ежегодно уходит 16,5 км³ воды, эту воду оптимально использовать для производства водорода и использования его на юге Казахстана. (Рис. 13, 14).

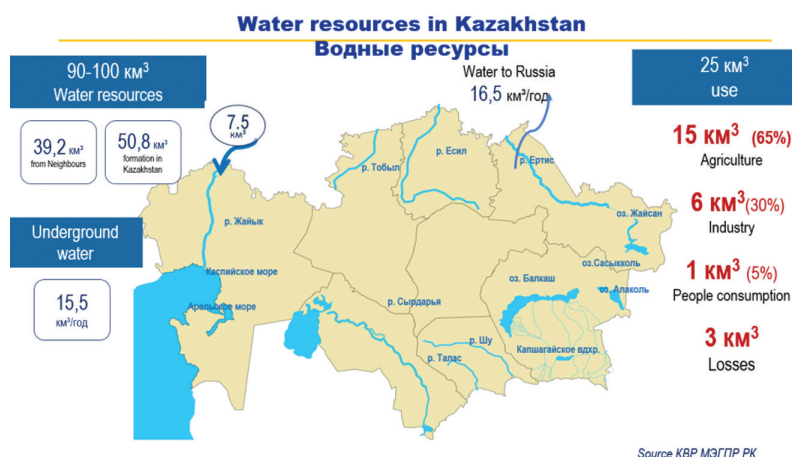
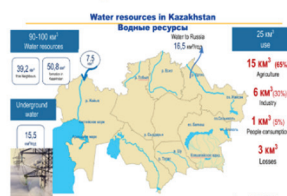


Рис. 12. Компилированная схема по продвижению водородно-водных технологий по данным Министерств водных ресурсов Республики Казахстан

Производство Водорода на Севере Казахстана с Россией



Японская компания <https://www.iwatani.com/>



Доставка фермерам и использование ирригационными машинами с Аммиачным удобрением на юге Казахстана



Fig. 12. A compiled scheme for the promotion of hydrogen-water technologies, according to the Ministry of Water Resources of the Republic of Kazakhstan

Российско-Китайско-Казахстанская кооперация по водороду и аммиачным удобрениям на Севере Казахстана



Китай является крупнейшим в мире производителем водорода:
33 млн тонн в 2021 году
120 млн тонн в 2060 году

Нефтегазовые и угольные установки Китая
0,7 юань (0,1 \$ США) за 1 м³ водорода

Природный газ Казахстан
22,06 тенге (0,05 \$ США) за 1 м³ газа

Водород – Аммиачные удобрения

Рис. 13. Российско-Китайско-Казахстанская кооперация по Водороду и Аммиачным удобрениям на Севере Казахстана

Fig. 13. Russian Chinese-Kazakhstan cooperation on Hydrogen and Ammonia fertilizers in the North of Kazakhstan

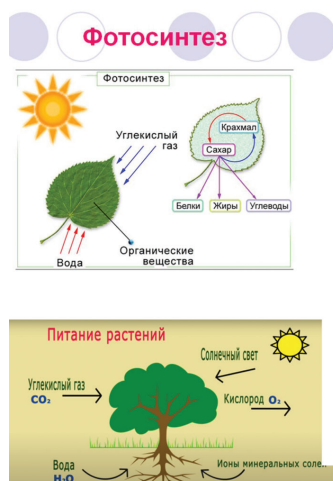
Сложность реализации Казахстанского проекта HYRASIA ONE связана с проблемами доступности водных ресурсов и стоимости электроэнергии в Западном Казахстане, Мангистауской области. Будет разумно разработать альтернативные проекты с разумными затратами и без ущерба для природы. Альтернативный проект, связанный с созданием мощностей по производству водорода в Северном Казахстане, которые будут использовать часть воды от 16,5 куб. км воды, ежегодно утекающей в Северный Ледовитый океан из Казахстана через Россию. Кроме того, в Се-

верном Казахстане имеются мощности по производству дешевой электроэнергии, дешевый уголь и природный газ из России, также водные ресурсы России, в том числе из Северного Ледовитого океана. В 2024 г. человечество перейдет критический уровень повышения температуры, что приведет к катастрофическому повышению уровня океанов, прибрежные зоны океанов, острова будут уходить под воду (<https://www.washingtonpost.com/climate-environment/2023/12/08/climate-change-threshold-cop28-dubai/>). Опреснение и промышленное использование воды из бессточных

озер, таких как Каспий и Арал, на континентах оптимально законодательно запретить. Более рационально стимулировать развитие технологий по использованию вод из сточных рек, впадающих в океаны.

Северный Казахстан располагает мощностями по производству электроэнергии, включая воду и электричество с разумными расходами. Технологии России и Китая по производству водорода и аммиака, включая из угля (**Gray Hydrogen**), природного газа (**Blue Hydrogen**) и воды (**Green Hydrogen**) будут оптимально адаптированы на Севере Казахстана. В этом случае ресурсы электроэнергии и ресурсов (воды, природного газа и воды) будут с разумными расходами, технологии производства более взаимосвязаны и эффективны в цепочке производства водорода и аммиака. Аммиак широко используется для производства сельскохозяйственных удобрений и в настоящее время является лучшим решением для отрасли удобрений. В Казахстане единственный производитель аммиака Казазот в Актау (<https://www.kazazot.kz/>), с объемом около 300000 тонн аммиака в год, это примерно 10 % производительности Тольяттиазот.

Аммиачные удобрения оптимально использовать в комбинации с фосфорными удобрениями, которым занимается компания Казфосфатом (<https://www.kpp.kz/>), добывающая фосфориты в Каратау. Водородные и аммиачные удобрения целесообразно будет поставлять из Северо-Казахстанской области в Южный, Западный и Центральный Казахстан, в Приаралье, в соседние страны, регионы Центральной Азии для усиления более устойчивого развития сельского хозяйства. Для процессов фотосинтеза растений важно устойчивое поступление элементов для усиления элементного состава биомассы. Средний элементный состав по макроэлементам углероду (C), азоту (N) и фосфору (P) предлагался Редфилдом, а соотношение 106C:16N:1P, называемое «Коэффициент Редфилда». Предлагаемая кооперация России, Китая и Казахстана позволит более эффективно развивать производство Водорода и Аммиачных удобрений на Севере Казахстана, с учетом интересов местных жителей, флоры и фауны, с более разумным отношением к природным ресурсам (Рис. 14).



Для процессов фотосинтеза растений важно устойчивое поступление элементов, усиление элементного состава биомассы. Средний элементный состав по макроэлементам: углероду (C), азоту (N) и фосфору (P) предлагался Редфилдом, соотношение **106C : 16N : 1P**, называемое «Коэффициент Редфилда».

