

Основные тенденции на мировом рынке водорода



Стремление к декарбонизации атмосферного воздуха (снижение доли «парниковых» выбросов CO_2) — одна из основных идей в современной гонке экологических энергетических технологий.





Осуществляется сокращение потребления мазута, нефти и угля. Продолжается их замена экологически приемлемым природным газом. Укрепляются позиции атомной энергетики. Наращиваются объемы использования возобновляемых источников энергии (ВИЭ).





Борьба за эффективные источники энергии и декарбонизацию атмосферы неизбежно будет продолжена в процессе активного развития водородной энергетики. Для этого потребуется значительное снижение себестоимости получения водорода и внедрение приемлемых решений по его транспортировке, хранению и использованию.

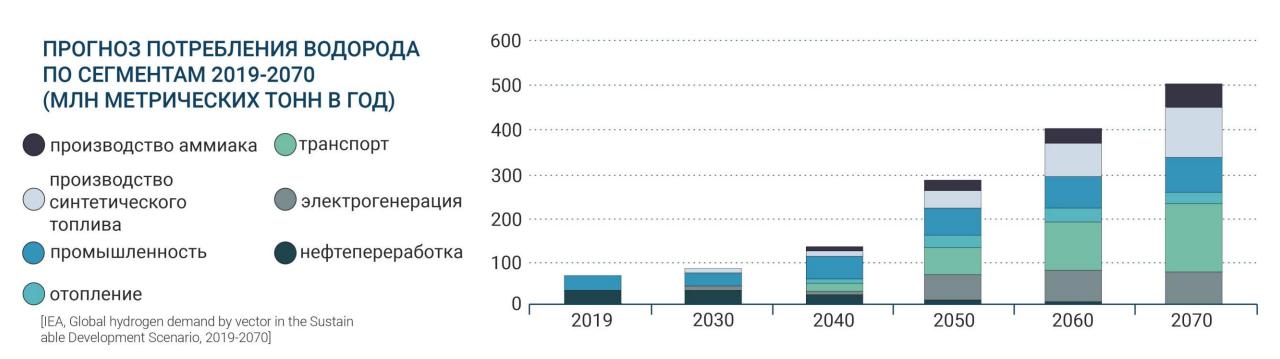




Водород — идеальный источник энергии и экологически приемлемое топливо. Теплота его сгорания (140 МДж/кг) почти в три раза выше, чем у нефти, в семь раза больше, чем у каменного угля и в 4 раза больше, чем у природного газа.

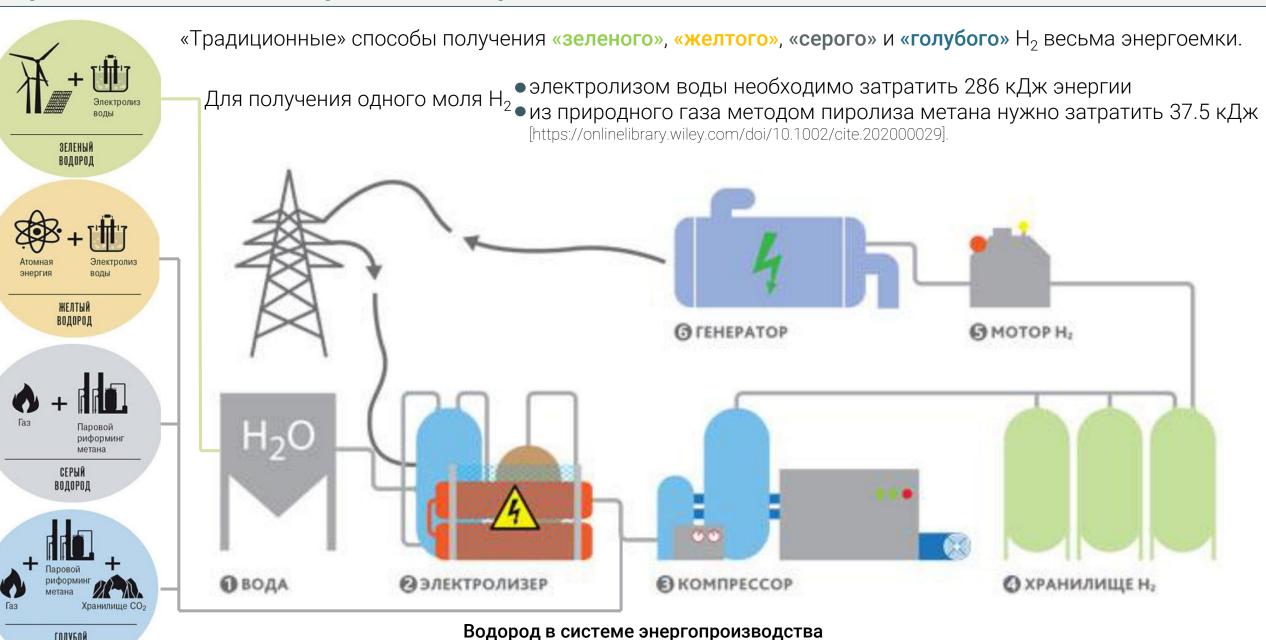
Основные тенденции на мировом рынке водорода

- Н Интерес к водороду по всему Миру растет постоянно.
 - Ряд стран в ЕС, а также Россия, Австралия, Австрия, Канада, Чили, Китай, Германии, Индия, Италия, Марокко, Норвегия, Саудовская Аравия, Республика Корея, Великобритания, США и другие уже разработали национальные стратегии развития «водородной экономики» в рамках программы действий по снижению углеродоемкости ВВП.
- Способность водорода аккумулировать энергию в больших объемах и возможность его транспортировки различными способами до мест энергопотребления позволяет рассматривать водород как центральный элемент в планах по декарбонизации энергетического комплекса.



