



ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ  
ФАКУЛЬТЕТ  
МГУ ИМЕНИ  
М.В. ЛОМОНОСОВА

*teach-in*  
ЛЕКЦИИ УЧЕНЫХ МГУ

# ИННОВАЦИОННОЕ НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЕ

ГАБДУЛЛИН  
РУСЛАН РУСТЕМОВИЧ

---

ГЕОЛФАК МГУ

---

КОНСПЕКТ ПОДГОТОВЛЕН  
СТУДЕНТАМИ, НЕ ПРОХОДИЛ  
ПРОФ. РЕДАКТУРУ И МОЖЕТ  
СОДЕРЖАТЬ ОШИБКИ.  
СЛЕДИТЕ ЗА ОБНОВЛЕНИЯМИ  
НА [VK.COM/TEACHINMSU](https://vk.com/teachinmsu).

ЕСЛИ ВЫ ОБНАРУЖИЛИ  
ОШИБКИ ИЛИ ОПЕЧАТКИ,  
ТО СООБЩИТЕ ОБ ЭТОМ,  
НАПИСАВ СООБЩЕСТВУ  
[VK.COM/TEACHINMSU](https://vk.com/teachinmsu).



БЛАГОДАРИМ ЗА ПОДГОТОВКУ КОНСПЕКТА  
СТУДЕНТКУ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО ФАКУЛЬТЕТА МГУ  
**ЛЮБИЦКУЮ АЛЬБИНУ ВЛАДИСЛАВОВНУ**



## ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>Лекция 1. Источники энергии: не совсем «зеленая» энергетика.</b>	<b>4</b>
1.1. Введение	4
1.2. Недра. Недропользование	5
1.3. Влияние возобновляемой энергетики	5
1.4. Возобновляемые источники энергии. Проблемные вопросы в сфере применения возобновляемых источников энергии	7
<b>Лекция 2. Инновационные стройматериалы и архитектура</b>	<b>24</b>
2.1. Инновационные стройматериалы	24
2.2. Инновационные подходы в архитектуре. Природоподобные технологии: бионика и геоника	39
2.3. Добыча полезных ископаемых. Примеры рекультивации мест добычи полезных ископаемых	40
<b>Лекция 3. Искусственный интеллект и цифровизация</b>	<b>43</b>
3.1. Реализация искусственного интеллекта	43
3.2. Цифровизация	48
<b>Лекция 4. Инновационное недропользование в Мировом океане</b>	<b>53</b>
4.1. Основные технологии добычи углеводородов в подводных условиях. История освоения подводных ресурсов	53
4.2. Значение и потенциал добычи морских полезных ископаемых	54
<b>Лекция 5. Трудноизвлекаемые запасы</b>	<b>64</b>
5.1. Понятие ТРИЗ	64
5.2. Основные технологии разработки месторождений ТРИЗ	65
5.3. Классификации ТРИЗ	68
5.4. Нетрадиционные запасы	70
5.5. Технологии освоения трудноизвлекаемых углеводородов	72
5.6. Разработка гидратов	74
<b>Лекция 6. Инновационное недропользование в космическом пространстве</b>	<b>78</b>
6.1 Добыча полезных ископаемых в космосе	78
6.2. Технологии добычи полезных ископаемых в космосе	79
6.3. Космический мусор	82
<b>Лекция 7. Переработка отходов горной промышленности</b>	<b>84</b>
7.1. Проблема накопления отходов горной промышленности	84
7.2. Пути решения проблемы накопления отходов	85
7.3. О внесении в Госдуму законопроекта об использовании отходов недропользования	87
7.4. Технологии повторной разработки	89

## **Лекция 1. Источники энергии: не совсем «зеленая» энергетика.**

### **1.1. Введение**

Добыча тех или иных полезных ископаемых производится для генерации энергии или производства каких-либо товаров, поскольку для производства любого вида необходима энергия. В настоящее время получение энергии в основном происходит с использованием природных ресурсов, содержащихся в недрах. Кроме того, для производства любого вида товаров необходима вода, которая также является природным ресурсом. Таким образом, одним из ключевых факторов для промышленности и экономики является генерация энергии, напрямую связанной с природными ресурсами.

С другой стороны, когда речь идет о «зеленых» технологиях, возобновляемых источниках энергии (например, электромобилях), важно понимать, откуда берется электричество, используемое для обеспечения этих технологий. Например, если оно появляется благодаря сожжению угля – массовое использование автомобилей, работающих на таком электричестве, вряд ли можно считать решением проблемы глобального потепления климата, бережного отношения к ресурсам и решением проблемы накопления отходов.

Необходимо понимать, что при любом производстве возникают отходы, и как их минимизировать, какими способами их перерабатывать – важные вопросы, поскольку это приведет к меньшему потреблению тех природных ресурсов, которые мы имеем.

Многие из имеющихся природных ресурсов являются невозобновляемыми, поскольку на их образование ушли миллиарды лет. Другие, например, железистые кварциты, массово накапливались в докембрийскую эпоху в условиях перехода от бескислородной атмосферы к кислородной, в настоящее время таких условий в принципе не существует. Таким образом, многие полезные ископаемые действительно конечны и на их воспроизводство уходят сотни миллионов лет, а темпы их потребления измеряются веками.

Этот курс связан с курсом «Глобальная экология», в котором речь идет о семи основных глобальных экологических проблемах, одной из которых является преодоление проблемы накопления отходов, а другие проблемы так или иначе связаны с водой и другими природными ресурсами. Также этот курс связан с курсом «Международное сотрудничество и решение глобальных экологических проблем», где рассматривается международное сотрудничество в рамках экологической политики по преодолению тех или иных глобальных экологических проблем.

Но если в других курсах речь шла о возобновляемых источниках энергии, как о хорошей альтернативе традиционным энергоносителям, данная лекция предлагает рассмотреть объективно-критический взгляд на новые «зеленые» технологии и на то, действительно ли они являются такими «зелеными», а их использование возможно и



экономически рентабельно, когда возможно этого достичь и не будет ли от этих технологий столько же или еще больше косвенного вреда.

## 1.2. Недра. Недропользование

**Недра** - это часть земной коры, расположенная ниже почвенного слоя, а при его отсутствии - ниже земной поверхности и дна водоемов и водотоков, простирающаяся до глубин, доступных для геологического изучения и освоения.

**Недропользование** – это деятельность в области геологического изучения, использования и охраны недр, использования отходов добычи полезных ископаемых, специфических минеральных ресурсов, подземных вод, включая попутные воды и вод, использованных пользователями недр для собственных производственных и технологических нужд.

Например, при открытом способе добычи при помощи карьера при разработке полезные ископаемые накапливаются в большом количестве. Вокруг такого карьера возникают огромные территории, на которых складировются *отвалы* – породы вскрыши (та порода, которую необходимо «снять» на пути к полезному ископаемому). При хорошем раскладе возможна добыча сразу нескольких полезных ископаемых, как было в карьере Курской магнитной аномалии, где изначально велась добыча железа, но вместе с тем стало возможным использовать сопутствующие полезные ископаемые, например, в качестве строительного материала (пески). При таком использовании остается меньше ненужных отходов, которые необходимо складировать в виде больших куч – *терриконов*. Недропользование связано с подземными водами. *Вода – главное полезное ископаемое*, поскольку без воды невозможно ни одно производство.

Таким образом, недра можно использовать для производственных и технологических нужд в различных масштабах. Использование недр, в том числе тех природных ресурсов, которые являются невозобновляемыми, нужно делать максимально корректно и бережно по отношению к окружающей среде, поскольку отходы не исчезают сами по себе.

## 1.3. Влияние возобновляемой энергетики

Владимир Путин, выступая на Глобальном саммите по производству и индустриализации в Екатеринбурге в 2019 году, заявил о негативном влиянии возобновляемой энергетики. «Все знают, что ветровая генерация хороша, но про птиц разве вспоминают в этом случае? Сколько птиц гибнет из-за ветряков? Они так трясутся, что червяки вылезают из земли».

Действительно, люди не задумываются о том, как ветрогенераторы, о которых говорил В.В. Путин, могут влиять на окружающую среду. Во-первых, они приводят к замедлению скорости водных потоков и изменению климата, порождают вибрации (звуковое загрязнение). От многих установок, которые используют возобновляемые источники энергии, гибнут птицы и насекомые, в том числе пчелы. Таким образом, иногда использование подобных технологий не проходит без негативного воздействия на окружающую среду. Это означает, что либо нам следует научиться использовать

энергию водного потока, солнечного тепла и ветра по-другому, либо не заявлять о том, что необходимо массово переходить на другие источники генерации энергии.

Бил Гейтс заявил, что «Всякий раз, когда мы произносим термин «чистая энергия», я думаю это запутывает людей, потому что они не знают, что это, они не понимают. Нет ничего, что может заменить то, как работает сегодняшняя индустриальная экономика».

Действительно, на сегодняшний день мощностей возобновляемых источников энергии не хватит для всех энергетических нужд. Но постепенное удешевление генерации энергии позволяет делать «зеленые» источники энергии все более конкурентоспособными.

Также существует такая проблема, как утилизация солнечных батарей, ветрогенераторов и других установок по генерации энергии, получаемых «зеленым» способом. Нет четкого понимания о том, возможно ли и насколько возможно перерабатывать эти установки, сколько это будет занимать времени и ресурсов, включая электроэнергию и воду, сколько это будет стоить. Рано или поздно массово начнут накапливаться новые отходы, в частности, - отходы, связанные с вышедшими из строя батареями и аккумуляторами, многие из которых состоят из трудноразлагаемых или вовсе не разлагаемых в природе композитов – правильно бы было закладывать стоимость утилизации в себестоимость генерируемой энергии.

Если приводить статистику (рис. 1.1), можно отметить, что максимальный вклад в насыщение атмосферы парниковыми газами, вызывающими изменение климата в сторону потепления, вносит уголь. Также можно увидеть, что во многих странах, где энергия генерируется путем сжигания угля (США, Китай), статистика показывает высокое количество смертей и заболеваний (астма, различные заболевания легких, разные формы аллергии).

Далее за углем идут нефть, газ, биогаз и четыре источника возобновляемой энергии: солнечный, ветровой, атомная энергетика (условно возобновляемый) и источник энергии движущегося потока воды. Их вклад в изменение климата и вред здоровью населения минимальный. Это один из вариантов той статистики, которая существует.

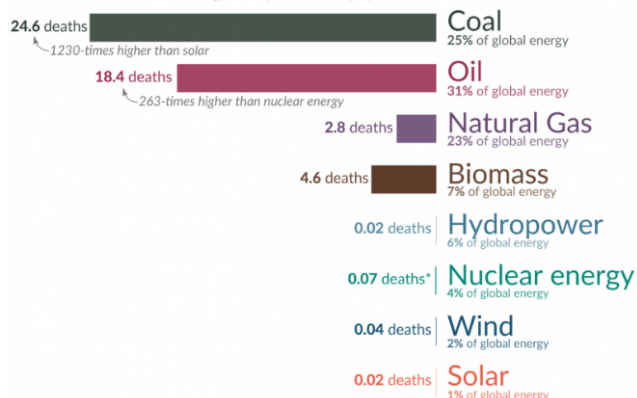
Посмотрев на такое распределение, становится понятно, что сжигание углеводородов и углеродосодержащих полезных ископаемых действительно приводит к потеплению. Более того, уголь, газ и нефть являются невозобновляемыми природными ресурсами, поскольку темпы их использования человечеством превышают темпы их возможного образования.

## What are the **safest** and **cleanest** sources of energy?

Our World  
in Data

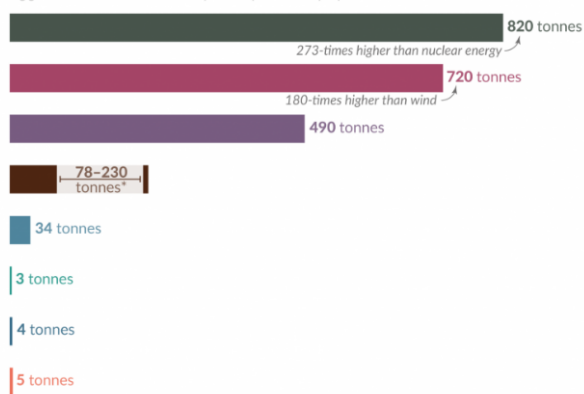
### Death rate from accidents and air pollution

Measured as deaths per terawatt-hour of energy production.  
1 terawatt-hour is the annual energy consumption of 27,000 people in the EU.



### Greenhouse gas emissions

Measured in emissions of CO<sub>2</sub>-equivalents per gigawatt-hour of electricity over the lifecycle of the power plant.  
1 gigawatt-hour is the annual electricity consumption of 160 people in the EU.



\*Life-cycle emissions from biomass vary significantly depending on fuel (e.g. crop residues vs. forestry) and the treatment of biogenic sources.

\*The death rate for nuclear energy includes deaths from the Fukushima and Chernobyl disasters as well as the deaths from occupational accidents (largely mining and milling).

Energy shares refer to 2019 and are shown in primary energy substitution equivalents to correct for inefficiencies of fossil fuel combustion. Traditional biomass is taken into account.

Data sources: Markandya & Wilkinson (2007); Sovacool et al. (2016); IPCC AR5 (2014); Pehl et al. (2017); BP (2019); Smil (2017).