Рис. 14. Процесс фотосинтеза растений по устойчивому поступлению элементов, усилению элементного состава биомассы, 106C:16N:1P, «Коэффициент Редфилда»

Fig. 14. The process of plant photosynthesis by the steady supply of elements, strengthening the elemental composition of biomass, 106C:16N:1P, «Redfield coefficient»

Водородно-аммиачно-фосфатные удобрения важны для восстановления почвы, биомассы растительности Казахстана. Здоровье земли, натуральный баланс почвы Казахстана был нарушен агрессивной политикой освоения целинных земель Казахстана со времен Хрущева, когда туда были направлены тысячи эшелонов машин и тракторов, мощных почвообрабатывающих, посевных и уборочных агрегатов, создавались сотни совхозов и машинно-тракторных станций, возникло много новых поселков. В первые годы освоения целинных земель страна действительно получала большие урожаи, так называемые «миллиарды пудов хлеба», с середины 1950-х годов – от половины до трети всего производимого в СССР хлеба. Вскоре массовая распашка целинных земель с оборотом пласта в условиях равнинного рельефа и сильных ветров, привела к появлению так называемых «черных» или

«пыльных» бурь, в результате нарушения экологического равновесия и эрозии почв в 1962-1963 годах. Тонкий верхний слой плодородной почвы Казахстана был уничтожен, земля стала малопродуктивна. Почва быстро теряет свое плодородие, становится непригодной к дальнейшему использованию, произошла деградация земель на значительных площадях Казахстана [49]. Процесс деградации земель происходит повсеместно во многих регионах под влиянием природных явлений и антропогенных факторов, сопровождаемых потерей растительного покрова и продуктивности, смывом и выдуванием плодородного слоя с изменением физико-механических свойств почв [50]. Всё это негативно отразилось на урожайности сельскохозяйственных культур, на окружающей среде, на экосистеме в целом и продолжается по текущее время в Казахстане (Рис. 16-22).



Рис. 15. Нарушение почвы и пути восстановления здоровья почвы усилением лесных насаждений [49, 50]

Fig. 15. Soil disturbance and ways to restore soil health by strengthening forest plantations [49, 50]

Рис. 16. Восстановление речных водосборов путем усиления лесонасаждений [Горохов Юрий Иванович, yi-gorohov@yandex.ru Биосферные Проекты и Конференции – Yandex Disk]

Fig. 16. Restoration of river catchments by strengthening afforestation [Yuri Ivanovich Gorokhov, yi-gorohov@yandex.ru Биосферные Проекты и Конференции – Yandex Disk]



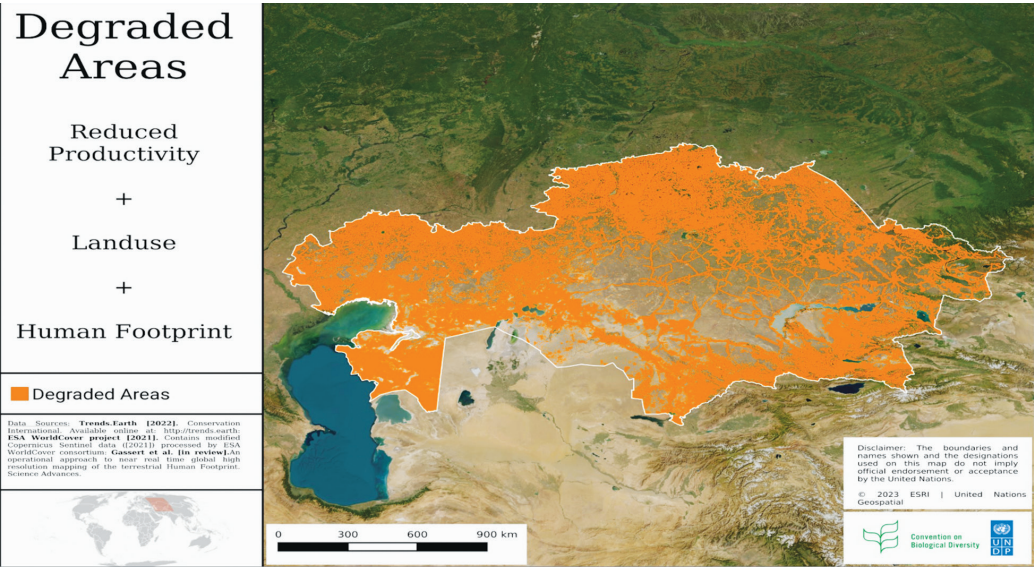


Рис. 17. Дegradация земель Казахстана [UNDP]
Fig. 17. Land degradation in Kazakhstan [UNDP]

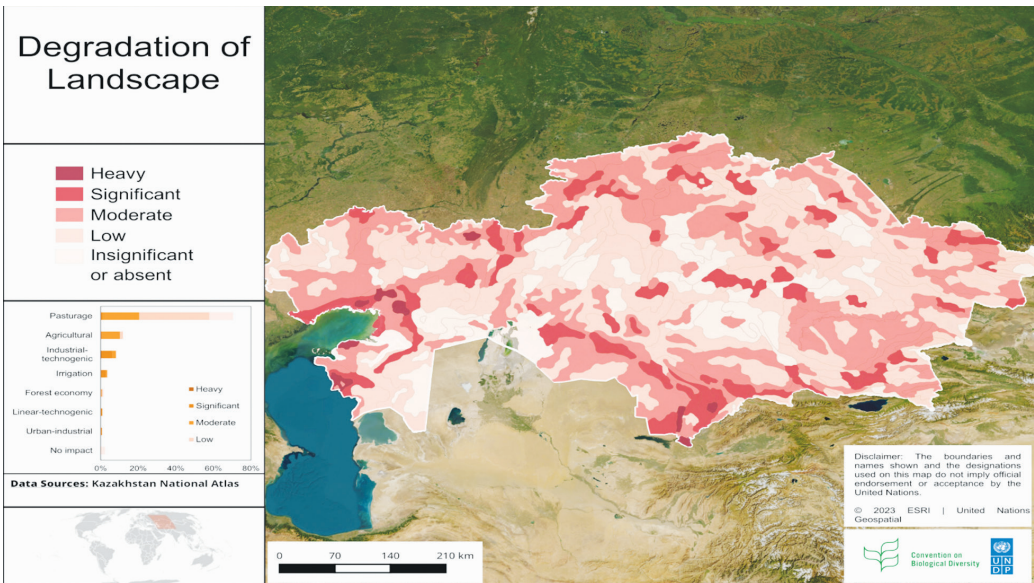


Рис. 18. Дegradация земельного покрова, почв Казахстана [UNDP]
Fig. 18. UNDP Degradation of land cover, soils in Kazakhstan [UNDP]