«Традиционная» водородная энергетика

ГОЛУБОЙ ВОДОРОД



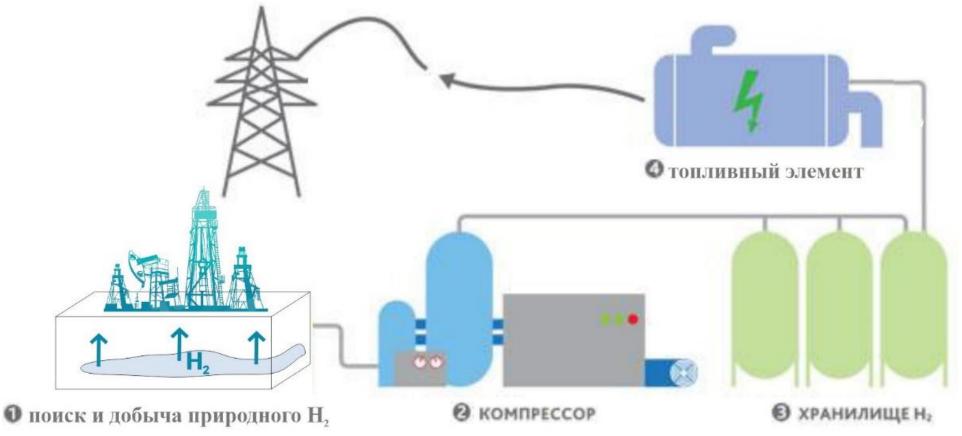
Иной путь – поиски природного «белого» водорода



Не требует больших затрат на обнаружение водорода, его подготовку к применению в различных сферах потребления.

Огромный потенциал ресурса не оценивался из-за представлений о распространении в природе свободного водорода в низких концентрациях.

До недавнего времени природный «белый» водород не привлекал внимания широкого круга исследователей, так как недостаточно изучен.



Природный «белый» водород в системе энергопроизводства

Основные формы потоков природного Н2



рассеянные газы и газы закрытых пор различных типов пород (осадочные, магматические, метаморфические)



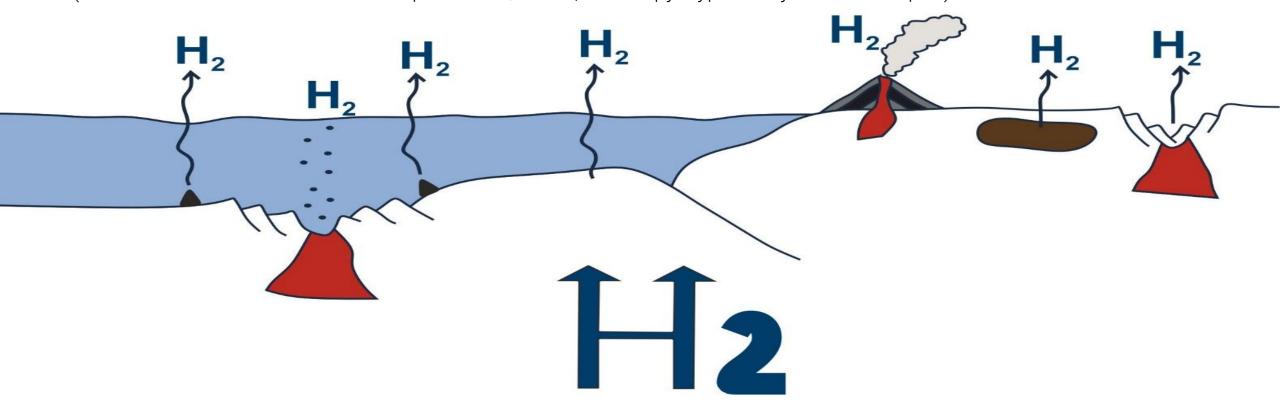
свободные газы и растворенные в пластовых водах газы газовых, газоконденсатных и газонефтяных месторождений



н различные типы газов в обстановках проявления магматической активности (фумаролы, курильщики, гейзеры, мантийные эксгаляции и т.п.) и гидротермальной активности (гидротермальные источники, грязевые вулканы и т.п.)



рассредоточенный поток глубинного водорода (тектонически ослабленные зоны разломов, кольцевые структуры на суше и акватории)



Некоторые формы проявления потоков природного Н2

Газовые сипы



9,8% H₂ – «пылающая» г. Химера, Турция. [Etiope G. et al., 2011]

Газы угольных бассейнов



2,5-40% H₂ -Донбасс, Украина.

Фумаролы вулканов



17,7% H₂ - вулкан Момотомбо, Никарагуа. [Ермаков В.И., 1990 г.; https://izverzhenie-vulkana.ru]

Рассеянные газы осадочных пород



41,3% H₂ – скважина 4-СЛНГ, оз. Байкал, Россия. [Самсонов В.В., 1963 г.]

Гидротермальные источники



30-77% H₂ – пузырьковые газы, Оман. [Zgonnik V., 2019]

Газы месторождений углеводородов



0,01-10% H₂ – Марковоское НГКМ, Россия. [Бодунов Е.И., 1967 г.]

[Соколов В.А., 1972 г.]

Зоны разгрузки газов с аномальным содержанием природного H₂ в мире

В районе поселка Боуракебоугоу в Республике Мали в ходе бурения скважины для поиска воды случайно столкнулись с природным скоплением водорода. Газ, добываемый из этой скважины почти на 96% состоит из водорода, что позволило прямо на месте наладить его сжигание в газовой турбине и тем самым организовать выработку электричества для небольшой деревни.