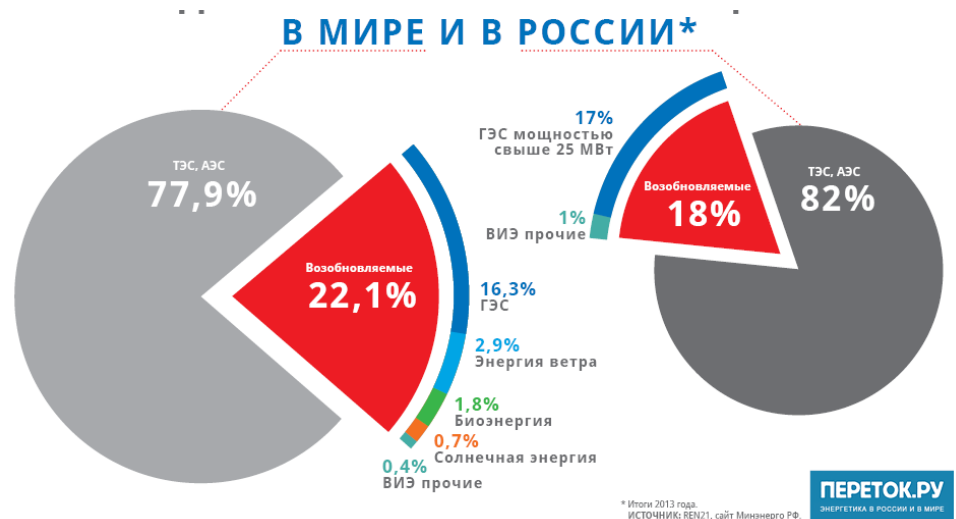
OurWorldinData.org – Research and data to make progress against the world's largest problems.

Licensed under CC-BY by the authors Hannah Ritchie and Max Roser.

Рис. 1.1. Статистика влияния источников энергии на атмосферу, а также жизнь и здоровье человека

### 1.4. Возобновляемые источники энергии. Проблемные вопросы в сфере применения возобновляемых источников энергии

По диаграмме на рис. 1.2 видно, что доля возобновляемых источников энергии в энергогенерации в мире и в России составляет примерно одну пятую от всей энергии, что добывается. При этом в настоящий момент и в России, и в мире доминирует генерация электричества при помощи энергии движущегося потока воды. На втором месте находится энергия ветра, затем солнечная энергия и некоторые другие источники энергии (геотермальные, приливные и др).



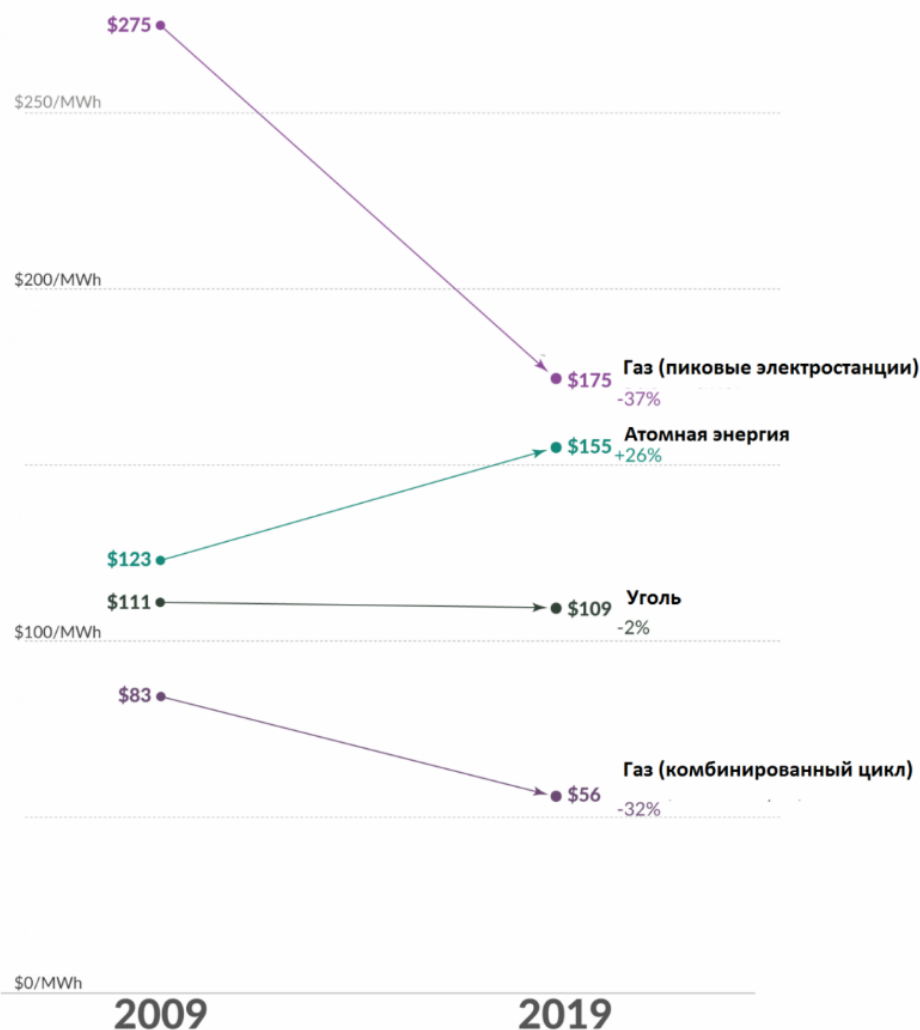
\* Источники: REN21, сайт Минэнерго РФ

ПЕРЕТОК.РУ  
ЭНЕРГЕТИКА В РОССИИ И В МИРЕ

Рис. 1.2. Доля возобновляемых источников энергии в энергогенерации в мире и в России

Очевидно, что большую часть энергии генерируют теплоэлектростанции (при сжигании углеводородов) и атомные электростанции. В перспективе доля атомной энергетики будет увеличиваться, и атомная энергетика постепенно заменит теплоэлектростанции. В целом, доля традиционных энергоносителей постепенно будет уменьшаться одновременно с увеличением доли электричества, генерируемой возобновляемыми источниками энергии.

Если мы посмотрим на стоимость энергии за 10 лет (рис. 1.3), видно, что цена на уголь практически не изменилась и, соответственно, стоимость энергии тоже не изменилась.



Data: Lazard Levelized Cost of Energy Analysis, Version 13.0

OurWorldinData.org – Research and data to make progress against the world's largest problems. Licensed under CC-BY by the author Max Roser.

Рис. 1.3. Стоимость энергии от разных типов станций (нормированная стоимость электроэнергии, НСЭ, LCOE, <https://habr.com/ru/company/ruvds/blog/546672/>)

Стоимость энергии, которую вырабатывают атомные электростанции, слабо, но растет; энергия, полученная при сжигании газа, потеряла в цене. На рис. 1.3 приведены два вида расчета.

Изменение курса стоимости нефти, газа и других полезных ископаемых на бирже периодически изменяется приводит к изменению стоимости энергии, которую мы получаем.

Что же происходит с инновационными энергетическими технологиями? На рис. 1.4 красная линия обозначает стоимости энергии, получаемой за счет солнца. Мы можем заметить, что, действительно, ее себестоимость очень сильно упала. По мере ввода все большего количества станций, ее себестоимость уменьшается. Более того, цена солнечной энергии ниже цены энергии, получаемой из угля, атомной энергии и энергии, образующейся при сжигании газа. Это дает нам возможность говорить о том, что по мере совершенствования технологий возобновляемые источники энергии действительно становятся рентабельными. Другое дело, что у них есть определенные минусы с точки зрения воздействия на окружающую среду и с точки зрения их возможной утилизации, о которой на сегодняшний день люди практически не задумываются.

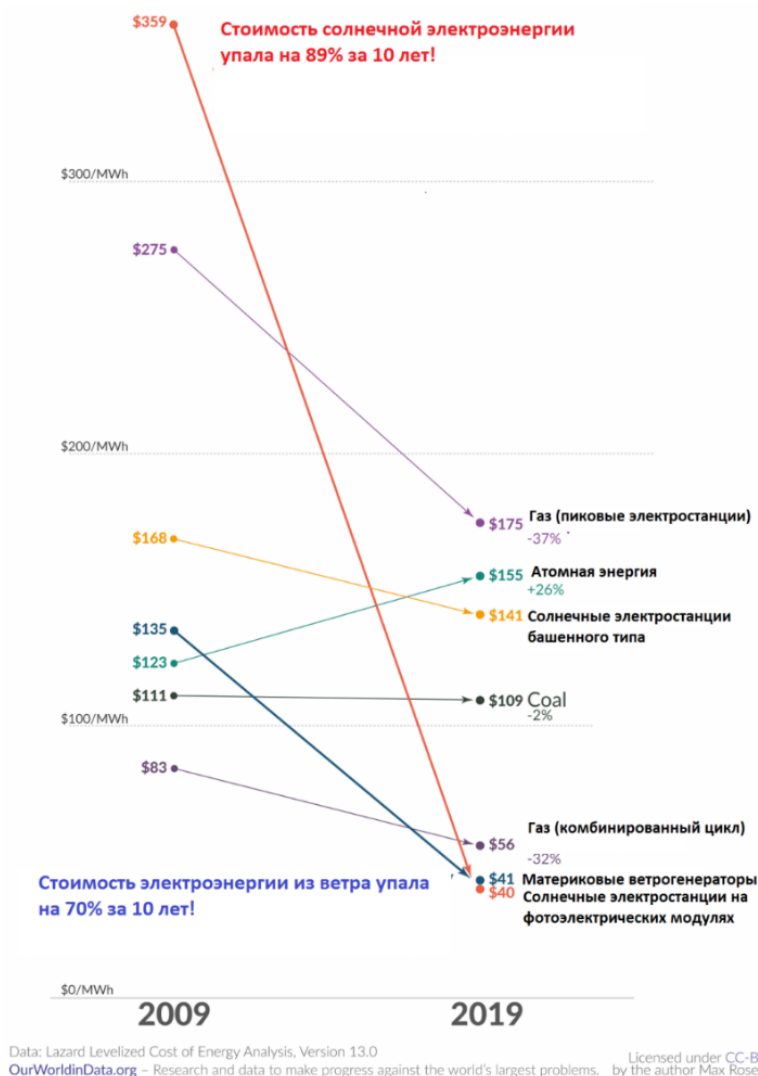


Рис. 1.4. Стоимость энергии от разных типов станций (нормированная стоимость электроэнергии, НСЭ, LCOE)

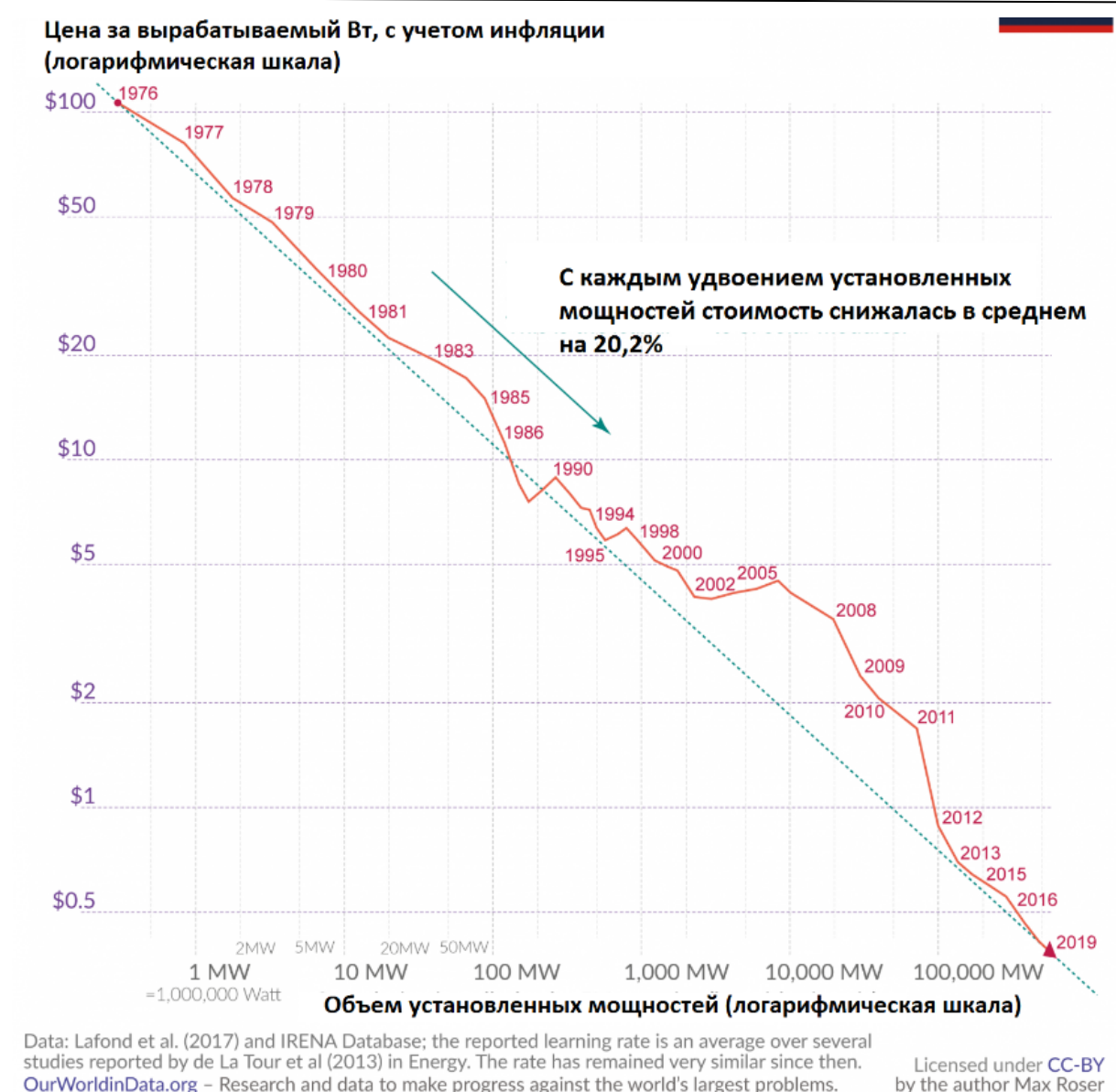


Рис. 1.5. Стоимость солнечных батарей с 1976 по 2019 гг

Стоимость солнечных батарей (рис. 1.5) с 1976 по 2019 года упала от приблизительно 100 долларов до 50 центов. Этому поспособствовало совершенствование технологий и, в том числе, их производства. При снижении себестоимости самой установки, принимающей энергию солнечного света, снижается цена и на электричество, которое она генерирует. С каждым удвоением установленных мощностей стоимость снижалась в среднем на 20% - чем больше установок, тем ниже цена, поскольку все более теряющая в цене энергия начинает конкурировать с другими видами энергии, все больше потребителей ее выбирают, что, соответственно, позволяет инвестировать в новые установки.