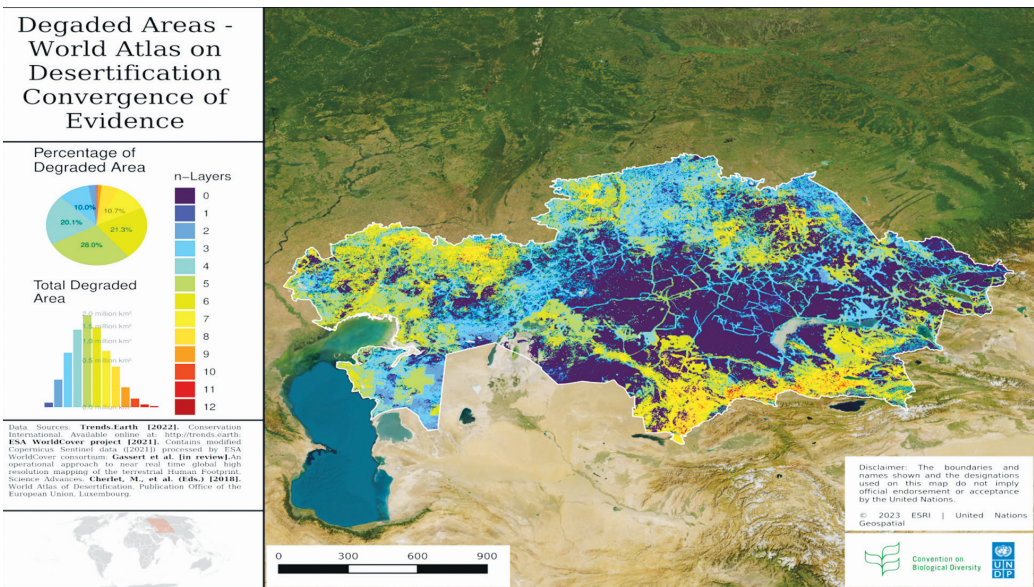


Рис. 19. Опустынивание деградированных земель, почв Казахстана [UNDP]
Fig. 19. Desertification of degraded lands, soils of Kazakhstan [UNDP]

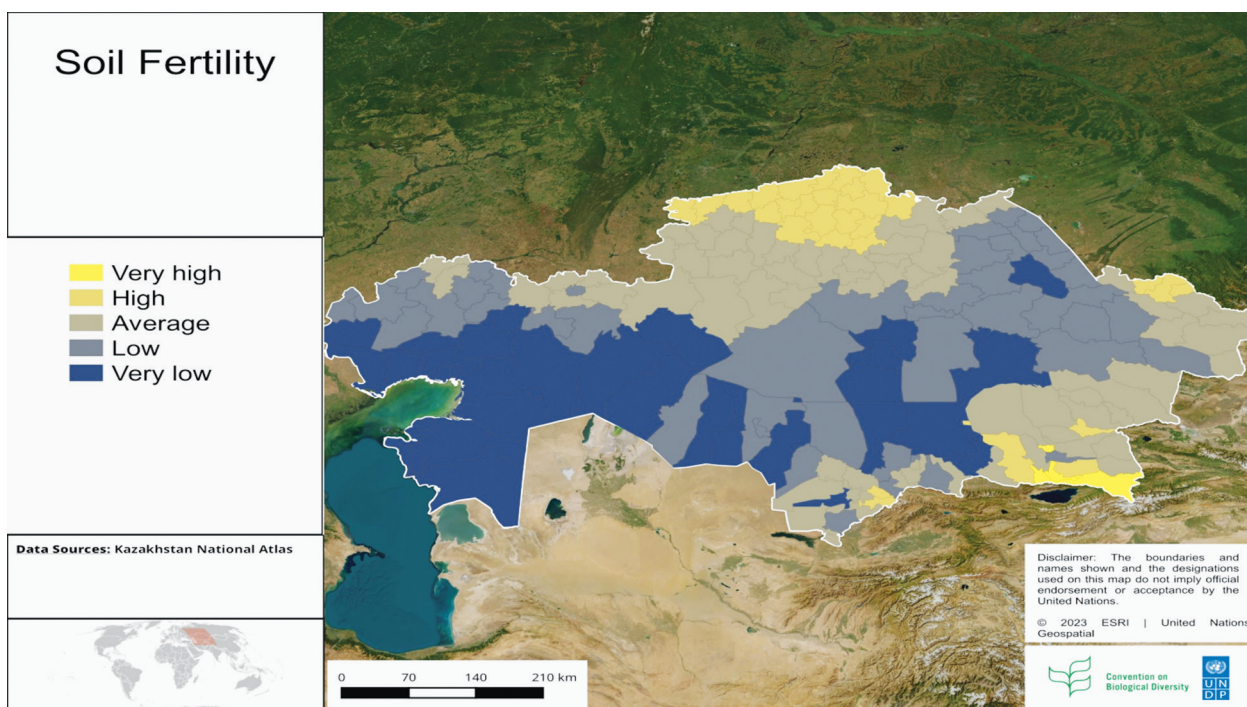


Рис. 20. Низкая производительность почв Казахстана [UNDP]
Fig. 20. Low soil productivity in Kazakhstan [UNDP]

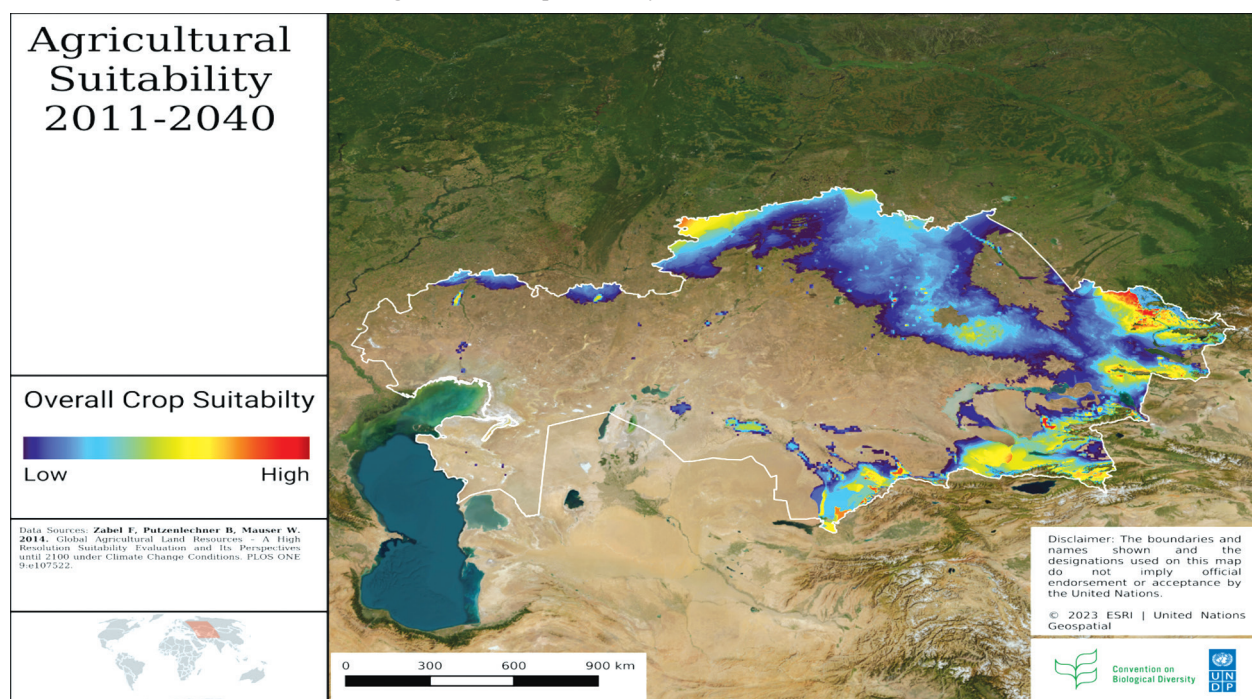
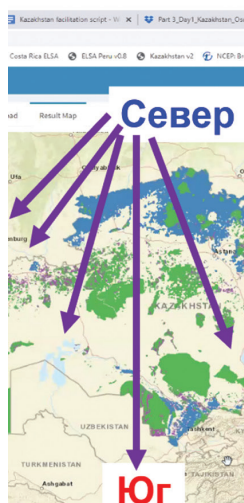