В ходе работ в районе поселка Боуракебоугоу в 2017-2019 годах было завершено строительство 24 скважин. Общий метраж пробуренных скважин составил 6953 м. По результатам работ на глубинах от 30-135 до 1125-1500 метров идентифицировано пять крупных продуктивных резервуаров Н₂, приуроченных к преимущественно карбонатным коллекторам, перекрытым долеритовыми толщами [https://hydroma.ca/en/field-work/].



Первая разведочная водородная скважина в пос.Боуракебоугоу, Республика Мали. [Briere D. On Generating a Geological Model for Hydrogen Gas in the Southern Taoudenni Megabasin]

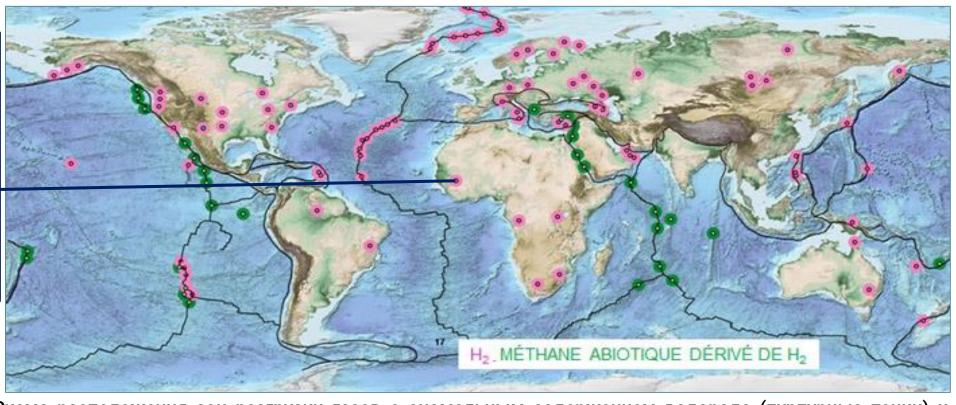
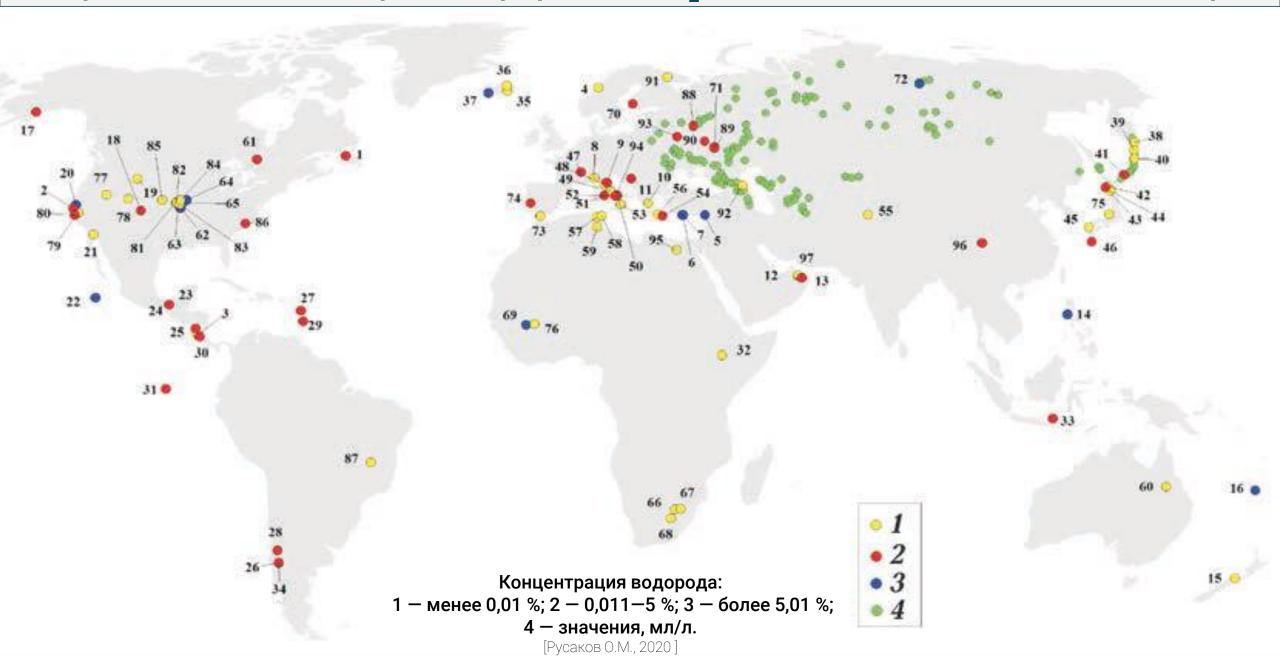
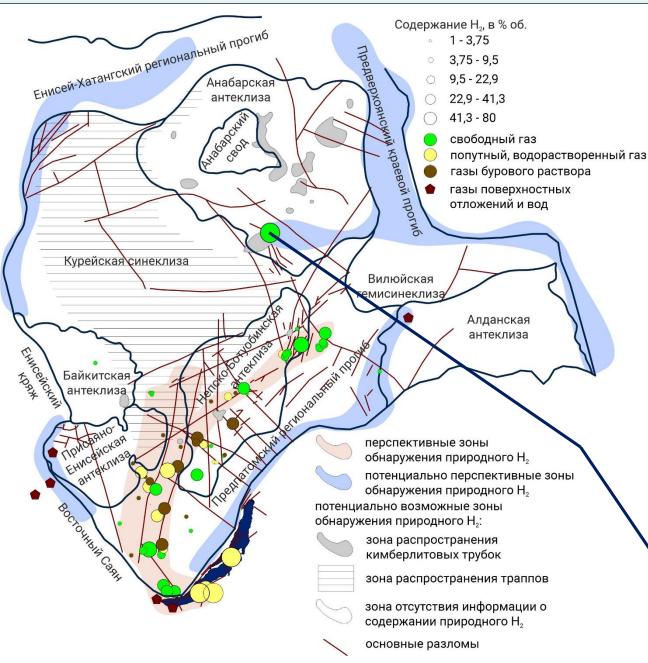


Схема расположения зон разгрузки газов с аномальным содержанием водорода (пурпурные точки) и абиотического метана (зеленые). [Isabelle Moretti. L'hydrogène naturel : curiosité géologique ou source d'énergie majeure dans le futur ?]