На рис. 1.6 представлено сравнение динамики стоимости разных видов электроэнергии. Например, цена энергии, получаемой при сжигании угля, не меняется,

цена энергии от атомной энергетики растет, по всем остальным источникам цена энергии удешевляется.

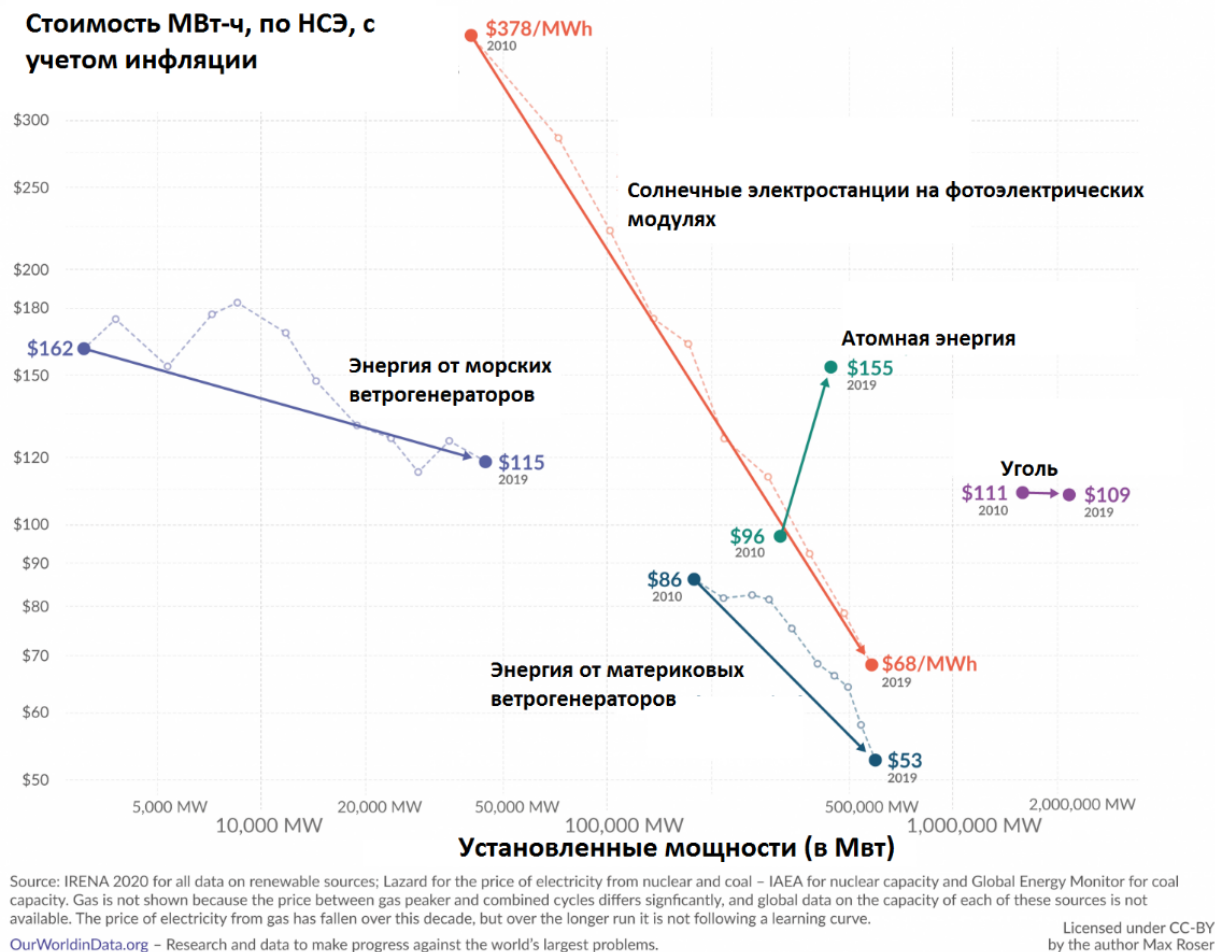


Рис. 1.6. Сравнение динамики стоимости разных видов электроэнергии

Франция и Великобритания планируют с 2040 года запретить продажу всех новых автомобилей, работающих на бензине или дизельном топливе, а к 2050 году автомобили с двигателем внутреннего сгорания должны и вовсе исчезнуть с дорог. При этом существует ряд проблем, о которых не всегда говорят. Например, огромное количество людей работает в двигателестроении, в результате подобных изменений они потеряют работу. Не нужны становятся заводы и фабрики, производящие автомобильные двигатели, не нужны предприятия, которые добывали металл и другие компоненты, необходимые для производства составных частей этих двигателей.

Однако есть и другие проблемы:

#### 1. Батареи не обеспечивают большого запаса хода

- пробег на одном заряде ограничен несколькими сотнями километров
- автомобиль нужно оставлять на зарядной станции на несколько часов

С другой стороны, энергетики работают над системой быстрой зарядки, которая позволяет заряжать автомобиль за минуты. Например, новый Hyundai Ioniq 5 с помощью



подобной зарядки может получить 80% заряда батареи всего за 18 минут, при этом на полном заряде он проезжает 470-480 км.

В конце 19-го века, во времена активной технологической эволюции автомобилей также происходило активное развитие двигателей внутреннего сгорания. И в то время, как двигатели были все еще несовершенны, шумели и доставляли дискомфорт, электромобили были бесшумными и тихими, работали на аккумуляторах.

Дело в том, что в 1986 году в Нью-Йорке были разработаны такие автомобили, в которых под водительским местом располагались аккумуляторные батареи. Принцип их замены напоминал принцип замены картриджей принтера. Пока таксист ожидал заказа, старый аккумулятор снимался, устанавливался.

## **2. Производство батарей и электричества неэкологично**

Более трети электроэнергии, которая производится в мире, образуется за счет сжигания угля, — а это один из самых грязных источников энергии. С тем, что использование угля — проблема, которую нужно решать, согласен и идеолог электротранспорта Илон Маск. Проблема в том, откуда берется электричество для батарей.

Когда речь заходит об электромобилях и их заряде, человек не задумывается о том, что это за электричество. Если такое электричество нужно будет получать в еще больших количествах и для этого нужно будет сжигать еще больше угля, газа или нефтепродуктов, то такие электромобили с точки зрения окружающей среды вовсе не будут «зелеными». Более того, вред от еще большего сжигания углеводородов с точки зрения трансформации в электричество будет еще больше, и климат будет теплеть от появления еще больших объемов парниковых газов. Поэтому существуют определенные ограничения, связанные с использованием электромобилей.

Утилизация самих батарей – очень сложный и дорогой процесс. Процесс сбора такого типа отходов ведется отдельно (например, пункты приема использованных батареек). Переработка таких отходов составляет отдельный технологический цикл. Для переработки любой аккумуляторной батареи, в независимости от размера, необходимы электричество и вода.

Например, производство литий-ионных аккумуляторов, которые используются в большинстве электромобилей, тоже неэкологично. Для добычи этого редкоземельного элемента требуется гигантское количество воды, которую выкачивают из недр. Из-за этого в Атакаме осушаются оазисы и погибают животные.

*Проблема в том, что для электричества нужна вода.* Человечество тратит воду, которой и так мало, вода превращается в электричество. С точки зрения воздействия на окружающую среду по оценкам аналитиков к 2030 году начнутся миграции, связанные с дефицитом воды, а к 2050 году могут начаться войны из-за нехватки воды.



Места, в которых добывают литий, превращаются в *солончаки* – соль развевается на большие расстояния (рис. 1.7). Это влияет на здоровье населения – вызывает аллергию, астму и т.д.



Рис. 1.7. Солончак

Откуда берется литий? Этот металл добывают либо из рассолов, либо из твердой горной породы. Если увеличить добычу лития в три раза, добытого металла нам хватит на 185 лет. Но надо понимать, что сегодня электромобили еще не пользуются широкой популярностью. Если предположить, что все автомобили в мире станут электромобилями, то запаса лития хватит на существенно меньший срок.

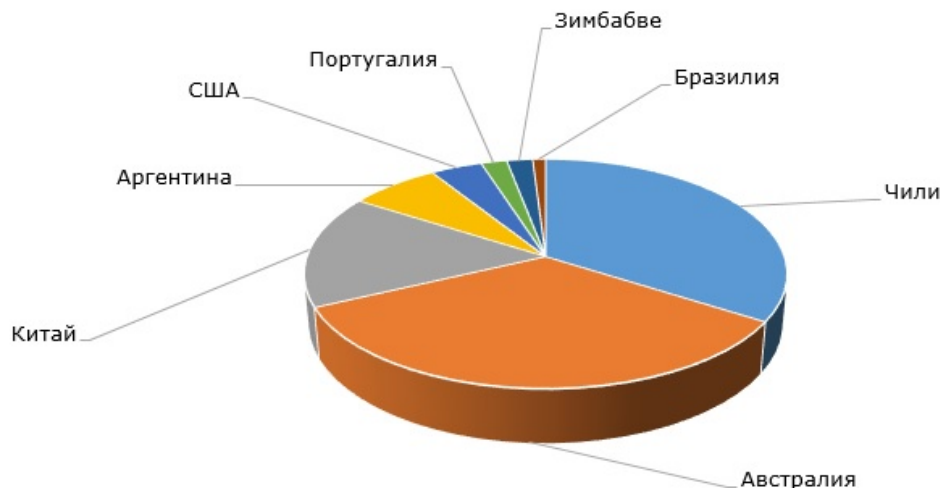


Рис. 1.8. Распределение лития в странах мира

Основные запасы лития в мире сосредоточены в странах, перечисленных на рис. 1.8. Как можно отметить, России на диаграмме нет, соответственно, нашей стране придется закупать литий. Насколько будет рентабельно использование такой технологии в тех странах, где не ведется добыча лития?

46% лития расходуется на аккумуляторные батареи, почти 27% - на керамику и стекло, 7% на смазки, 5% на полимеры и т.д. (рис. 1.9).

Из чего состоит обычный автомобиль с двигателем внутреннего сгорания и электромобиль можно наблюдать на рис 1.10.

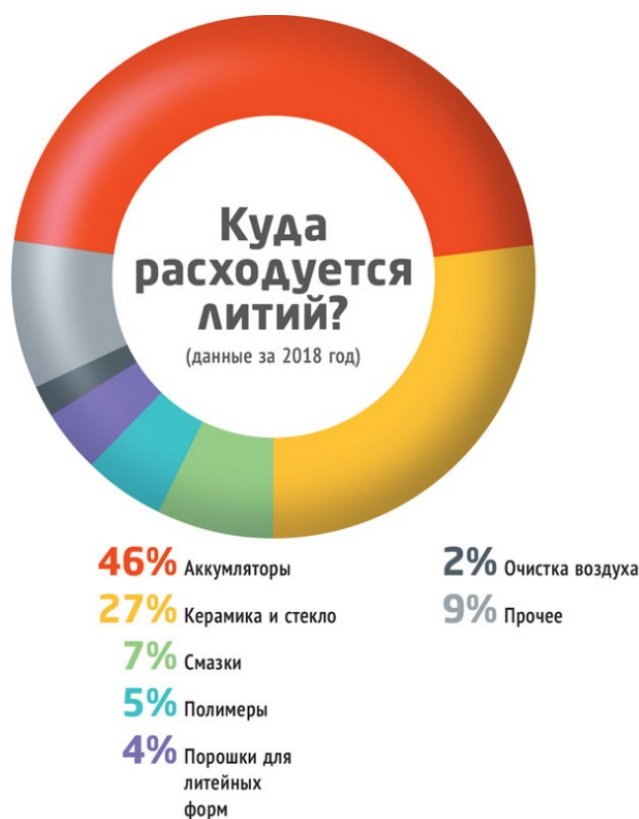
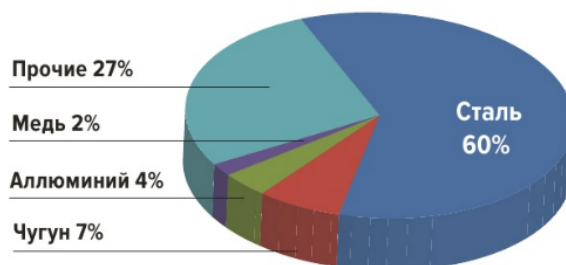


Рис. 1.9. Куда расходуется литий

#### Традиционный автомобиль / Conventional vehicle



#### Электромобиль / Electric vehicle

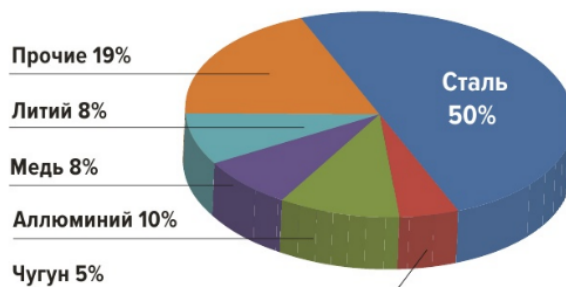


Рис. 1.10. Сравнение состава двигателя внутреннего сгорания и двигателя электромобиля

Электромобиль по вещественному химическому составу близок к традиционному автомобилю, но 8% лития, на которые они различаются – это очень много. Возникает проблема: необходимо отказаться от лития и искать другие технологии, способные обходиться без него. По мере того, как будет возникать дефицит лития, стоимость его будет расти и, следовательно, стоимость электромобилей так же будет расти.