Рис. 21. Прогноз слабой устойчивости земель сельского хозяйства [UNDP]
Fig. 21. Forecast of weak sustainability of agricultural land [UNDP]

Вода и электричество, также природный газ с углем и водой будут стоить недорого на Севере Казахстана, что сделает производство водорода разумным по расходам. Японская компания Toshiba уже протестировала технологии производства водорода в контейнерах более семи лет (<https://www.global.toshiba/ww/news/corporate/2015/04/pr2001.html>). Ана-

логичный подход можно применить и к установке модулей по производству водорода и аммиака. В этом случае ресурсы электроэнергии и воды могут быть более взаимосвязанными и эффективными для следующей цепочки производства водорода и аммиака с поставками с Севера на Юг (Рис. 22).

Водород и аммиачные удобрения с Севера на Юг



В Казахстане единственный производитель аммиака Казазот в Актау <https://www.kazazot.kz/>, с объемом около 300000 тонн аммиака в год, это примерно 10% производительности Тольяттиазот. Аммиачные удобрения оптимально использовать в комбинации с фосфорными удобрениями, которым занимается Казфосфатом <https://www.kpp.kz/>, добывающая фосфориты в Каратау. Полноценное Карбоно-Аммино-Фосфатное питание растений **106C:16N:1P**, улучшит здоровье почвы, природы

Рис. 22. UNDP Водород и аммиачные удобрения с Севера на Юг
Fig. 22. Hydrogen and ammonia fertilizers from North to South

Аммиак широко используется для производства сельскохозяйственных удобрений. Производство «зеленого» аммиака – процесс получения аммиака – на 100 % возобновляемый и безуглеродный. Во всем мире на производство удобрений приходится около 1,1 % ежегодных выбросов углерода из-за использования ископаемой энергии в качестве сырья (примерно 80 % производства использует природный газ, а на уголь приходится примерно 15 %). Зеленый аммиак в настоящее время по сокращению выбросов является лучшим решением для отрасли удобрений. Водород и аммиачные удобрения целесообразно будет поставлять с Северо-Казахстанской области в Южно-, Западно- и Центрально-Казахстанскую области, регионы с проблемами водных ресурсов. В этом случае транспортировка Водорода будет оправдана по затратам, поскольку транспортировка его будет осуществляться аналогично транспортировке энергии, нефти, газа, бензина, дизельного топлива на заправочные станции. Водород будет в категории энергоресурсов. Водные ресурсы считаются дешевым, в основном бесплатным природным ресурсом, поэтому подходы к водосбережению сложно реализовать в Казахстане (<https://www.mdpi.com/2073-4441/15/3/482>). Внедрение рынка водорода в Казахстане усилит заинтересованность в более эффективном использовании водных ресурсов с вторичным использованием воды в качестве энергии. Водородные двигатели производят воду на выходе, и эта вода будет поступать в Южные регионы Казахстана, регионы с дефицитом воды. Такой подход будет более рациональным вместо строительства различных каналов, плотин и водохранилищ, которые являются популярными видами строительства в Казахстане с высокими потерями на испарение, достигающими 90 % в большинстве

регионов Южного Казахстана. Вырабатываемая из водородных двигателей вода потребует обогащения соответствующим количеством удобрений, предприятиями-производителями технологий капельного, дождевального орошения. Технологии капельного и дождевального орошения от производителей выиграют от использования чистой энергии водорода и высококачественных аммиачных удобрений для их систем капельного распыления, не засоряя при этом их системы с узкими трубками. Эта взаимосвязанная цепочка производства водорода и аммиачных удобрений для устойчивого сельского хозяйства требуют экспертов и технических специалистов, которые будут вместе работать над этой программой. Эти усилия требуют надлежащей поддержки в наращивании потенциала техников по водороду для использования этих новых источников энергии и удобрений. Сбалансированное использование природных ресурсов и устойчивое использование минеральных удобрений в сочетании с экологически чистыми технологиями, в том числе устойчивым водопользованием, ответственным отношением к природе и биоразнообразию, требуют соответствующих знаний и передовых ирригационных технологий при научной поддержке.

В настоящее время многие страны ведут работы по разведке природного «белого» водорода, практически идет «золотая лихорадка» вложений поиска геологического «белого» водорода. Как пример, в районе трансграничного бассейна реки Мозель-Саар, границ Франции и Германии, обнаружены крупнейшие в мире подземные запасы геологического «белого» водорода. На территории бывших заброшенных, более 20 лет назад, угольных шахт, обнаружены большие объемы природного геологического «белого» водорода, оценочный объем – до 250 млн тонн [51].

Подземным водородным «фабрикам» (Рис. 23) важно пополнять запасы воды для физико-химических окислительных процессов серпентинизации, производства водорода под землей [52, 53]. В Казахстане отсутствуют исследования по разведке «белого» водорода и отсутствуют механизмы стимулирования вовлечения в программы «золотой лихорадки», посвященных

выявлению подземных геологических «фабрик». Однако такие программы могут способствовать улучшению региональной устойчивости, и будет эффективно Казахстану подключиться к таким программам исследований, представляющим большие возможности для устойчивого развития Казахстана.