Распределение концентраций природного H_2 в подземных водах в России и мире



Зоны обнаружения природного H₂ на Сибирской платформе



В результате обработки архивных и современных результатов газохроматографического анализа **1700 проб различных газов** (по состоянию на 1.06.2021г) в границах Сибирской платформы выделены зоны обнаружения природного H_2 с разной степенью перспективности:

- перспективные (БРЗ, Приангарье, зона Каймоново-Кутского разлома, центральная часть Непско-Ботуобинской антеклизы и др.);
- потенциально перспективные (окраинные зоны);
- потенциально возможные (зоны распространения траппов и кимберлитовых трубок).

Южная часть Сибирской платформы в наибольшей степени охарактеризована данными о содержании природного H_2 .

При этом, границы зоны отсутствия информации о содержании природного H_2 ни в коей мере не исключают возможности его обнаружения в будущем.

Скв. №42 на кимберлитовой трубке «Удачная» (1967 г.). Глубина – 380 м.

Содержание H₂ - 56%.

Дебит – $56\,000\,\mathrm{M}^3\,\mathrm{H}_2$ /сутки.

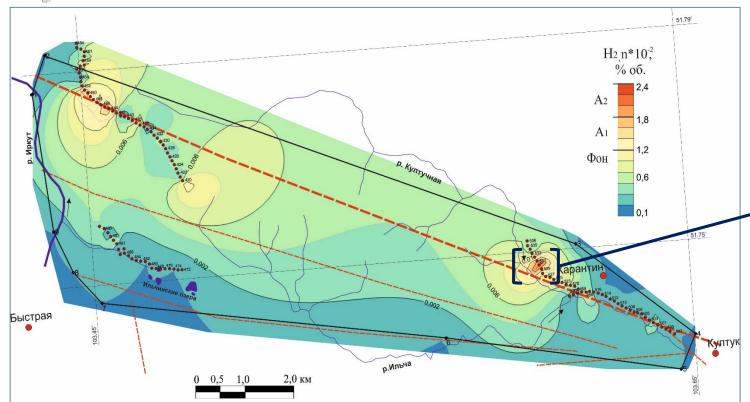
Эквивалентная тепловая мощность скважины – 8,2 МВт.

Глубинные разломы – зоны, проводящие природный Н₂ (Южное Прибайкалье)

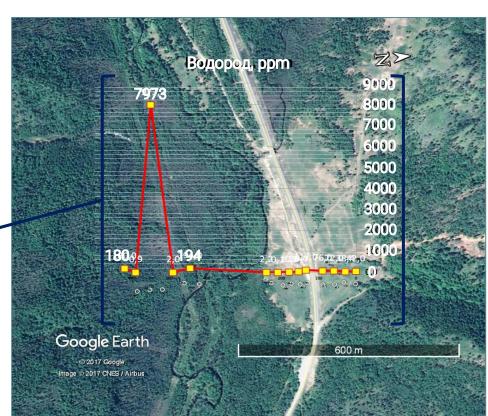


В результате газогидрохимической съемки по поверхностным водопунктам и газам поверхностных отложений масштаба 1 : 200 000 компанией ООО ПГК «Сибгеоком» в восточной части Тункинской впадины:

- составлена карта распределения содержаний водорода в ЮВ окончании Главного Саянского разлома;
- выделены аномальные зоны повышенного содержания водорода;
- геохимическим методами установлена приуроченность прогнозных зон выходов природного водорода к осевой линии Главного Саянского разлома.



Карта распределения содержания водорода в свободных газах приповерхностных отложений на участке работ в ЮВ окончании Главного Саянского разлома. [ООО ПГК «СИБГЕОКОМ]



Результаты водородометрии газов приповерхностных отложений в районе ЮВ окончания Главного Саянского разлома.

[000 ПГК «Сибгеоком, НТ АНО «Центр водородных технологий»]

Глубинные разломы – зоны, проводящие природный Н₂ (Южное Прибайкалье)