«Чтобы производить 500 000 автомобилей в год, нам придется закупать весь литий в мире», — заявил Илон Маск на презентации Model 3 в конце марта 2016 года. Надо понимать, что литий используется и в других целях (например, для производства батарей смартфонов). При этом в общем в мире производится чуть менее 100 млн автомобилей в год. Таким образом, 500 000 автомобилей составляют всего лишь 0.5% от общего числа.

### **3. Электромобили негде заряжать**

Количество электрокаров в мире едва достигает 1%, а их владельцы уже испытывают проблемы с зарядными станциями — те часто не работают. Если количество электротранспорта будет расти в геометрической прогрессии, нагрузка на электросети серьезно возрастет, так как быстрые зарядки потребуют более высоких напряжений и токов заряда.

На заправку полного бака автомобиля с традиционным двигателем уходит несколько минут. Для полной зарядки электромобиля сегодня требуется несколько часов, из-за чего нужно полностью менять подход к тому, чем увлечь клиентов на это время. По идее, АЗС должны превратиться в досуговые и деловые центры, но предпосылок к этому пока нет.

### **4. На электрокарах сложно заработать**

Китай выделяет субсидии на производство электрокаров и устанавливает зарядные станции за счет бюджета, в Швейцарии электромобили избавили от ввозной пошлины, а Германия инвестирует в исследования по усовершенствованию электротранспорта.

Но если отменить поддержку государства, начинаются проблемы. В странах, где власти отменили субсидии на покупку электрокаров, продажи сразу же провалились. Электромобили пока не выдерживают конкуренции со стороны традиционного транспорта.

### **5. Батареи иногда взрываются**

Литий-ионные батареи имеют такое неприятное свойство, как взрывоопасность. Из-за этого авиакомпании до сих пор отказываются перевозить аккумуляторы такого типа.

Электромобили очень быстро сгорают, если попадают в аварию. Более того, металлический литий вступает в реакцию с водой и образует водород, потому тушить литиевые аккумуляторы водой нельзя.

## Возможные альтернативы

Водородный двигатель гораздо экологичнее двигателя внутреннего сгорания (ДВС), так как вообще не выделяет вредных для окружающей среды газов, при этом имеет гораздо более высокий коэффициент полезного действия (КПД). На одной заправке водородные автомобили уже сейчас могут проезжать до 500 километров, а заправка водородом длится не дольше, чем бензином.

Но есть проблема —приходится обходиться электролизом: под электрическим током дистиллированная вода разлагается на водород и кислород. К сожалению, сейчас для массового производства водорода дешевле всего получать электроэнергию при помощи сжигания газа или угля.

Должна существовать альтернатива традиционным электростанциям, на которых сжигается уголь, нефтепродукты или газ. Например, это может быть генерация при помощи ветра. Но ветрогенерация также имеет свои негативные стороны воздействия:

- шумовое загрязнение – негативно влияет на человека, такие генераторы невозможно строить в центре городов; постройка ветропарка в отдаленной от города местности может вызвать возмущение жителей дачных поселков и владельцев частных домов, цена на жилье резко упадет
- «мелькание» лопастей – отражение солнечных бликов
- изменение погоды и климата (климат становится менее влажным и более континентальным) – связано с замедлением движения ветровых масс
- нарушение природного ландшафта, эстетики
- отказ при обледенении и низких температурах
- гибель животных (рис. 1.11)
- сложная утилизация



Рис. 1.11 Самые распространённые причины гибели птиц в США (ежегодно)

В зависимости от близости к ветряной установке уровень шумового загрязнения изменяется (рис. 1.12). У самой установки он может превышать 100 ДБ, что сопоставимо с шумом от газонокосилки.

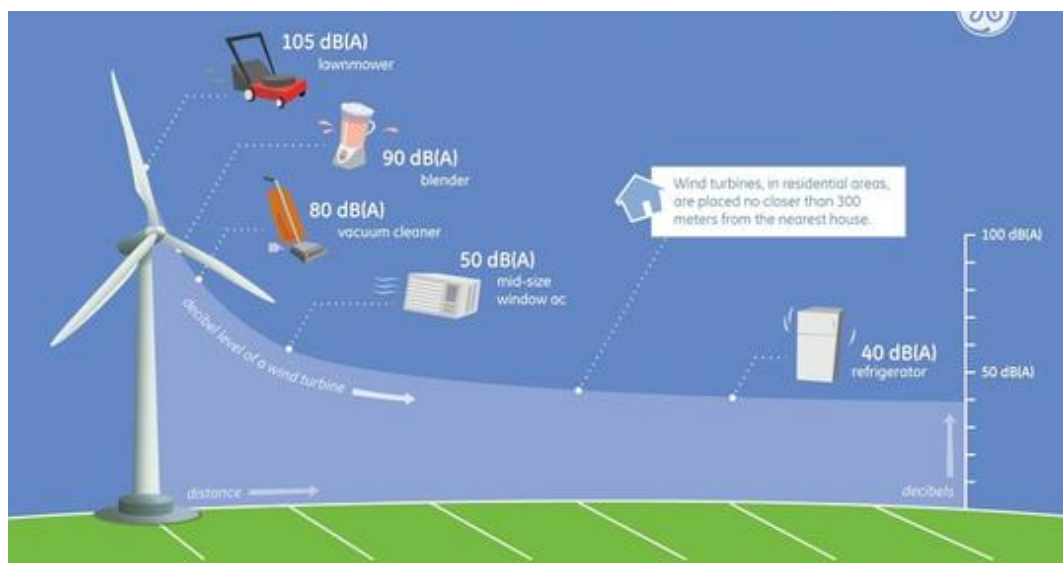


Рис. 1.12. Шумовое загрязнение

Ветряные установки падают при шквальных ветрах или смерчах, что является угрозой для населения и построек, находящихся вблизи расположения ветропарков (рис. 1.13).



Рис. 1.13 Падение ветряной установки вследствие шквального ветра

Кроме того, существует опасность возгорания ветряных установок, и потушить их очень сложно из-за их размеров. Пожар возникает из-за того, что происходит перегрев, например, смазка забивается пылью, замерзает в условиях низких температур или засыхает в условиях высоких температур. Все это ведет к перегреву, вследствие трения возникает пожар.



Ветряные установки строят на определенной высоте, рассчитанной в соответствии с силой потока воздуха (она должна быть максимальной, чтобы извлечь больше возможностей генерировать энергию). Также, их могут устанавливать в воде (рис. 1.14), при этом их обслуживание значительно усложняется.



Рис. 1.14. Ветряные установки в воде

Фотоэлектрические батареи (рис. 1.15) требуют определенного пространства для их расположения, поскольку нужна площадь для сбора солнечного света. Также их необходимо очищать.



Рис. 1.15 Фотоэлектрические батареи



Рис. 1.16 Покрытие поверхности мирового океана фотоэлектрическими батареями

Существует проект по покрытию поверхности мирового океана фотоэлектрическими батареями (рис. 1.16). Но в этом случае возникают следующие трудности: обитатели гидросферы лишатся солнечного света, что скажется на их жизнедеятельности; спланировать расположение установок необходимо таким образом, чтобы шторм или сильные течения не разрушили целостность установки.

Также существуют крупные солнечные станции, совмещенные со станциями, получающими энергию от солнечного тепла, а не света. Такие станции представляют собой систему параболических антенн, которые проецируют на центральную башню солнечные лучи. На вершине центральной башни расположена емкость с субстанцией, напоминающей трансформаторное масло, которая разогревается вследствие проекции. Вода, находящаяся рядом с емкостью, закипает, и получившийся пар крутит турбину, что дает электрическую энергию (рис. 1.17). Нагрев происходит с помощью теплоотражателей, расположенных вокруг башни.



Рис. 1.17 Тепловая установка

Но такие установки также крайне опасны для птиц и насекомых, поскольку они не видят отражающихся солнечных лучей и сгорают, пролетая на пути распространения света.

### **Солнечные (световые) парки**

По оценкам Международного энергетического агентства, солнечная энергия может обеспечить 20-25% глобальной энергии к 2050 году. Для этого предлагается располагать солнечные панели на крышах зданий. Но, так же как и ветряные парки, постройка солнечных парков создает ряд проблем:

- необходимость использования больших площадей
- ослепление бликами
- изменение погоды и климата (нарушение циркуляции воздуха)
- нарушение природного ландшафта, эстетики
- поверхность солнечных панелей и зеркал нужно очищать от загрязнений

- сложная утилизация
- гибель птиц и насекомых

Солнечные панели содержат металлы, такие как свинец, медь, галлий и кадмий, синтетические материалы. Их основа изготавливается из алюминия. Исходным материалом для изготовления солнечных батарей служит ядовитый и взрывоопасный трихлорсилан. При его перегонке и восстановлении водородом, получают чистый кремний. Побочным продуктом, на этом этапе производства, является соляная кислота. Далее, кремний плавят и получают слитки, из которых делают элементы солнечных батарей.

### Волновые гидроэлектростанции (ГЭС)

С точки зрения воздействия на окружающую среду – наименее вредоносные. Существуют различные технологии их применения (рис. 1.18).

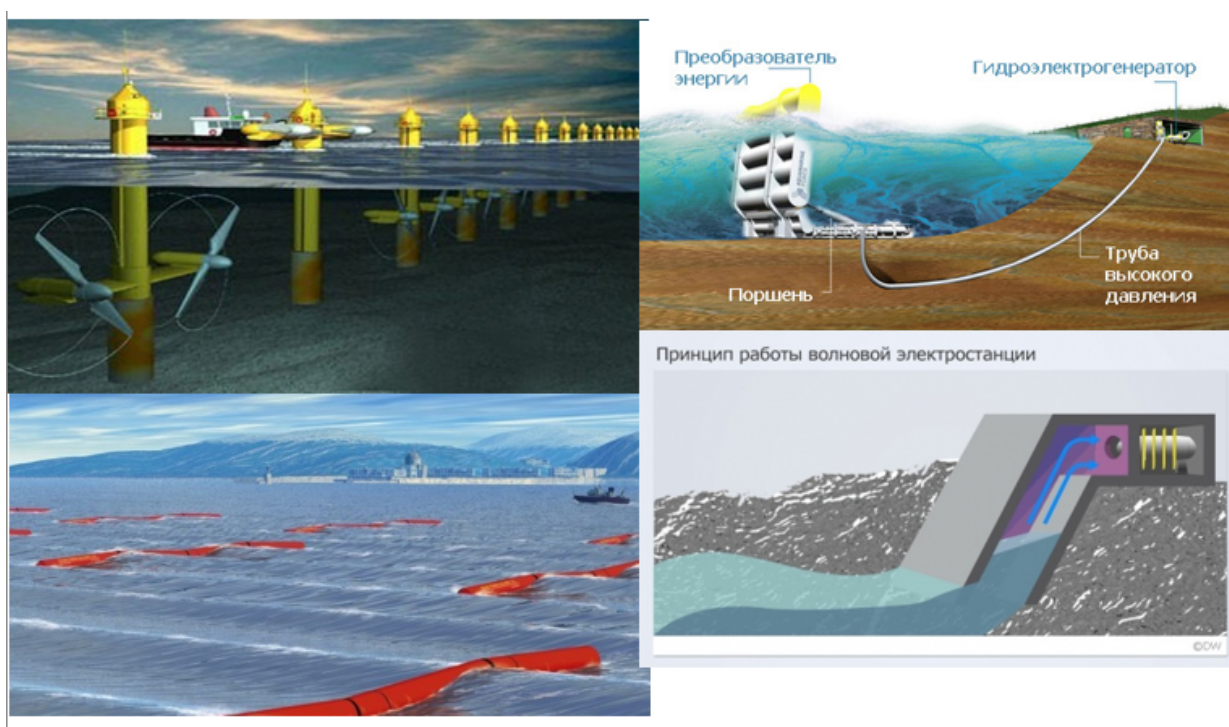


Рис. 1.18 Волновые ГЭС

### Приливные ГЭС

Благодаря гравитационному воздействию Луны, Солнца и Юпитера на Земле приливы и отливы происходят два раза в день. При этом возникают нагонные потоки воды, которые можно использовать для генерации энергии (рис. 1.19). Например, при приливных течениях воды заходит в бухту – возможно генерировать энергию. При отливе уровень воды падает и воду можно сливать из водохранилища, турбина будет вращаться в обратную сторону. Таким образом, возможно дважды вырабатывать электроэнергию.