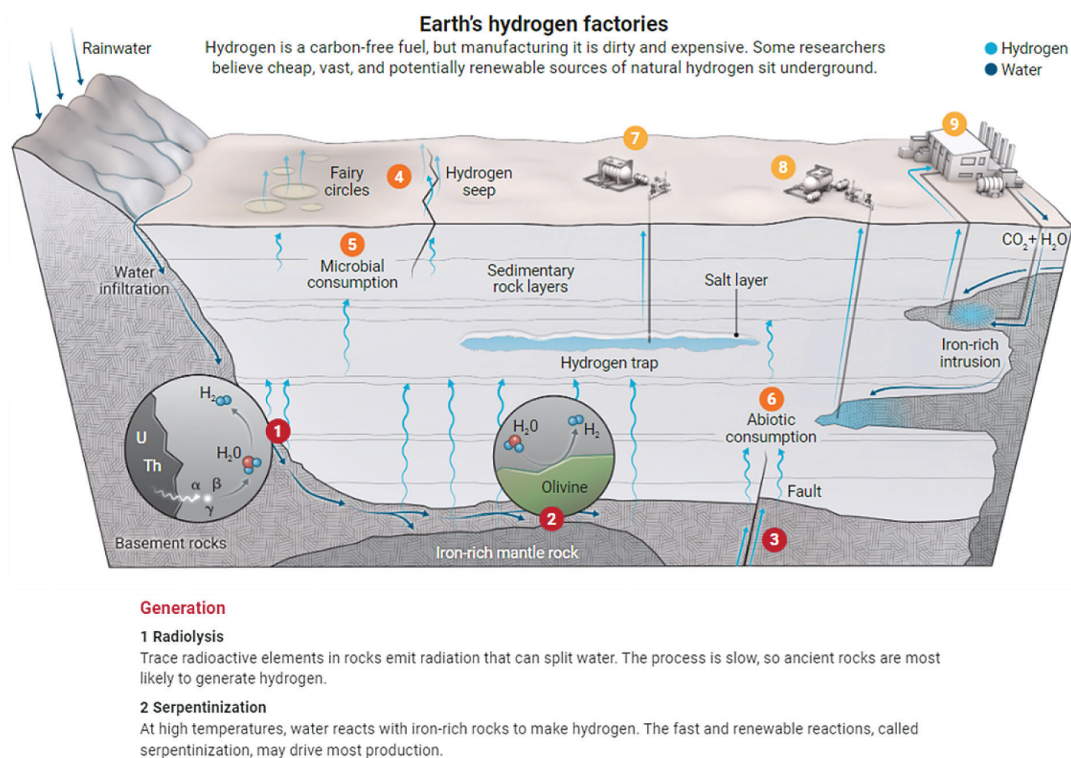


Рис. 23. Подземные водородные «фабрики» [53]

Fig. 23. Underground hydrogen «factories» [53]

Для повышения устойчивости водных ресурсов необходимы значительные усилия по исследованию водных ресурсов на всех уровнях, включая ресурсы подземных вод. Сочетание изменения климата и плохого управления человеком, а также неустойчивые проектные программы ухудшают состояние воды в Казахстане, Центральной Азии, включая установление связей различных гидрохимических типов подземных вод с физико-географическими, геолого-структурными и геохимическими особенностями территории. Казахстану будет выгодно провести масштабные исследования по определению местоположения потенциальных подземных геологических «фабрик», производящих природный «белый» водород. Казахстан богат природными ресурсами, геологическими полезными ископаемыми, в том числе месторождениями урана, железнорудных пород, которые создают благоприятные условия для радиолитического распада и реакций серпентинизации с получением природного водорода из подземных вод. Для улучшения водной

устойчивости Казахстана в регионе необходимы дальнейшие исследования с классификацией, картографированием источников воды, местоположений водоносных горизонтов подземных вод, которые могут быть использованы для потребления, а также потенциальных мест подземных геологических «фабрик», производящих природный «белый» водород.

Благодарность

Данная статья подготовлена в рамках проекта No. AP19679749 «Картографирование полезных лесных полос, их влияние на урожайность и водные ресурсы, перспективы расширения, с применением геопространственных технологий в Акмолинской области» грантового финансирования Министерства Науки и Высшего образования Республики Казахстан на 2023-2025 годы, а также при поддержке Школы Информационных Технологий и Инженерии (ШИТИ), Казахстанско-Британского Технического Университета (КБТУ).

Список литературы

- [1]. UNECE, GIZ Germany, 2023, Зеленая Центральная Азия: усиление регионального диалога по климату, окружающей среде и безопасности, https://unece.org/sites/default/files/2023-06/6_1_Milow_RUS.pdf
- [2]. Проект Тысячелетия, 2023. Глобальная задача 2. Как обеспечить каждому достаточное количество чистой воды без конфликтов? <https://www.millennium-project.org/challenge-2/>
- [3]. Hassani, A., Azapagic, A. & Shokri, N. Global predictions of primary soil salinization under changing climate in the 21st century. *Nature Communication* 12, 6663 (2021). <https://doi.org/10.1038/s41467-021-26907-3>
- [4]. Глобальный Институт Водной Безопасности, Саскатчеванский Бассейн, Канада-США, <https://water.usask.ca/about/index.php#top>, https://www.cerc.gc.ca/news_room-salle_de_presse/spotlight-pleins_feux/wheater_saskatchewan-eng.aspx, <https://www.redriverbasincommission.org/>
- [5]. Единая геоинформационная база данных моделирования чрезвычайных ситуаций США-Канады FEMA HAZUS <https://www.fema.gov/flood-maps/products-tools/hasuz>, <https://www.usehazus.com/canadianhug/>
- [6]. US FEMA, 2023, expenses estimations, <https://www.smartcitiesdive.com/news/fema-climate-billion-dollar-weather-disaster-resilience/685250/>
- [7]. Накопление дренажных паводковых вод по технологиям искусственного восполнения подземных вод Канады-США, Flood-MAR, <https://floodmar.org/>, <https://inowas.webspace.tu-dresden.de/>, <https://teresa.webspace.tu-dresden.de/>
- [8]. США, стимулирование населения, фермеров использовать больше технологии Flood-MAR с финансированием грантами и льготными кредитами, <https://water.ca.gov/Work-With-Us/Grants-And-Loans>
- [9]. Perrone, 2016, Benefits and Economic Costs of Managed Aquifer Recharge in California, <https://escholarship.org/uc/item/7sb7440w>
- [10]. Ross, A. Benefits and Costs of Managed Aquifer Recharge: Further Evidence. *Water* 2022, 14, 3257. <https://doi.org/10.3390/w14203257>
- [11]. Richard G. Niswonger, Eric D. Morway, Enrique Triana, Justin L. Huntington, 2017, Managed aquifer recharge through off-season irrigation in agricultural regions, *Water Resources Research* Volume 53, Issue 8 p. 6970-6992
- [12]. База данных моделирования программы Министерств С/Х Канады-США SWAT мониторинга состояния почв и водных ресурсов с моделированием качества и количества поверхностных и грунтовых вод и прогнозирования воздействия на окружающую среду землепользования, с методами управления земельными ресурсами и изменением климата, <https://data.nal.usda.gov/dataset/swat-soil-and-water-assessment-tool>, <https://www.weg.uoguelph.ca/weg-model-development/>
- [13]. Garcia, X. (2023). Using the Soil and Water Assessment Tool (SWAT) to quantify the economic value of ecosystem services. – *River*, 2, 173-185. <https://doi.org/10.1002/rvr2.47GARCIA185>
- [14]. Xia Vivian Zhou, Christopher D. Clark, Sujithkumar Surendran Nair, Shawn A. Hawkins, Dayton M. Lambert, Environmental and economic analysis of using SWAT to simulate the effects of switchgrass production on water quality in an impaired watershed, *Agricultural Water Management*, Volume 160, 2015, ISSN 0378-3774, <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2015.06.018>
- [15]. Программы Канады-США Министерств CX по научным программам повышения лесистости, обязанности землепользователей обеспечению посадок и содержанию леса вдоль всех водоемов на глубину ширины водоема, мест накопления снегопаводков [https://www1.agric.gov.ab.ca/\\$Department/deptdocs.nsf/all/epw10940/\\$FILE/Shelterbelts_Design_and_Guidelines.pdf](https://www1.agric.gov.ab.ca/$Department/deptdocs.nsf/all/epw10940/$FILE/Shelterbelts_Design_and_Guidelines.pdf)
- [16]. Agroforestry economic benefits, <https://regenfarmer.com/economic-benefits-of-agroforestry/#:~:text=Research%20show%20that%20over%20a,type%20of%20agroforestry%20system%20implemented.>
- [17]. Agroforestry design software, <https://regenfarmer.com/agroforestry-planning-software/>
- [18]. Водородный проект Казахстана, 2023, <https://hyrasia.energy/>, <https://invest.gov.kz/ru/media-center/press-releases/kazakhstan-obespechit-evrosoyuz-zelenym-vodorodom/>, <https://eenergy.media/news/27563>, https://tengrinews.kz/kazakhstan_news/opresnitelnyiy-zavod-zelenyy-vodorod-tokaev-obsudil-516115/
- [19]. Derwent Innovations Index on Web of Science, 2023, <https://clarivate.com/products/scientific-and-academic-research/research-discovery-and-workflow-solutions/webofscience-platform/derwent-innovations-index-on-web-of-science/>
- [20]. International Patent Classification (IPC), 2023, <https://www.wipo.int/classifications/ipc/en/>
- [21]. Ishaq H., Dincer I., Crawford C. A review on hydrogen production and utilization: challenges and opportunities. *Int. J Hydrogen Energy*, 2022;47(62):26238e64
- [22]. Kaiwen L., Bin Y., Tao Z. Economic analysis of hydrogen production from steam reforming process: a literature review. *Energy Sources B Energy Econ Plann* 2018; 13(2):109e15.
- [23]. Hohn K. L., Lin Y. C. Catalytic partial oxidation of methanol and ethanol for hydrogen generation. *ChemSusChem: Chemistry & Sustainability Energy & Materials* 2009; 2(10):927e40.