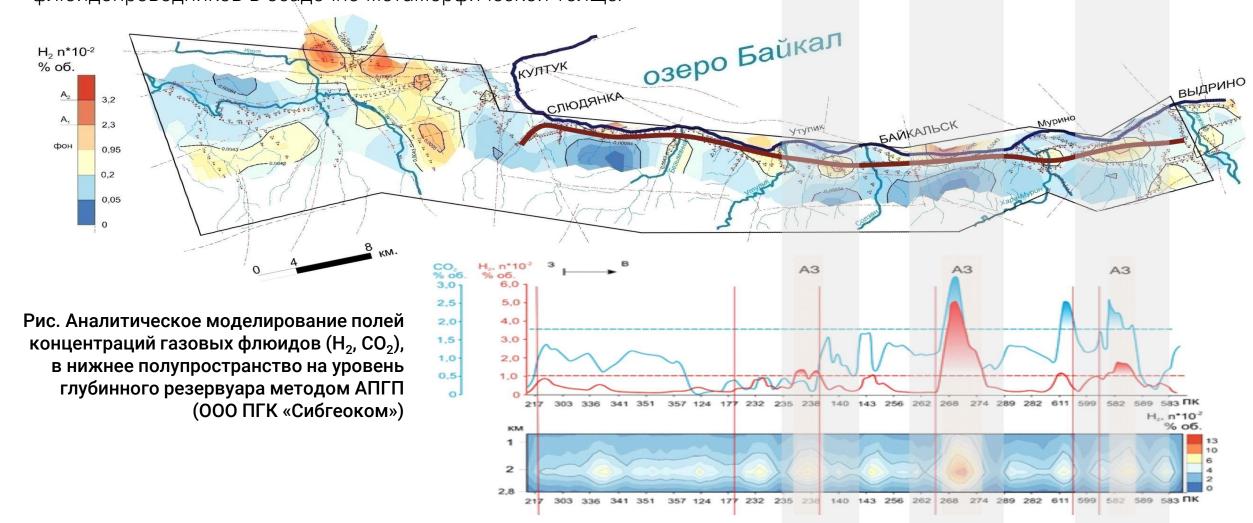
- В результате газогидрохимической съемки по поверхностным водопунктам и газам поверхностных отложений масштаба 1 : 200 000 компанией ООО ПГК «Сибгеоком» в Южном Прибайкалье:
- составлена карта распределения содержаний водорода в Южном Прибайкалье;
- выделены аномальные зоны повышенного содержания водорода;
- геохимическими методами установлена приуроченность прогнозных зон выходов природного водорода к осевой линии Главного Саянского разлома.



Аналитическое моделирование потоков H₂ на глубину (Южное Прибайкалье)

- (ii) В газах приповерхностных отложений вдоль профиля выделяются высококонтрастные аномальные зоны по H_2 .
- $\stackrel{(\mathbb{H})}{\longrightarrow}$ Аномальное содержание H_2 совпадает с повышенным содержанием CO_2 и N_2 .

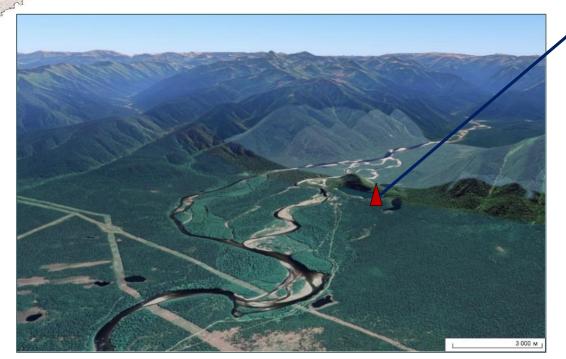
Выявленные аномалии прослеживаются на глубину до 2 км, что предполагает наличие локальных газовых источников и флюидопроводников в осадочно-метаморфической толще.



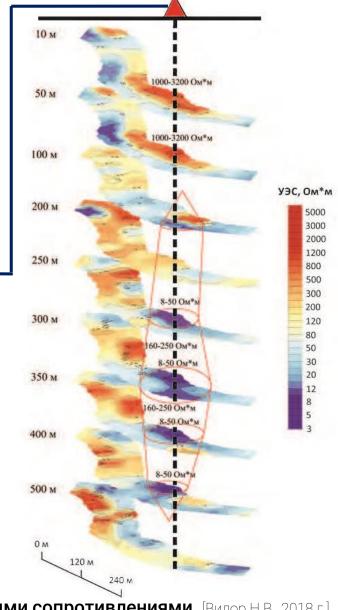
Оконтуривание и прослеживание геофизическими методами (3СБ) на глубину резервуаров с термальными флюидами (Южное Прибайкалье)

В Муринско-Выдринской депрессии Южного Прибайкалья электромагнитными измерениями выделен скрытый геотермальный резервуар в осадочной толще.

Исследования проведены методами ЗСБ в варианте метода переходных процессов (ЗСБ-МПП) и электромагнитного зондирования с вызванной поляризацией (ЭМЗ ВП)