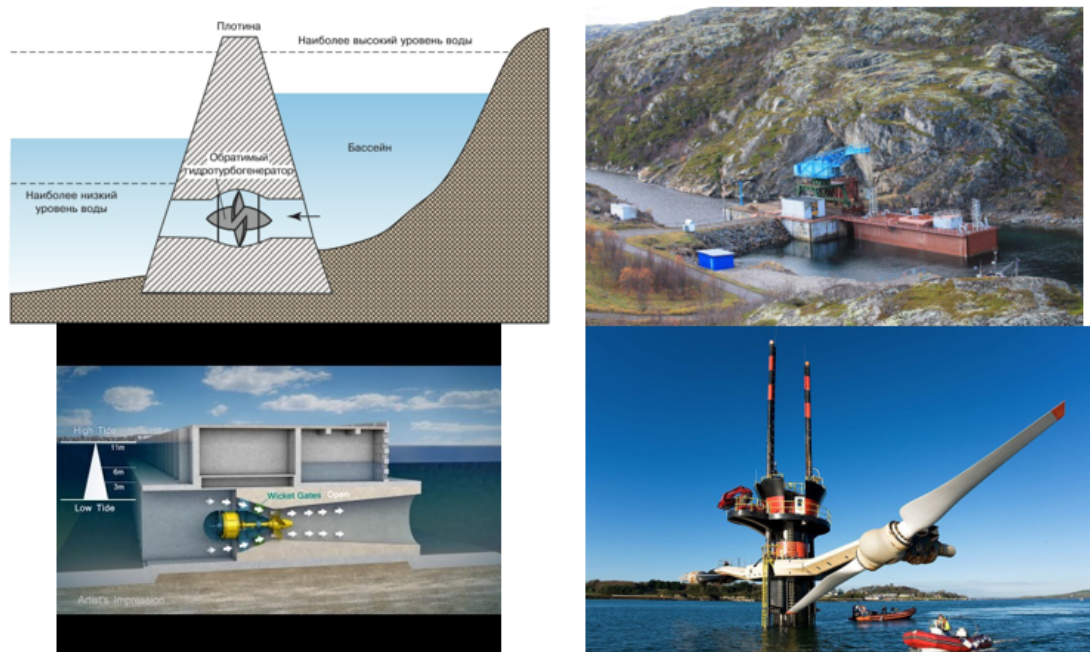


Рис. 1.19 Приливные ГЭС

### Осмотическая ЭС

Станция работает посредством явления осмоса (рис. 1.20). Через полупроницаемую мембрану, разделяющую резервуары с пресной и морской водой, пытаясь уровнять концентрацию, будет проходить вода. В отсеке будет возникать чрезмерное давление и воду можно под давлением выпускать, что будет раскручивать турбину и генерировать электроэнергию.

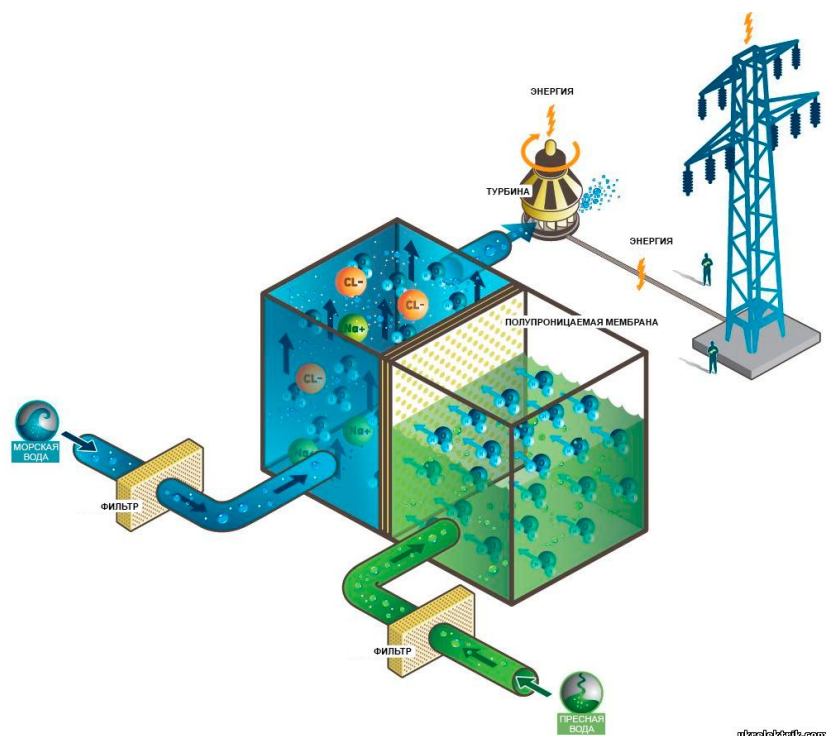


Рис. 1.20 Осмотическая ЭС

Есть предложение ставить такие плотины в местах, где происходит слив минерализованных отходов заводов и фабрик или где реки впадают в моря или океаны. Но надо понимать, что построение такой плотины с полупроницаемой мембраной создаст трудности для перемещения водных обитателей.

### Геотермальные электростанции (ГЕОЭС)

Станции используют энергию недр Земли (рис. 1.21). В местах вулканической и магматической активности находятся гейзеры, представляющие собой геотермальную активность. Можно пробурить несколько скважин, через одну из которых закачивать воду, а из других получать горячую воду, практически рассол. Затем полученная вода будет нагревать емкость с обычной водой, и при помощи пара возможно генерировать электрическую энергию.

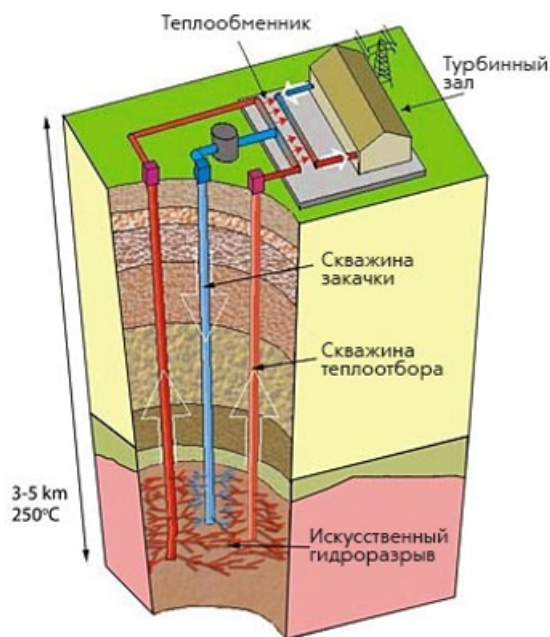


Рис. 1.21 ГЕОЭС

Такие станции не занимают много места и красиво вписываются в рельеф, но вред от них все же существует.

На статистике генерации электроэнергии по странам (рис. 1.22) можно отметить, что в некоторых странах этот вид добычи энергии уже довольно популярен.

Через эксплуатационную скважину могут выделяться горючие или токсичные газы или минералы, содержащиеся в породах земной коры. Ущербом для окружающей среды может стать высокое потребление пресной воды, что, в конечном результате, приведет к ее дефициту. Жидкости, которые извлекаются из земли в процессе бурения, содержат большое количество токсичных химических веществ (в том числе мышьяка и ртути), а также парниковых газов (таких как сероводород, диоксид углерода, метан, аммиак и радон). Если они неправильно утилизируются или обрабатываются, то могут попасть в атмосферу или просочиться в грунтовые воды и нанести ущерб окружающей

среде и здоровью людей. В некоторых случаях их можно сифонировать (собрать) и переработать в горючее (нефть-сырец или природный газ, например).

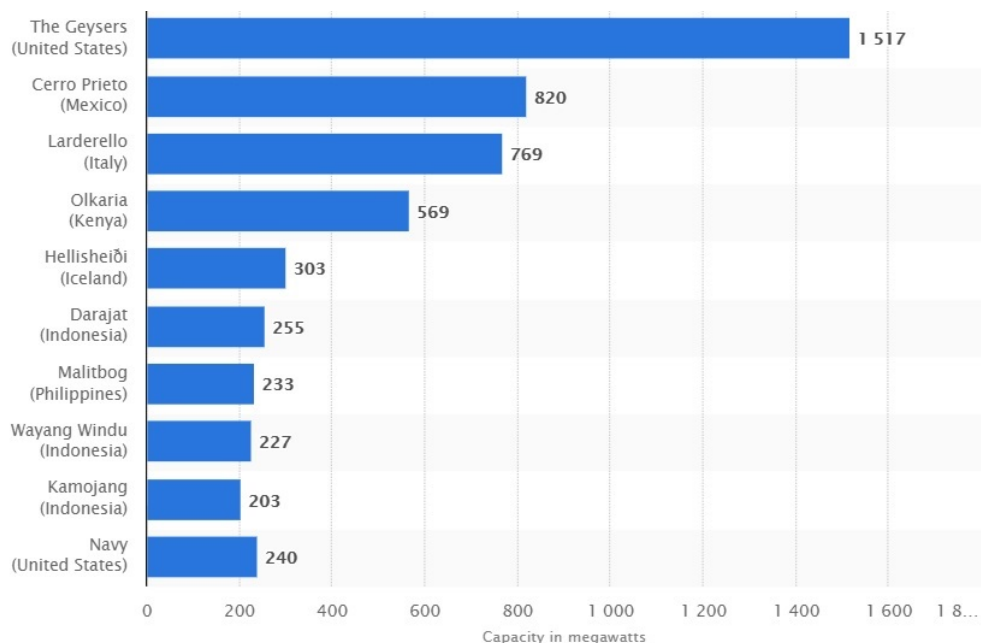


Рис. 1.22 ГЕОЭС, 2018

Подводя итоги сегодняшней лекции, можно сделать следующие *выводы*:

**1. Затраты на передачу энергии намного выше, чем у других видов электроэнергии**

Исследование, проведенное Международным энергетическим агентством в 2014 году, показывает, что затраты на передачу для ветра примерно в три раза превышают затраты на передачу электроэнергии от угля или ядерной энергии.

**2. Стоимость утилизации ветряных турбин, солнечных батарей и накопителей должна быть отражена в смете расходов**

**3. Возобновляемые источники не могут напрямую заменить многие устройства и процессы, которыми мы располагаем сегодня**

Скорее всего, альтернативой теплоэлектростанциям станут атомные электростанции, но полной замены не произойдет

**4. Вероятно, что переход на возобновляемые источники энергии займёт 50 или более лет**

**5. Прерывистость способствует росту затрат. Как хранить энергию?**

Существуют определенные проблемы, связанные с прерывистостью генерации энергии. Например, при отсутствии ветра или солнечного света установки работать не смогут. Изначально эти источники не способны давать энергию постоянно. Также стоит вопрос о том, как хранить накопившуюся энергию в тот момент, когда она нам не нужна.

## Лекция 2. Инновационные стройматериалы и архитектура

### 2.1. Инновационные стройматериалы

При любом производстве накапливаются отходы, сделать производство полностью безотходным очень сложно, но можно научиться грамотно управлять отходами, заново вовлекать отходы в технологический цикл, повторно использовать либо создавать новые материалы. От того, насколько бережно будут использоваться недра, будет зависеть будущий объем добычи тех или иных полезных ископаемых. Тем самым мы будем иметь более бережливое производство и лучшее состояние окружающей среды.

**Что нового ученые и техники разработали в строительных материалах и архитектуре?**

#### 1. Кирпичи из углекислого газа, активно поглощающие его из атмосферы (Великобритания).

Ученые в Крыму также изобрели поглощающие углекислый газ кирпичи. Твердение осуществляется за счет поглощения углекислого газа и преобразования его в нерастворимые соединения. В результате получается прочный каменный материал и, одновременно с этим, решается проблема поглощения парниковых газов и превращение их в строительный материал. Также в исходную сырьевую смесь вводятся наночастицы оксидов титана и вольфрама, способные поглощать фотоны солнечного света (рис. 2.1).



Рис. 2.1. Кирпичи из углекислого газа

#### 2. Компания BIOMASON разработала способ выращивания кирпичей из песка и бактерий:

- песок
- жидкий цементирующий раствор с бактериями - среда для формирования кристаллов,
- азот, кальций и питательные вещества для бактерий, вода.

Раствором поливается слой песка в форме в течение пяти дней, до тех пор, пока не образуется твердый материал (рис. 2.2). Как только питательные вещества и вода заканчиваются, бактерии погибают. Оставшийся раствор затем полностью



перерабатывается в замкнутой системе для последующего использования, что позволяет сохранить водные ресурсы, а побочные продукты жизнедеятельности бактерий можно использовать в качестве удобрения.

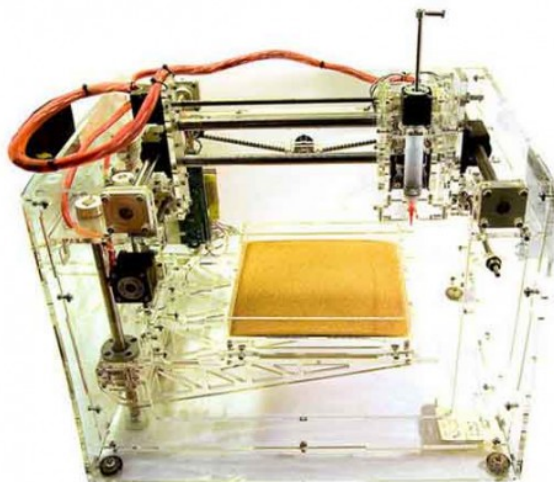


Рис. 2.2. Установка для выращивания кирпичей из песка и бактерий

### 3. Самозалечивающийся бетон

Иногда можно заметить, что стены сооружений или бетонные плиты на дороге покрываются сеткой трещин, что впоследствии приводит к разрушению конструкции. После разрушения необходимо производить реставрацию, что является трудоемким процессом. Поэтому была изобретена система, которая способна самовосстанавливаться.

**Полимерные заплатки** – это специальное покрытие на бетонные монолиты, которое состоит из полимерных капсул (Южная Корея). Когда трещина конструкции доходит до капсул, капсулы раскрываются и углубления заполняются жидкими полимерами, под ультрафиолетом полимер застывает и полностью восстанавливает прочность бетона. Многие трещины, которые можно наблюдать глазами, изначально возникли из микроскопических трещин, когда конструкцию возможно починить безболезненно.

### 4. Бактерии-реставраторы. Самозалечивающийся бетон (Нидерланды).

В бетон добавили гранулы биоразлагающегося пластика с лактатом кальция и спорами бактерий *Bacillus* (которые им питаются). Споры много лет сохраняют жизнеспособность, не меняют свойства бетона (пока в гранулах), когда появляются трещины, поступающая влага растворяет гранулы, оказывается внутри, бактерии просыпаются, питаются лактатом кальция и выделяют кальцит (известняк), который заполняет пустоты, скрепляя края трещин. В условиях лаборатории бактерии успешно заживляли трещины до 0.5 миллиметров, дальше будут испытывать в реальных условиях и искать методы понижения стоимости материала (в среднем он стоит на 50% больше, чем обычный цемент).