[24]. Rabenstein G., Hacker V. Hydrogen for fuel cells from ethanol by steam-reforming, partial-oxidation and combined auto-thermal reforming: a thermodynamic analysis. *J Power Sources*, 2008; 185(2):1293e304.

[25]. Rafelt J. S., Clark J. H. Recent advances in the partial oxidation of organic molecules using heterogeneous catalysis. – *Catal Today*, 2000; 57(1e2):33e44.

[26]. Vousoughi P., Eyvazi M. Hydrogen production: overview of technology options and membrane in auto-thermal reforming including partial oxidation and steam reforming. *Int. J. of Membrane Science and Technology*, 2015; 2(1):56e67.

[27]. Shaofeng G., Zexue D., Xuhong M. Research progress of ammonia decomposition catalysts for hydrogen generation. – *Acta Pet Sin*, 2022; 38(6):1506.

[28]. Afif A. et al. Ammonia-fed fuel cells: a comprehensive review. *Renew Sustain Energy Rev*, 2016; 60:822e35.

[29]. Wijayanta A. T. et al. Liquid hydrogen, methylcyclohexane, and ammonia as potential hydrogen storage: comparison review. *Int. J Hydrogen Energy*, 2019; 44(29):15026e44.

[30]. Keipi T., Tolvanen H., Kontinen J. Economic analysis of hydrogen production by methane thermal decomposition: comparison to competing technologies. *Energy Conversion and Management*, 2018; 159:264e73.

[31]. Ursu' a A. et al. Integration of commercial alkaline water electrolysis with renewable energies: limitations and improvements. *Int. J Hydrogen Energy*, 2016; 41(30):12852e61

[32]. Rashid M. et al. Hydrogen production by water electrolysis: a review of alkaline water electrolysis, PEM water electrolysis and high temperature water electrolysis. *Int. J Eng Adv Technol*, 2015; 4(3):80e93.

[33]. Dulta K. et al. Biohydrogen production and its bioeconomic impact: a review. *Waste Disposal & Sustainable Energy*, 2022; 4(3):219e30.

[34]. Rath, B., Kumar, P., Rangasamy, G., Rajendran, S. A critical review on Biohydrogen generation from biomass, *International Journal of Hydrogen Energy*, Volume 52, Part C, 2024, Pages 115-138, ISSN 0360-3199, <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2022.10.182>

[35]. Ananthi, V., Ramesh, U., Balaji, P., Kumar, P., Govarthanan, M., Arun, A. A review on the impact of various factors on biohydrogen production, *International Journal of Hydrogen Energy*, Volume 52, Part C, 2024, Pages 33-45, ISSN 0360-3199, <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2022.08.046>.

[36]. Tao J. et al. Technologies integration towards bio-fuels production: a state-of-the-art review. *Applications in Energy and Combustion Science* 2022:100070.

[37]. Song H. et al. Recent development of biomass gasification for H2 rich gas production. *Applications in Energy and Combustion Science*, 2022; 10:100059.

[38]. Garcia G. et al. A comprehensive review of

hydrogen production from methanol thermochemical conversion for sustainability. *Energy* 2021; 217:119384

[39]. Wang S., Faravelli T., Yang H. Special issue of thermo- chemical conversion of biomass. *Applications in Energy and Combustion Science*, 2022; 11:1e3.

[40]. Liu L. et al. Reforming of tar from biomass gasification in a hybrid catalysis-plasma system: a review. *Appl Catal B Environ*, 2019; 250:250e72.

[41]. Budhraj N., Pal A., Mishra R. Plasma reforming for hydrogen production: pathways, reactors and storage. *Int. J Hydrogen Energy*, 2023; 48(7):2467e82.

[42]. Shi C. et al. A review of different catalytic systems for dry reforming of methane: conventional catalysis-alone and plasma-catalytic system. *J CO2 Util*, 2021; 46:101462

[43]. Fan L., Tu Z., Chan SH. Recent development of hydrogen and fuel cell technologies: a review. *Energy Rep*, 2021; 7:8421e46.