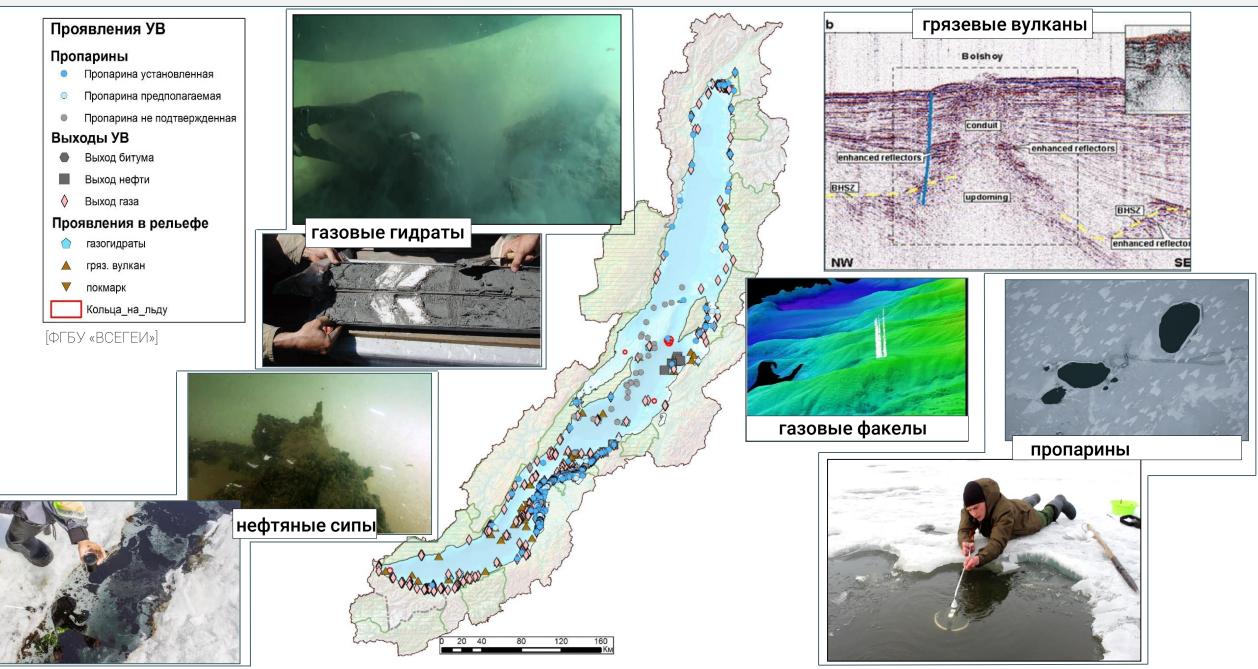


Приведенные результаты показывают, что геофизические методы могут быть использованы при поисках потоков природного водорода в комплексе с геохимическими работами.



Пространственное расположение геотермального резервуара в блоке с минимальными удельными сопротивлениями. [Вилор Н.В., 2018 г.]

Поверхностные проявления потоков глубинных флюидов (оз. Байкал)



Кольцевые структуры на суше – признаки проявления природного Н2

Кольцевые структуры на суше – поверхностные маркеры глубинных потоков природного водорода.

Кольцевые структуры проседания хорошо дешифрируются на космических снимках, где они проявляются в виде светлых колец и кругов в местах потенциальных выходов водородных потоков. [http://hydrogen-future.com]



Распределение концентраций ${\rm H_2}$ на Arthur Road Sandpit, Северная Каролина (США).

[Zgonnik et al. Progress in Earth and Planetary Science (2015) 2:31].

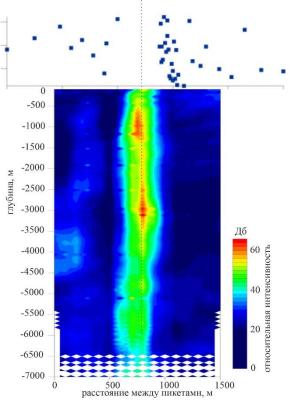
Кольцевая структура в Московской обл. (между пос. Жилино и Веревское, размеры 450х350 м).

Старый хвойный лес уничтожен, $\frac{1}{5}$ 1,5 структура просела, $\frac{1}{5}$ 3аболотилась и заросла $\frac{1}{5}$ соснами. $\frac{1}{1}$ $\frac{1}{5}$

Результаты микросейсмического зондирования и водородометрии (в подпочвенном воздухе) по широтному профилю через структуру проседания.

Трубообразная вертикальная зона точно совмещается с кольцевой структурой. Цветовая шкала отражает различную степень поглощения микросейсм в децибелах (чем ярче – тем полнее поглощение).

[http://hydrogen-future.com]

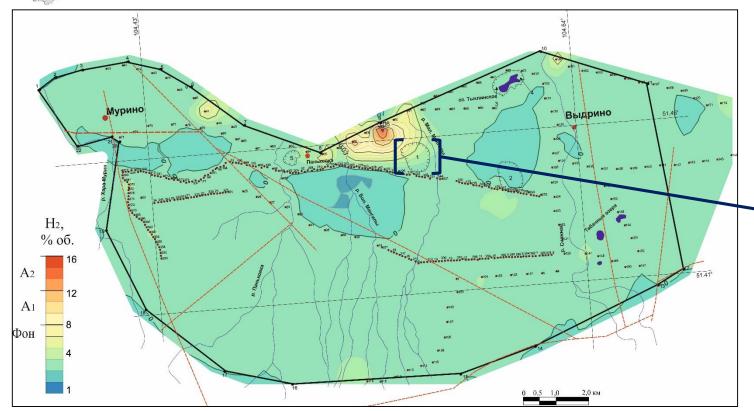


Кольцевые структуры на побережье озера Байкал – проявления природного Н2

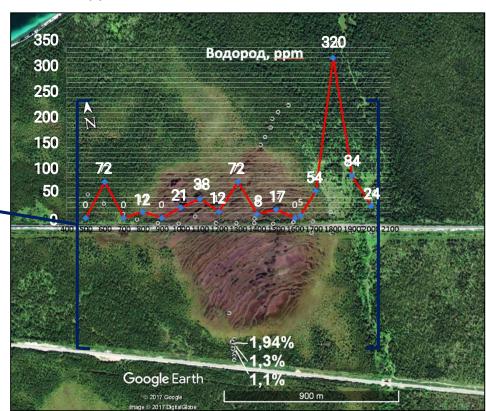


В результате газогидрохимической съемки по поверхностным водопунктам и газам поверхностных отложений масштаба 1 : 200 000 компанией ООО ПГК «Сибгеоком» на юго-восточном побережье оз. Байкал:

- составлена карта распределения содержаний водорода в междуречье рек Хара-Мурин и Снежная;
- выделены потенциальные структуры водородной дегазации;
- установлена хорошая сходимость результатов по прогнозу зон выходов природного водорода и глубинных флюидов различными методами геохимических исследований.



Карта распределения содержания водорода в свободных газах приповерхностных отложений на участке работ в междуречье рек Хара-Мурин и Снежная. [ООО ПГК «Сибгеоком]



Результаты водородометрии газов приповерхностных отложений в районе потенциальной кольцевой структуры дегазации.