### 5. Композиты: эластичный бетон в составе имеет полимерное микроволокно.

Проблема бетона заключается в том, что он хрупкий, и при землетрясениях или других бедствиях разрушается. **Гибкий бетон ConFlexPave** – создан в Сингапуре, демонстрирует прочность на уровне стальной арматуры и гибкость в 2 раза выше обычного материала, прочнее и легче, что особенно актуально в дорожном строительстве, возведении высоток (рис. 2.3). Стоит материал в 3 раза выше обычного, но, если речь идет о строительстве дорог или высотных зданий, это имеет смысл, поскольку и дороги, и здания будут дольше эксплуатироваться.



Рис. 2.3. Эластичный бетон

### 6. Композиты: бетон с добавками морских водорослей и золы

Когда речь идет о проблеме утилизации отходов, стоит понимать, что отходы могут быть разными – в том числе и биоотходами. В университете города Аликанте решили проблему экологии, утилизируя остатки водорослей и золы (рис. 2.4). Такой сборный материал является более легким и у него улучшаются некоторые свойства, связанные с теплопроводностью.



Рис. 2.4. Бетон с добавками морских водорослей и золы

### 7. «Теплые» полистирольные блоки

Блоки изготавливаются путем добавления в цементную смесь вспененных частиц полистирола (рис. 2.5). Стена в итоге имеет малый вес и не нуждается в дополнительном утеплении, да и процент водопоглощения минимальный. Это с одной стороны решает

проблему накопления пластика, с другой стороны – сокращает ресурсы, необходимые для производства тех или иных строительных материалов.



Рис. 2.5. «Теплые» полистирольные блоки

8. Ученые Мордовского государственного университета придумали добавлять в бетон «промышленный мусор» - минеральную вату. Цена блоков – в два раза ниже
9. Бетон, пропускающий электричество (ДВФУ и ВСГУТУ)

Часть цемента в новом бетоне заменили на зольные и шлаковые отходы энергетических производств и отходы обработки гранита. Благодаря низкой пористости он пропускает меньше воды, пара и более долговечен. Использовать «электрический» бетон можно для производства специальных поверхностей-обогревателей, которыми могут выступать стены гаражей, парковок, бетонный пол, тротуарная плитка. Можно даже возводить самовосстанавливающиеся конструкции, где поверхность будет выступать одновременно сенсором влаги, огня и деформаций, а повреждения способны устраняться за счет воздействия электромагнитного поля.

#### 10. Пеностекло и пеноцеолит

Теплоизоляционные материалы, которые отличаются высокой экологичностью, низким водопоглощением, морозостойкие, биологически стойкие, подходят для использования даже в суровых климатических условиях (рис. 2.6). Их срок службы порядка 100 лет, основой являются пески и гранулированный пеноцеолит или пеностекло.



Рис. 2.6. Пеностекло и пеноцеолит

## 11. Натуральные обои

В их основе лежат растительные волокна: стебли бамбука, джут, марант, папирус, тростник, даже листья деревьев (рис. 2.7). Как правило, их используют для фактурной отделки одной стены, а для остальных поверхностей подбирают штукатурку или обои в тон. В настоящий момент это не получило широкого распространения, больше является авторским решением.



Рис. 2.7. Натуральные обои

## 12. Стекломагниевые листы

Заменитель гипсокартона, панели состоят из древесной стружки, стекловолокна, хлорида магния (рис. 2.8). Материал не горюч, может предотвращать возгорание, водонепроницаем, прочный и гибкий. Радиус изгиба панелей может составлять 3 метра, они обеспечивают отличную звукоизоляцию и при этом экологичны.



Рис. 2.8. Стекломагниевые листы

**13. Кожаные полы** на пробковой подложке поверх ударопрочной плиты, кожу дополнительно обрабатывают лаком, чтобы избежать повреждений и царапин.

**14. Электропроводящие и акустические потолки**



Покрытие, проводящее электричество, в котором можно располагать источники света и звука, что решит проблему сложной электрической разводки.

### **15. Льняные теплоизоляционные плиты**

Спрессованный лен, пропитанный природными солями бора, отличается устойчивостью к огню и влаге, не накапливает конденсат. Срок службы – порядка 60 лет. В качестве связующего вещества применяется крахмал.

### **16. Жидкая теплоизоляция**

Технология нанесения почти ничем не отличается от окрашивания (рис. 2.9). После высыхания жидкая теплоизоляция дает ровный и эластичный слой, который поддерживает эффект термоса. В состав материала входят силиконовые и керамические микросферы, содержащие разряженный воздух, а также минеральные добавки и акриловые связующие. После того, как материал полимеризуется, появляется своего рода «вакуум». ЛКМ подходит для всех типов поверхностей, он снижает нагрузку на фундамент и служит не менее 15 лет.



Рис. 2.9. Нанесение жидкой теплоизоляции

**17. Солнечные сэндвич-панели.** Панели генерируют энергию и являются покрытием здания одновременно (рис. 2.10).



Рис. 2.10. Солнечные сэндвич-панели

## 18. Кирпичи из переработанного пластика

Проблема пластика в том, что он практически не разлагается. В результате разрушения материала, животные и люди вдыхают пластик в наночастицах, пластик попадает в организмы с пищей и т.д. Австралийские ученые из Университета Флиндерса создали кирпичи, которые получены из пластиковых отходов, растительного волокна и песка. Нельзя сказать, что проживание в пластиковом доме полезно для здоровья, но, тем не менее, такая технология имеет место быть в развивающихся странах.

## 19. Кирпичи из переработанного пластика

Порошкоподобный может являться основой для создания кирпичей и цемента. Данное вещество можно нагревать, сжимать и растягивать. Эти свойства позволяют использовать новый кирпич не только в строительстве, но и при ремонте автомобилей. Полученный каучук можно смешивать с наполнителями, создавая новые композитные материалы, а также многократно измельчать и перерабатывать.

## 20. Прозрачная древесина

Прозрачная древесина примерно на 15-20% уступает стеклу в прозрачности, а также дороже в производстве. Прозрачную древесину получают из бальзового дерева, которое имеет самую низкую плотность волокон (рис. 2.11).

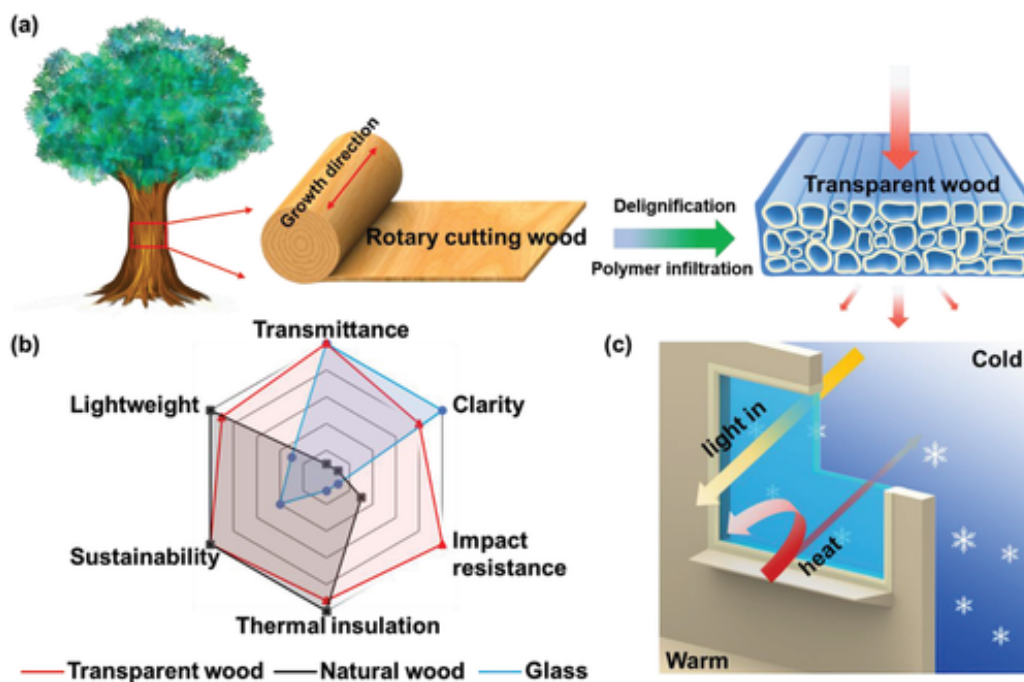


Рис. 2.11. Получение прозрачной древесины

Дерево обрабатывают при комнатной температуре в специальной окислительной ванне, что позволяет добиться полного обесцвечивания. После материал пропитывают синтетическим полимером — поливиниловым спиртом (ПВС). Это экологически чистый полимер, широко применяемый в бытовой химии, пищевой промышленности, медицине и т.д. На выходе получается практически прозрачный продукт, готовый к применению в

строительной отрасли. Плюс в том, что дерево – возобновляемый ресурс, который можно контролировать.

## **21. Земляной грунт как строительный материал (землебит)**

В основе землебита — обычный земляной грунт (рис. 2.12). Землебит прошел апробацию временем, из него строили еще в Древнем Риме. Земляная грунтовая масса имеет высокую влагостойкость и практически не дает усадки. А теплотехнические характеристики землебита могут быть усилены добавлением, например, соломенной нарезки. Спустя несколько лет землебит становится практически таким же прочным, как и бетон.



Рис. 2.12 Землебит

Самым известным зданием, построенным из землебита, можно считать находящийся в Гатчине Приоратский Дворец (1799 г.). Спрессованный суглинок залит известковым раствором (рис. 2.13).



Рис. 2.13. Приоратский Дворец, построенный из землебита

## 22. Дома, парящие в воздухе (Япония)

Дома, способные на несколько сантиметров приподниматься над поверхностью земли в случае начала землетрясения и находиться в таком положении вплоть до окончания подземных толчков (рис. 2.14). Фундамент дома имеет воздушную подушку, которая при помощи компрессоров приподымает дом над ложем фундамента. Подушка нейтрализует сейсмические колебания. При завершении землетрясения из подушки откачивается воздух, и здание вновь «садится» на свой обычный фундамент.

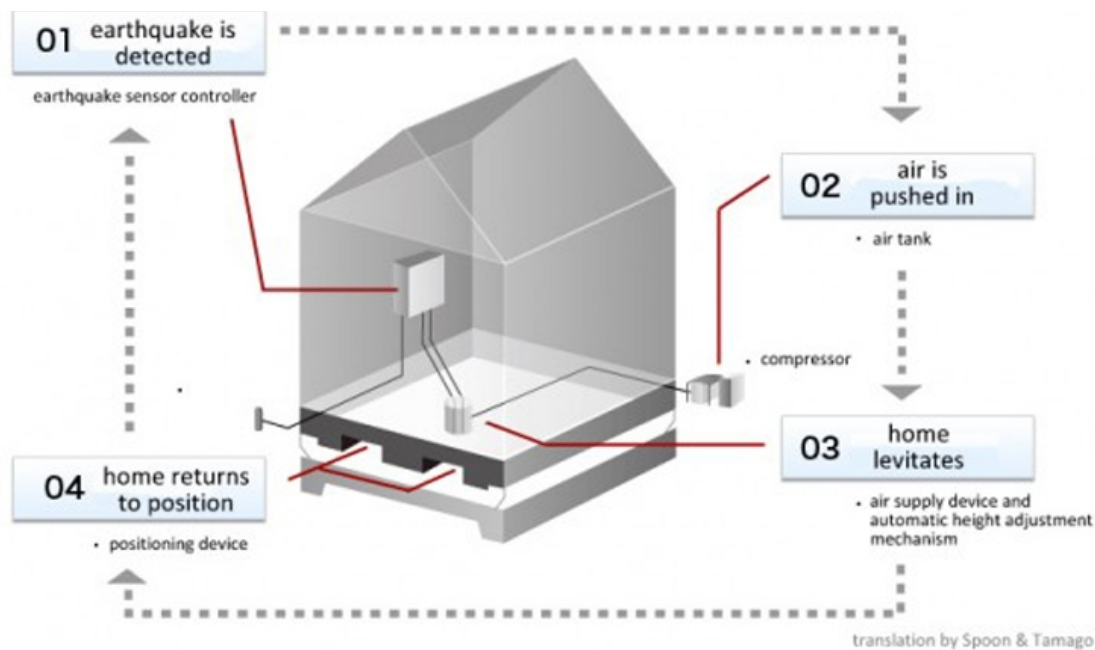


Рис. 2.14. Дома, парящие в воздухе

## 23. Нидерланды: Строительные блоки из морской соли

С использованием солнечной энергии соль извлекается из океана и затем смешивается с крахмалом, который получают из морских водорослей. На выходе получаются похожие на кирпичи блоки, которые имеют высокую прочность при сжатии (рис. 2.15). Построенные из таких блоков здания покрывают материалом, основанным на эпоксидной смоле, после чего никакая влажность уже не способна их повредить. Блоки из соли вполне подходят и для создания гибких арочных конструкций.



Рис. 2.15. Строительный блок из морской соли



Для засушливых стран такая строительная технология является оптимальной. Первый небольшой город, полностью построенный из соляных блоков, будет возведен в Катаре.

#### **24. Россия: переработка отходов алюминия**

Ученые Крымского федерального университета им. В.И. Вернадского (КФУ) предложили экологичный метод переработки отходов алюминия в сырье для строительной промышленности. Он значительно снизит выбросы вредного углекислого газа в атмосферу при производстве строительных материалов и изделий из этих отходов.

Нефелиновый шлам образуется в процессе производства оксида алюминия из одноименных руд. На сегодняшний день нефелиновые шламы являются одними из наиболее распространенных и недостаточно освоенных разновидностей отходов. Только 25% их используется как вторичное сырье, остальное уходит в отвалы, в которых этих шламов уже накопилось десятки миллионов тонн.