[44]. Президент Байден подписал закон-программу «Региональные центры чистого водорода» (H2Hubs) до десяти проектов водородных хабов имеют право на федеральное финансирование на сумму до 1,25 миллиарда долларов каждый, <https://www.whitecase.com/insight-alert/hydrogen-hub-projects-awarded-7-billion-us-department-energy>

[45]. China's Hydrogen Strategy – Present & Future State. – URL: <https://www.asiaperspective.com/china-hydrogen-energy/>

[46]. R. R. Esily, Y. Chi, D. M. Ibrahim, Y. Chen Hydrogen strategy in decarbonization era: Egypt as a case study *Int. J. Hydrogen Energy* (2022)

[47]. W. Cheng, S. Lee How green are the national hydrogen strategies? *Sustainability*, 14 (3) (2022), p. 1930

[48]. H. Aly Royal dream: city branding and Saudi Arabia's NEOM Middle East-Topics & Arguments, 12 (2019), pp. 99-109

[49]. Кирюшин В. И. Начало освоения целинных земель, *Уроки Целины*, 2015, <https://histrf.ru/read/articles/nachalo-osvoeniia-tsielinnikh-ziemiel-event>

[50]. Межгосударственная комиссия по устойчивому развитию. Дegradация земель, 2001, http://www.mkurca.org/temy/degradaciya_zemel/

[51]. Bettayeb K., 2023. A gigantic hydrogen deposit in northeast France? accessed on 12 January 2024. <https://news.cnrs.fr/articles/a-gigantic-hydrogen-deposit-in-northeast-france>

[52]. Erussard V., 2023. Energy Observer. What potential for natural hydrogen? accessed on 15 January 2024. <https://news.cnrs.fr/articles/a-gigantic-hydrogen-deposit-in-northeast-france>

[53]. Hand. E., 2023. Hidden Hydrogen: Does Earth hold vast stores of a renewable, carbon-free fuel? accessed on 16 January 2024. <https://www.science.org/content/article/hidden-hydrogen-earth-may-hold-vast-stores-renewable-carbon-free-fuel>, doi: 10.1126/science.adh1460



References

- [1]. UNECE, GIZ Germany, 2023, Green Central Asia: strengthening regional dialogue on climate, environment, and security https://unece.org/sites/default/files/2023-06/6_1_Milow_RUS.pdf
- [2]. Millennium Project 2023. Global challenge 2. How to provide everyone with enough clean water without conflict? <https://www.millennium-project.org/challenge-2/>
- [3]. Hassani, A., Azapagic, A. & Shokri, N. Global predictions of primary soil salinization under changing climate in the 21st century. *Nature Communication* 12, 6663 (2021). <https://doi.org/10.1038/s41467-021-26907-3>
- [4]. Global Institute for Water Security, Saskatchewan Basin, Canada-USA, <https://water.usask.ca/about/index.php#top>, https://www.cerc.gc.ca/news_room-salle_de_presse/spotlight-pleins_feux/wheater_saskatchewan-eng.aspx, <https://www.redriverbasincommission.org/>
- [5]. Unified geographic information database for modeling emergency situations of the USA-Canada FEMA HAZUS <https://www.fema.gov/flood-maps/products-tools/hazus>, <https://www.usehazus.com/canadianhug/>
- [6]. US FEMA, 2023, expenses estimations, <https://www.smartcitiesdive.com/news/fema-climate-billion-dollar-weather-disaster-resilience/685250/>
- [7]. Accumulation of drainage flood waters using artificial groundwater replenishment technologies, Canada-USA, Flood-MAR, <https://floodmar.org/>, <https://inowas.webspace.tu-dresden.de/>, <https://teresa.webspace.tu-dresden.de/>
- [8]. USA, encouraging the population and farmers to use more Flood-MAR technology with funding from grants and soft loans, <https://water.ca.gov/Work-With-Us/Grants-And-Loans>
- [9]. Perrone, 2016, Benefits and Economic Costs of Managed Aquifer Recharge in California, <https://escholarship.org/uc/item/7sb7440w>
- [10]. Ross, A. Benefits and Costs of Managed Aquifer Recharge: Further Evidence. *Water*, 2022, 14, 3257. <https://doi.org/10.3390/w14203257>
- [11]. Richard G. Niswonger, Eric D. Morway, Enrique Triana, Justin L. Huntington, 2017, Managed aquifer recharge through off-season irrigation in agricultural regions, *Water Resources Research* Volume 53, Issue 8 p. 6970-6992
- [12]. Modeling database program of the Ministries of Agriculture Canada-USA SWAT for monitoring the state of soils and water resources with modeling the quality and quantity of surface and ground water and predicting the environmental impact of land use, with methods of land management and climate change, <https://data.nal.usda.gov/dataset/swat-soil-and-water-assessment-tool>, <https://www.weg.uoguelph.ca/weg-model-development/>
- [13]. Garcia, X. (2023). Using the Soil and Water Assessment Tool (SWAT) to quantify the economic value of ecosystem services. *River*, 2, 173-185. <https://doi.org/10.1002/rvr2.47GARCIA|185>
- [14]. Xia Vivian Zhou, Christopher D. Clark, Sujithkumar Surendran Nair, Shawn A. Hawkins, Dayton M. Lambert, *Environmental and economic analysis of using SWAT to simulate the effects of switchgrass production on water quality in an impaired watershed, Agricultural Water Management*, Volume 160, 2015, ISSN 0378-3774, <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2015.06.018>
- [15]. The Canada-USA Ministries of Agriculture programs to increase forest cover by requiring the land users to ensure planting and maintenance of forests along reservoirs to increase the snow accumulation and flood mitigation activities [https://www1.agric.gov.ab.ca/\\$Department/deptdocs.nsf/all/epw10940/\\$FILE/Shelterbelts_Design_and_Guidelines.pdf](https://www1.agric.gov.ab.ca/$Department/deptdocs.nsf/all/epw10940/$FILE/Shelterbelts_Design_and_Guidelines.pdf)
- [16]. Agroforestry economic benefits, <https://regenfarmer.com/economic-benefits-of-agroforestry/#:~:text=Research%20show%20that%20over%20a,type%20of%20agroforestry%20system%20implemented>
- [17]. Agroforestry design software, <https://regenfarmer.com/agroforestry-planning-software/>
- [18]. Hydrogen project of Kazakhstan, 2023, <https://hyrasya.energy/>, <https://invest.gov.kz/ru/media-center/press-releases/kazakhstan-obespechit-evrosoyuz-zelenym-vodorodom/>, <https://eenergy.media/news/27563>, https://tengrinews.kz/kazakhstan_news/opresnitelnyiy-zavod-zelenyiy-vodorod-tokaev-obsudil-516115/
- [19]. Derwent World Patents Index on Web of Science, 2023, <https://clarivate.com/products/scientific-and-academic-research/research-discovery-and-workflow-solutions/webofscience-platform/derwent-innovations-index-on-web-of-science/>
- [20]. International Patent Classification (IPC), 2023, <https://www.wipo.int/classifications/ipc/en/>
- [21]. Ishaq H., Dincer I., Crawford C. A review on hydrogen production and utilization: challenges and opportunities. *Int. J Hydrogen Energy* 2022; 47(62):26238e64
- [22]. Kaiwen L., Bin Y., Tao Z. Economic analysis of hydrogen production from steam reforming process: a literature review. *Energy Sources B Energy Econ Plann*, 2018; 13(2):109e15.
- [23]. Hohn K. L., Lin Y. C. Catalytic partial oxidation of methanol and ethanol for hydrogen generation. *ChemSusChem: Chemistry & Sustainability Energy & Materials*, 2009; 2(10):927e40.
- [24]. Rabenstein G., Hacker V. Hydrogen for fuel cells from ethanol by steam-reforming, partial-oxidation and combined auto-thermal reforming: a thermodynamic analysis. *J Power Sources* 2008; 185(2):1293e304.
- [25]. Rafelt J. S., Clark J. H. Recent advances in the partial oxidation of organic molecules using heterogeneous