[ООО ПГК «Сибгеоком, НТ АНО «Центр водородных технологий»]

Кольцевые ледовые структуры на озере Байкал – проявления природного Н2

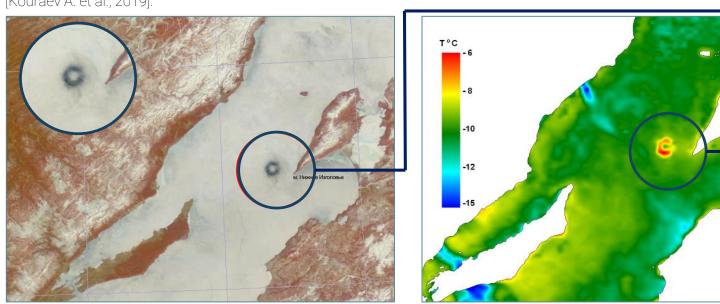
14 March

9 April

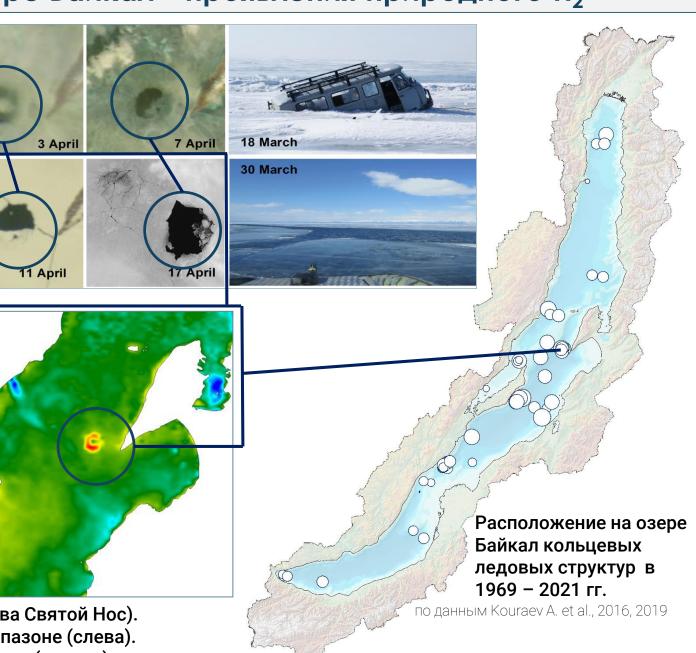
Кольцевые ледовые структуры – поверхностные маркеры потенциальных глубинных потоков природного водорода.

Временная эволюция кольцевой ледовой структуры в районе мыса Н.Изголовье в 2016 году по снимкам MODIS и Landsat 8 (17 апреля).

[Kouraev A. et al., 2019].



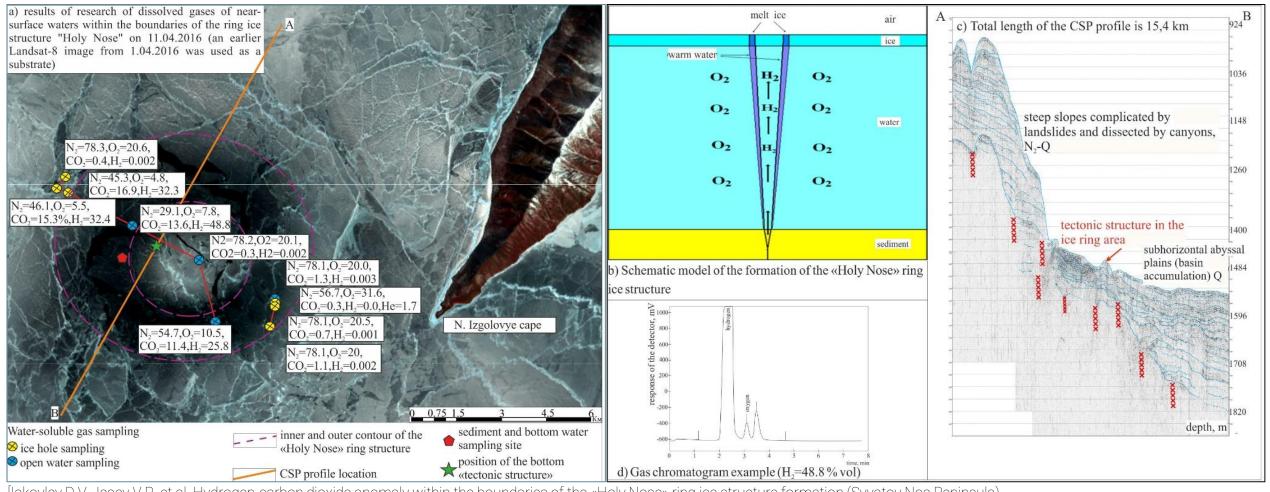
Кольцевая ледовая структура «Святой Нос» (вблизи полуострова Святой Нос). Космоснимок спутника Landsat-7 от 20.04.09 в оптическом диапазоне (слева). Космоснимок спутника AQUA от 14.04.2009 в тепловом диапазоне (справа).



Водородно-углекислая аномалия в границах формирования кольцевой ледовой структуры «Святой Нос» (озеро Байкал, полуостров Святой Нос)

Уникальная H_2 - CO_2 аномалия выявлена в апреле 2016 г. результате газогидрохимического опробования поверхностных вод в границах кольцевой ледовой структуры «Святой Нос» (близ м. Н. Изголовье, полуостров Святой Нос).

Состав аномалии – объемное содержание H_2 от 25,8 до 48,8 % об., CO_2 от 11,4 до 16,9 %об.; глубина в точке отбора ~1500 м.