#### **25. Россия: полимерно-песчаный композит из пластика и речного песка**

При производстве используется полиэтилен, песок и немного красителя. Материал, из которого «Енисей Полимер» производит свою продукцию — так называемый полимерно-песчаный композит (рис. 2.16). Один из его компонентов — полиэтиленовые отходы: ПВД и ПНД (полиэтилены высокого и низкого давления) и пленка стретч (упаковочный полиэтилен). Вторая составляющая — обычный речной песок. Наконец, 1% композитного материала составляет краситель.



Рис. 2.16. Террасная плитка

#### **26. Нидерланды: переработка отходов пластика**

PlasticRoad — концепция строительства дорог из переработанного пластика, которая была разработана в Голландии. Строить такие дороги легче и дешевле, чем асфальтовые, — модули из переработанного пластика лёгкие и легко крепятся друг к другу. Они полые внутри, благодаря чему в них можно прокладывать коммуникации и трубы, что снизит затопляемость дорог. У пластиковых дорог долгий срок службы в несколько десятков лет, после их можно снова переработать (рис. 2.17).

Концепция PlasticRoad была предложена в 2015 году. Её изобретатели — Анне Кудстаал и Симон Йорритсма, сотрудники компании KWS - крупного европейского подрядчика строительных услуг VolkerWessels.



Рис. 2.17. PlasticRoad

## 27. Индия: переработка отходов пластика

В Индии уже делают дороги с применением пластика. Правда, переработанный материал составляет только десятую часть новых дорог, остальные 9/10 — обычный битум. После сортировки отходы измельчают, плавят при температуре 170 °С, затем смешивают с битумом и укладывают как асфальт. Технологию разработал Раджагопалан Васудеван, профессор химии из Инженерного колледжа Тиагараджар. С 2015 года правительство Индии обязало производителей дорог использовать пластиковые отходы в строительстве большинства трасс и выделило \$11 млн из бюджета на эту задачу. По данным на октябрь 2017 года, в стране уже проложено более 100 000 км подобных дорог.

## 28. Китай: переработка отходов пластика

*Trashpresso* — это мобильный завод, который функционирует от солнечной энергии и превращает использованный пластик в плитку для отделки полов и стен. Идея принадлежит Артуру Хуангу, основателю и руководителю компании Miniwiz. Их можно перевозить на 12-метровых платформах. Один из них находится в маленьком уезде Юйшу в Тибете (рис. 2.18).

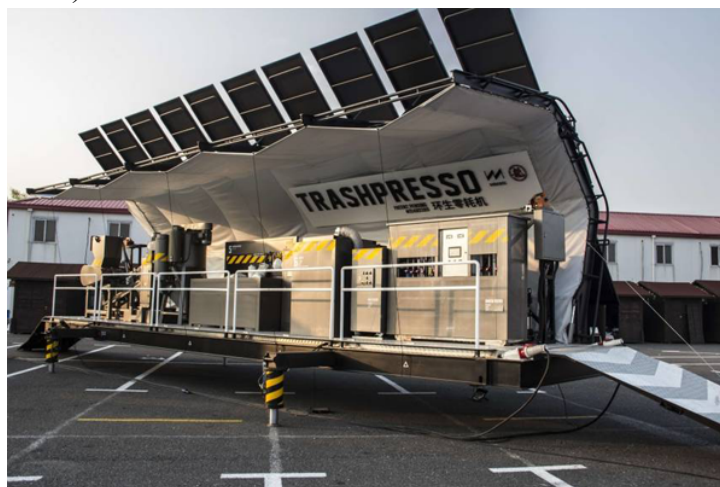


Рис. 2.18 Мобильный завод *Trashpresso*

Несмотря на крохотные размеры уезда, здесь существует та же проблема, что и в больших городах, — пластиковый мусор, который остаётся после туристов, попадает в реки и уплывает в мировой океан. Один из спонсоров проекта по установлению завода в Юйшу — актёр Джеки Чан. Компания Miniwiz была основана Артуром Хуангом в 2005 году. Она занимается переработкой мусора, создаёт из него строительные модули, потребительские товары, в том числе чехлы для телефонов и солнцезащитные очки, а также лодки, мебель, предметы интерьера и многое другое. В компании работает около 40 человек, её годовая выручка — около \$10 млн.

### **29. Нидерланды: мебель из макулатуры**

NewspaperWood — учебный проект выпускника Академии дизайна Эйндховена Мике Мейера. В 2003 году он придумал, как превращать бумагу в подобие древесины. Материал, который придумал Мейер, похож на ДСП, он достаточно прочный, водостойкий и огнеупорный, получается из бумаги и специального клея и подходит для производства всего, что обычно делают из дерева. В 2011-М была представлена первая коллекция изделий Vij5, сделанных из материала NewspaperWood (рис. 2.19).



Рис. 2.19 Мебель из коллекции Vij5, материал NewspaperWood

### **30. Россия: детские площадки из пластиковых отходов**

Завод «Уралтермопласт» начал перерабатывать использованный пластик в «нулевых». С 2012 года компания производит полимерный профиль — цветные доски из переработанных пластмасс. Эти доски очень похожи на деревянные, только пластик долговечнее, не портится от воды, не выцветает на солнце, не оставляет заноз (рис. 2.20). Для производства одной скамейки нужно 80 кг пластикового мусора, а в Екатеринбурге ежегодно выбрасывается более 500 т отходов.

Дорожные ограждения из такого материала стоят в четыре раза дешевле чугунных, устанавливать их в два раза быстрее. После использования их можно отправить обратно на завод и снова переработать.

Из этого материала строят городскую инфраструктуру: заборы, столбы, ограждения для дорог, садовую мебель, скамейки и детские площадки. В Екатеринбурге



в 2017 году ограждения из использованного пластика были установлены вдоль проспекта Ленина, пластиковые скамейки украсили парк «Зелёная роща».



Рис. 2.20. Скамейка из переработанного пластика

Выручка завода в 2017 году превысила 320 млн рублей, согласно базе данных «СПАРК-Интерфакс».

### 31. Великобритания: черепица из пластиковых отходов

Lightweight Tiles LTD производит покрытие для кровли из переработанного пластика. Крыши получаются лёгкими, долговечными и устойчивыми к ультрафиолетовому излучению. Они не выцветают и не поддаются коррозии. Материал обеспечивает теплоизоляцию и звукопоглощение. Укрыть такой черепицей небольшой дом стоит примерно 2000 фунтов (\$2500).

### 32. США: плитка из электронно-лучевых трубок

До появления ЖК-мониторов в экранах компьютеров и телевизоров использовались электронно-лучевые трубки (ЭЛТ), которые представляют класс сложно перерабатываемых отходов. Компания Fireclay Tile делает из ЭЛТ декоративные стеклянные плитки (рис. 2.21), которые отличаются прочностью и долговечностью. Для производства таких плиток лучевые трубки помещают в специальные формы, а потом добавляют белый цветной пигмент, чтобы сделать стекло светлее. Плитки выдерживают жар от 870 до 926 °С.

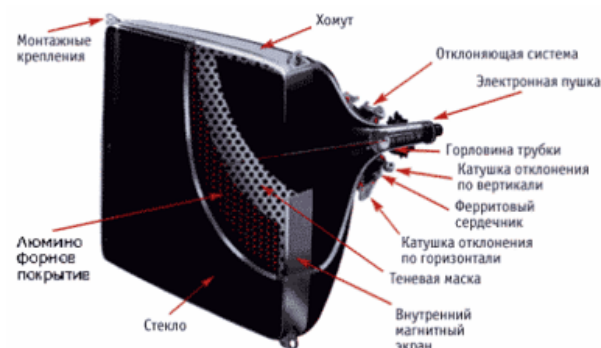


Рис. 2.21. Плитка из электронно-лучевых трубок



### 33. Великобритания, Словения, США и Филиппины: ковры из рыбацких сетей

Зоологическое общество Лондона создало программу NetWorks, участники которой занимаются сбором пластиковых рыболовных сетей на Филиппинах. Эти снасти перерабатывают и превращают в ковры. По данным ООН на 2009 год, более 705 000 т рыболовных сетей теряется в океане каждый год. Исследование 2017 года Лорана Лебретона, океанографа фонда Ocean Cleanup, утверждает, что почти половина веса поверхностных обломков в Большом Тихоокеанском мусорном пятне составляют рыболовные снасти.

Программа Зоологического общества не только очищает воды от мусора, но и создаёт новые рабочие места. Бывшие рыбаки поднимают сети из-под воды и переносят на палубную станцию на острове Бохол. Отсюда отходы отправляются в Aquafil, компанию по переработке отходов в Словении, она покупает рыболовные сети по всему миру и превращает их в нейлоновые нити. Нити затем попадают к производителям ковров в США.

### 34. Стройматериалы из органических отходов

*Багасса* – отходы сахарного тростника вроде свекольного жома. Багасса смешивается с вяжущим веществом и прессуется в доски, которые обладают высокой прочностью, долговечностью и износостойкостью. Такие доски используются для внутренней отделки, полов, мебели (рис. 2.22). Доски также могут изготавливаться под горячим прессом из отходов от сбора урожая подсолнечника.

Доски из арахисовой скорлупы прессуются с добавлением клея без формальдегида. Они устойчивы к влаге, огнестойкие и недорогие.

Целлюлоза используется для производства панелей различных форм (для стен и потолка). Характеристики получаемого материала можно менять за счет давления, нагревания и добавления воды. Материал гибкий, нетоксичный, обладает высокой твердостью по отношению к своему малому весу. Производятся панели из отходов пшеницы на основе непрерывного процесса экструзии.

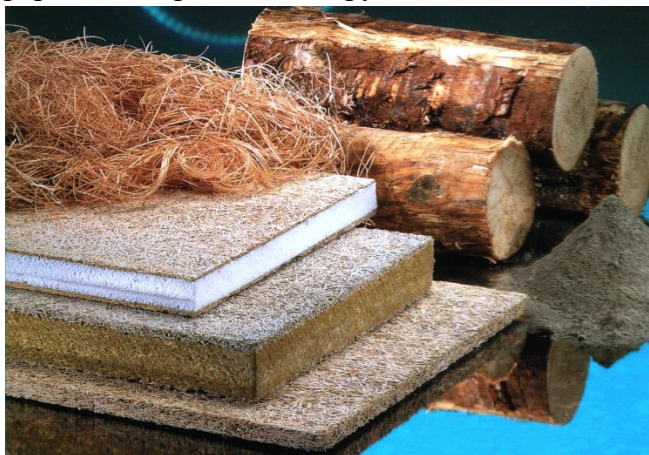


Рис. 2.22 Стройматериалы из органических отходов

*Кукурузные початки* благодаря пористости подходят для создания сэндвич-панелей с изоляционными свойствами. Для тепло- и звукоизоляции может также использоваться материал, полученный из сжатой и высушенной картофельной кожуры. В его основе – лигнин, целлюлоза, гемицеллюлоза и белки. Лен также отлично подходит для утепления стен, пола и потолка, так как обладает низкой теплопроводностью.

*Из бананов и банановых листьев* производится прочный текстиль, с этой же целью используют побочные продукты от сбора ананасов.

*Рис* может быть использован для производства плит, кирпичей, керамической глазури. Продукты изготавливаются из рисовой шелухи, в том числе с добавлением цемента.

*Семена, стебли и листья* – предполагают широкий диапазон органических отходов с добавлением экологически чистых связующих веществ. Из них могут производиться как гибкие, так и жесткие материалы. Такие строительные материалы плохо воспламеняемы, могут обладать гибкой структурой при жесткой поверхности.

Из 1 т отходов может быть произведено около 1000 м<sup>2</sup> тонких облицовочных досок. Использование органических отходов в строительстве должно привести к положительным результатам с экологической, технической, социальной и экономической точки зрения. Такой подход поможет поддержать местные и сельские хозяйства.

Данные технологии использования переработанного органического сырья начинают применяться в Сан-Франциско (США) и Милане (Италия). В России подобные материалы пока не производятся.

### **35. Россия: переработка стройматериалов. RETERRA (Москва)**

Рециклинг строительных отходов – это переработка оставшихся после строительства/демонтажа материалов во вторичное сырье, которое можно использовать снова. В ходе рециклинга стройматериалы (железобетон, кирпич, асфальт и пр.) дробятся и перемешиваются, а также отделяются от металла благодаря специальному магнитному приспособлению.

При правильном подходе перерабатывать можно до 80% отходов – это позволяет снизить стоимость услуг на возведение зданий, демонтаж, реновацию и другие строительные работы.

Особенно это касается демонтажа – при его выполнении расходы на утилизацию отходов могут составлять более половины стоимости всех работ. Но этих трат можно избежать – можно дополнительно сэкономить существенную часть бюджета благодаря переработке отходов.

Отдельного внимания заслуживает оформление документов на утилизацию строительных отходов. Этот процесс строго контролируется государственными надзорными органами, поэтому документы с описанием технологии и сроками утилизации отходов необходимо предоставить еще до начала демонтажных работ.

Такой строгий контроль необходим по двум причинам – во-первых, мусор будет вывозиться только на специальные полигоны, где он не будет занимать полезную площадь, которую можно использовать для застройки. Во-вторых, проверка помогает убедиться, что отходы не заражены химикатами, радиацией или токсинами, которые могут отравить почву и распространиться на многие километры вокруг.

В среднем, около 20% отходов не подлежат переработке, их следует просто захоронить на полигонах. Глубина захоронения также указывается в сопровождающей документации.

**36. «Вторая жизнь» вещей** - концепция состоит в повторном использовании материалов (например, катушка из-под кабеля может стать дизайнерским столом, а старая дверь – оранжереей)

## **2.2. Инновационные подходы в архитектуре. Природоподобные технологии: бионика и геоника**

**Бионика** – поиск возможностей решения различных инженерных задач на основе анализа структуры и жизнедеятельности организмов. Строительство зданий, сооружений, механизмов и т.д. происходит по образу и подобию организмов, существующих в природе (рис. 2.23).