catalysis. *Catal Today*, 2000; 57(1e2):33e44.

[26]. Vousoughi P., Eyvazi M. Hydrogen production: overview of technology options and membrane in auto-thermal reforming including partial oxidation and steam reforming. *Int. J. of Membrane Science and Technology*, 2015; 2(1):56e67.

[27]. Shaofeng G, Zexue D, Xuhong M. Research progress of ammonia decomposition catalysts for hydrogen generation. *Acta Pet Sin* 2022;38(6):1506.

[28]. Afif A. et al. Ammonia-fed fuel cells: a comprehensive review. *Renew Sustain Energy Rev*, 2016; 60:822e35.

[29]. Wijayanta A. T. et al. Liquid hydrogen, methylcyclohexane, and ammonia as potential hydrogen storage: comparison review. *Int. J Hydrogen Energy*, 2019; 44(29):15026e44.

[30]. Keipi T., Tolvanen H., Kontinen J. Economic analysis of hydrogen production by methane thermal decomposition: comparison to competing technologies. *Energy Conversion and Management*, 2018; 159:264e73.

[31]. Ursu' a A. et al. Integration of commercial alkaline water electrolysis with renewable energies: limitations and improvements. *Int. J Hydrogen Energy*, 2016; 41(30):12852e61

[32]. Rashid M. et al. Hydrogen production by water electrolysis: a review of alkaline water electrolysis, PEM water electrolysis and high temperature water electrolysis. *Int. J Eng Adv Technol*, 2015; 4(3):80e93.

[33]. Dulta K. et al. Biohydrogen production and its bioeconomic impact: a review. *Waste Disposal & Sustainable Energy*, 2022; 4(3):219e30.

[34]. Rath, B., Kumar, P., Rangasamy, G., Rajendran, S. A critical review on Biohydrogen generation from biomass, *International Journal of Hydrogen Energy*, Volume 52, Part C, 2024, Pages 115-138, ISSN 0360-3199, <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2022.10.182>

[35]. Ananthi, V., Ramesh, U., Balaji, P., Kumar, P., Govarthanan, M., Arun, A. A review on the impact of various factors on biohydrogen production, *International Journal of Hydrogen Energy*, Volume 52, Part C, 2024, Pages 33-45, ISSN 0360-3199, <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2022.08.046>.

[36]. Tao J. et al. Technologies integration towards bio-fuels production: a state-of-the-art review. *Applications in Energy and Combustion Science*, 2022:100070.

[37]. Song H. et al. Recent development of biomass gasification for H₂ rich gas production. *Applications in Energy and Combustion Science*, 2022; 10:100059.

[38]. Garcia G., et al. A comprehensive review of hydrogen production from methanol thermochemical conversion for sustainability. *Energy*, 2021; 217:119384

[39]. Wang S., Faravelli T., Yang H. Special issue of

thermo-chemical conversion of biomass. *Applications in Energy and Combustion Science*, 2022; 11:1e3.

[40]. Liu L. et al. Reforming of tar from biomass gasification in a hybrid catalysis-plasma system: a review. *Appl Catal B Environ* 2019; 250:250e72.

[41]. Budhraj N., Pal A., Mishra R. Plasma reforming for hydrogen production: pathways, reactors and storage. *Int. J Hydrogen Energy*, 2023; 48(7):2467e82.

[42]. Shi C. et al. A review of different catalytic systems for dry reforming of methane: conventional catalysis-alone and plasma-catalytic system. *J CO₂ Util* 2021; 46:101462

[43]. Fan L., Tu Z., Chan SH. Recent development of hydrogen and fuel cell technologies: a review. *Energy Rep*, 2021; 7:8421e46.

[44]. President Biden signed into law the Regional Hydrogen Hubs (H₂Hubs) program, with up to ten hydrogen hub projects eligible for up to \$1.25 billion in federal funding each. <https://www.whitecase.com/insight-alert/hydrogen-hub-projects-awarded-7-billion-us-department-energy>

[45]. China's Hydrogen Strategy – Present & Future State. – URL: <https://www.asiaperspective.com/china-hydrogen-energy/>

[46]. R. R. Esily, Y. Chi, D. M. Ibrahim, Y. Chen Hydrogen strategy in decarbonization era: Egypt as a case study *Int. J. Hydrogen Energy* (2022)

[47]. W. Cheng, S. Lee How green are the national hydrogen strategies? *Sustainability*, 14 (3) (2022), p. 1930

[48]. H. Aly Royal dream: city branding and Saudi Arabia's NEOM Middle East-Topics & Arguments, 12 (2019), pp. 99-109

[49]. Kiryushin V. I. The beginning of the development of virgin lands, *Lessons from Virgin Lands*, 2015, <https://histrf.ru/read/articles/nachalo-osvoeniia-tsielinnykh-ziemel-event>

[50]. Interstate Commission on Sustainable Development, Land Degradation, 2001, http://www.mkurca.org/temy/degradaciya_zemel/

[51]. Bettayeb K., 2023. A gigantic hydrogen deposit in northeast France? accessed on 12 January 2024. <https://news.cnrs.fr/articles/a-gigantic-hydrogen-deposit-in-northeast-france>

[52]. Erussard V., 2023. Energy Observer. What potential for natural hydrogen? accessed on 15 January 2024. <https://news.cnrs.fr/articles/a-gigantic-hydrogen-deposit-in-northeast-france>

[53]. Hand. E., 2023. Hidden Hydrogen: Does Earth hold vast stores of a renewable, carbon-free fuel? accessed on 16 January 2024. <https://www.science.org/content/article/hidden-hydrogen-earth-may-hold-vast-stores-renewable-carbon-free-fuel>, doi: 10.1126/science.adh1460

Транслитерация по BSI