[lakovlev D.V., Isaev V.P. et al. Hydrogen-carbon dioxide anomaly within the boundaries of the «Holy Nose» ring ice structure formation (Svyatoy Nos Peninsula). Limnology and Freshwater Biology 2020 (4): 847-848 DOI:10.31951/2658-3518-2020-A-4-847]

Литогазогидрогеохимическая съемка – эффективный поиск природного Н2

Лито+Газо+Гидро

Донные отложения в акватории. Приповерхностные отложения на суше.



Бурение неглубоких скважин.



Система донного опробования.

Гелиевая съемка.
Водородометрия.
Снеговая съемка.
Сорбированные газы отложений.
Водорастворенные газы.
Свободновыделяющиеся газы.



Откачка призабойного воздуха вакуумным газоотборным зондом ВГЗ-01 (ООО ПГК «Сибгеоком»)

Скважины различного типа. Реки, ручьи, озера, колодцы. Холодные и термальные источники.

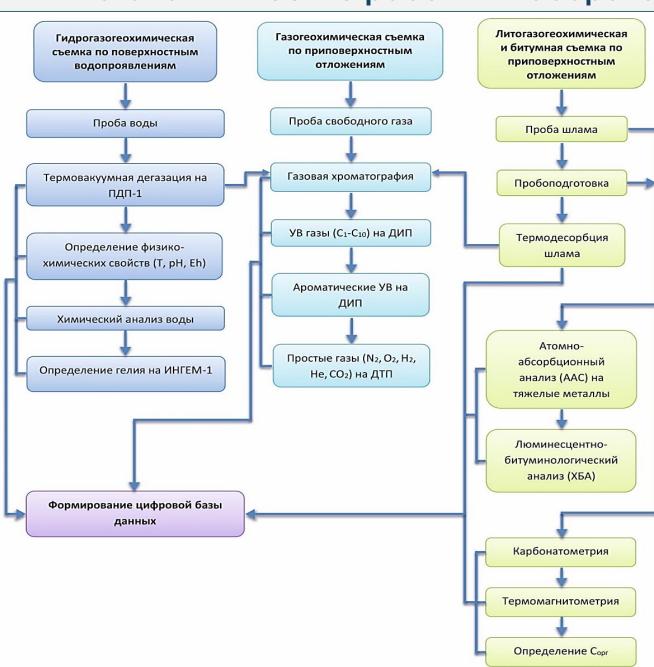


Гидрохимическое опробование.



Гидрологическое опробование.

Химико-аналитические работы в лаборатории ПГК «Сибгеоком»





Химико-аналитическая лаборатория ПГК «Сибгеоком»



Аттестат аккредитации № RA.RU.21CБ09 от 18.05.2015 г. Соответствует требованиям ГОСТ ИОСО/МЭК 17025-2000. Соответствует требованиям ГОСТ ISO 9001-2011 (ISO 9001:2008).

Геохимическое моделирование при поисках водородоперспективных объектов

Переобработка архивных геохимических материалов по глубоким и колонковым скважинам, выделение нефтегазо- и водородоперспективных интервалов, построение параметризованной геолого-геохимической модели профильных разрезов



Предобработка геохимических данных по методам исследований, введение статистических поправок, расчёт трансформант геохимических полей, фильтрация, сглаживание данных



Статистически-вероятностный анализ геохимических данных (одномногомерными методами), определение граничных значений фона и аномалий, проверка гипотез распределения данных



Выбор информативных показателей на основе одно- многомерного анализа данных (кластер-анализ, метод главных факторов), расчет весовых показателей комплексного параметра



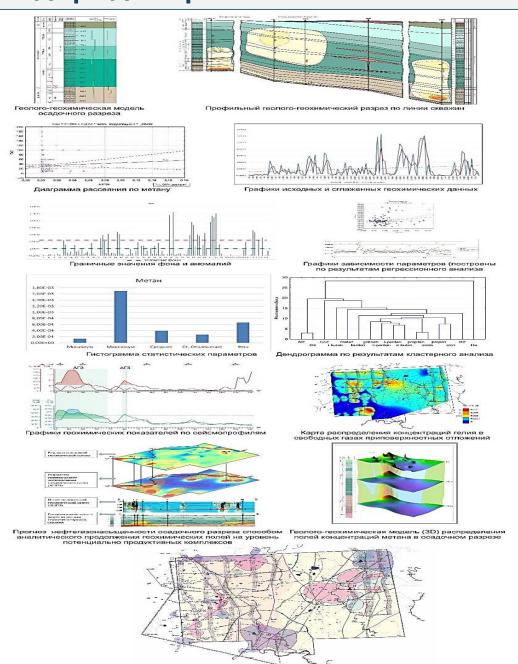
Построение графиков геохимических показателей по сейсмопрофилям, выделение тектонических (ТЗ) и перспективных (АГЗ) зон, построение карт и разрезов



Моделирование (2-3D) геохимического поля в ПК «АПГП» методом диффузионного рассеивания в однородной и слоисто-однородной среде на уровень потенциально продуктивных горизонтов, оконтуривание насыщенных зон коллекторов, выделяемых сейсморазведкой. Решение обратной задачи геохимии.



Районирование территории по нефтегазоперспективности, водородоносности, фазовому насыщению и условиям сохранности. Оценка нефтегазоносности, водородоносности локальных объектов, выделяемых геофизическими методами.



Природный водород – экологически чистое и безопасное топливо будущего!

Приглашаем заинтересованных лиц к сотрудничеству в сфере поисков, добычи и развития природных водородных энергоресурсов.



000 ПГК «Сибгеоком» г. Иркутск, бульвар Рябикова 96 А

тел.: +7(3952) 48-70-24 e-mail: sibgeo@sibanalyt.ru http: sibgeo.sibanalyt.ru