Рис. 2.23. Стадион «Ласточкино гнездо» в Пекине, КИТАЙ

Интересно, что иногда при инженерном анализе конструкций, создаваемых животными, выясняется, что некоторые архитектурные формы, которые есть в природе, являются эффективными решениями при строительстве. Например, так может выясняться, что определенная конструкция, создаваемая природой, требует меньше затрат строительных материалов чем та, что была создана человеком или является более долговечной.

**Геоника (геомиметика)** - подход к созданию материалов, композитов, архитектурных ансамблей, произведений искусства и т. д., при котором идея, технологические схемы и др. заимствуются при изучении геологических и

космохимических процессов, минералов, горных пород, видов складчатости и т. д. с целью создания новых композитов и оптимизации системы «Человек-материал-среда обитания».

**Архитектурная геоника** (геомиметика) - это наука создания **архитектурных** объектов с учетом влияния на них геологических и геофизических воздействий, используя знание законов неорганической природы (рис. 2.24, 2.25).



Рис. 2.24. Атомиум, Бельгия, 1958 год, кристаллическая решетка железа



Рис. 2.25. Кинотеатр во Франции

### **2.3. Добыча полезных ископаемых. Примеры рекультивации мест добычи полезных ископаемых**

При добыче полезных ископаемых (ПИ) образуется большое количество отвалов (рис. 2.26). Песок возможно использовать в строительстве, глину – в каком-либо керамическом производстве. Но иногда встречаются породы, которые невозможно или нерентабельно использовать. Возникает следующая ситуация: при добыче нарушается



природная среда и область добычи по ее окончанию либо превращается в озеро-пруд, берега которого начинают оплывать и обваливаться, либо – в свалку бытовых отходов.

Для решения этой проблемы можно посадить деревья – произвести *рекультивацию*.

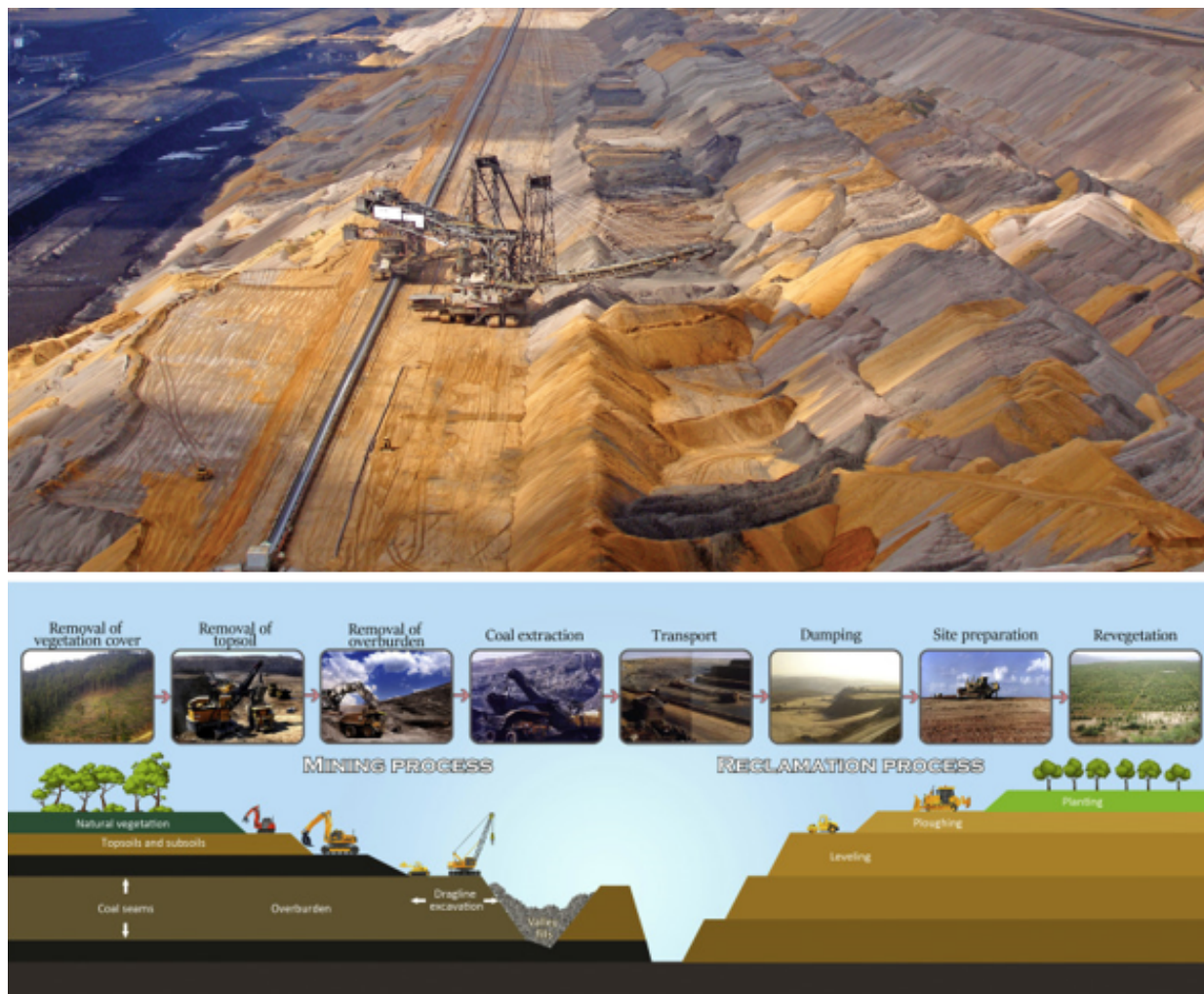


Рис. 2.26. Результат добычи ПИ

### Примеры рекультивации мест добычи ПИ:

#### 1. Рекреационная рекультивация

В Китае в заброшенном карьере, на дне которого находится водоем, построили отель, который располагается вдоль стенки карьера (рис. 2.27). Таким образом на отработанном карьере зарабатываются деньги.





Рис. 2.27. Рекреационная рекультивация, Китай

2. **Биологическая рекультивация** - отработанный карьер засаживается лесопосадками или превращается в ферму (рис. 2.28, 2.29).



Рис. 2.28. Биологическая рекультивация



Рис. 2.29. Биологическая рекультивация

## Лекция 3. Искусственный интеллект и цифровизация

### 3.1. Реализация искусственного интеллекта

Когда мы говорим о инновационном недропользовании, мы не можем обойти вниманием информатизацию, цифровизацию и искусственный интеллект.

В последнее время активно развивается робототехника, многие устройства могут работать автономно (рис. 3.1)



Рис. 3. 1 Цифровизация и искусственный интеллект

Такой автономный модуль может двигаться по шахте или по горной выработке и проводить различные операции, например, мерить концентрацию метана, если речь идет о шахте, или осуществлять мониторинг состояния выработки на предмет обнаружения угрозы обрушения или других дефектов - раньше такую работу выполнял оператор. При использовании специализированных программ экономится большое количество средств на зарплаты, изучение может проводиться в любое время, экономятся рабочие места, точность исследований гораздо выше.

Реализация цифровых технологий путем организаций связи, установки различных датчиков на технику, накопление и обработка данных на предприятиях приводит к ключевым позитивным изменениям, главным образом – к увеличению производительности при снижении эксплуатационных затрат.

Одним из таких решений являются **ситуационные центры**, где осуществляется оперативное управление (рис. 3.2). Операторы видят большой массив информации: в настоящее время многое уже анализирует искусственный интеллект, операторы следят за тем, нет ли риска развития какой-либо критической ситуации. Также, они могут дистанционно управлять техникой.

В ситуационных центрах применяется *система двойников* – используется цифровая версия реального месторождения, в которой накапливается полная информация по данному месторождению. В такой цифровой модели далее проводится моделирование, изменение различных параметров, что позволяет прогнозировать тот или иной исход событий (рис. 3.3).

На цифровой модели горнодобывающего Актива вся информация сведена в единую систему. Для проведения такой работы необходимо специальное программное



обеспечение. Оно разрабатывается самими горнодобывающими компаниями и продаются остальным участникам рынка.



Рис. 3.2. Ситуационный центр



Рис. 3.3. Ситуационные центры, база данных, ПО

**Численное моделирование и Smart Mining**

**Smart Mining** – умная добыча полезных ископаемых, позволяющая моделировать такие характеристики, как толщина продуктивного пласта, геометрию его залегания, концентрации в нем или в его отдельных частях по каким-либо данным (рис. 3.4). Также возможно постоянно актуализировать информацию. Это позволяет сократить процент ошибки, повысить рентабельность добычи и иметь больше прибыли.

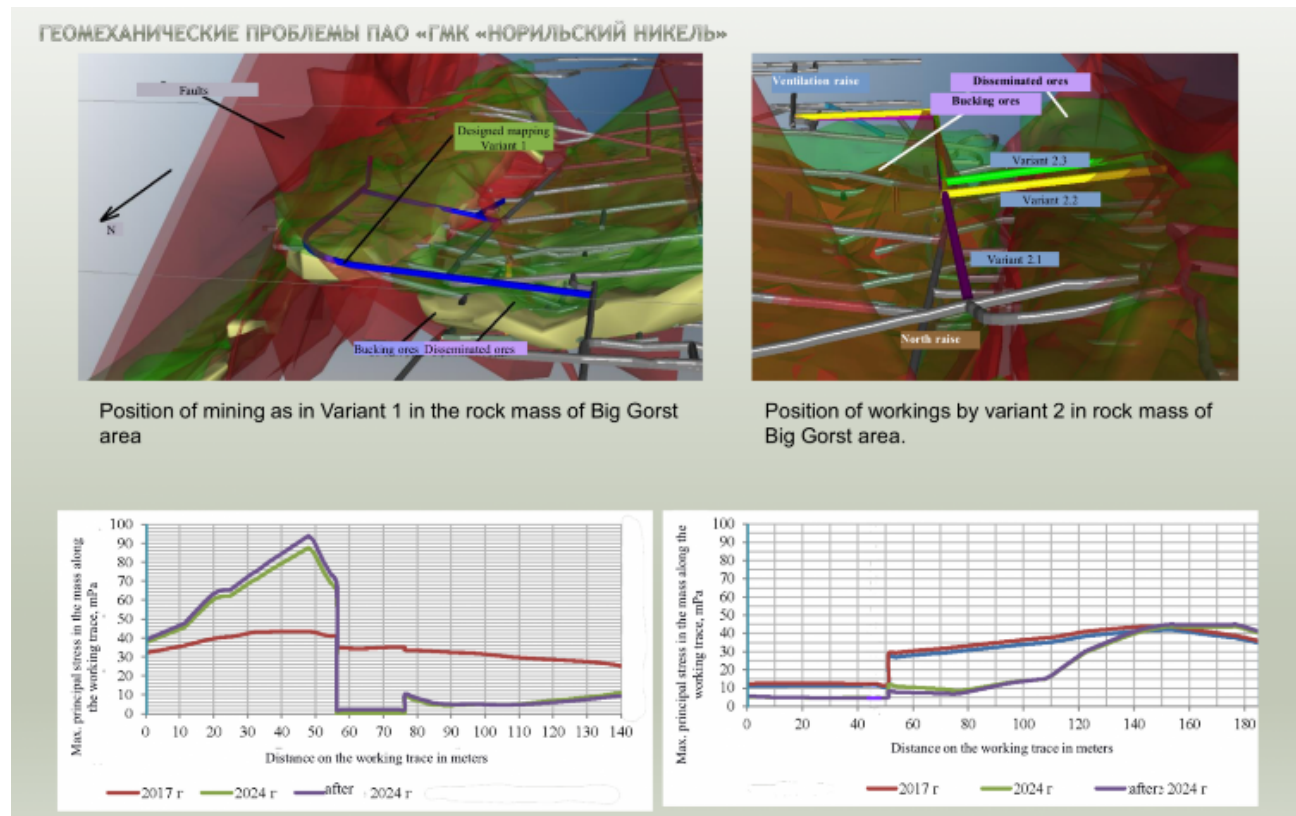


Рис. 3.4. Численное моделирование и Smart Mining

Самой простой из всех операций является *телеметрия* или дистанционное управление оборудованием. В 1978 году в Японии были созданы телеметрические дистанционно управляемые бульдозеры (рис. 3.4), с помощью которых под водой вдоль береговой линии Японии велась добыча полезных ископаемых. Такое оборудование впоследствии было использовано при ликвидации аварии на Чернобыльской АЭС, стихийных бедствий, тушении пожаров и т.д.

**Четвертая промышленная революция: как горные компании используют искусственный интеллект, обучение машин и роботы**

### 1. Добыча Fe-Mn конкреций

Данные конкреции залегают на дне океанов. Их запасы оцениваются в 1500 миллиардов тонн - это почти чистый концентрат железа и марганца. Задача заключается в очищении их от рыхлого осадка и подъеме на поверхность. Для этого применяются специальные машины, управляющиеся дистанционно и при помощи искусственного интеллекта (рис. 3.5). Все работы производятся без присутствия человека под водой.



Рис. 3.5 Добыча Fe-Mn конкреций

Британско-австралийской горнодобывающей ТНК Rio Tinto с 2008 года применяют автономные (беспилотные) самосвалы. Если сравнивать их с современными технологиями и задаваться вопросом, почему же до сих пор не запущено беспилотное такси, можно ответить следующим образом: в карьере не предусмотрено сложное движение. Условно, в карьере существует всего одна дорога спуска и подъема – для реализации требуется более простой алгоритм. Использование таких самосвалов с одной стороны ведет к потере рабочих мест, но с другой – к увеличению производительности.

Кроме того, Rio Tinto уже несколько лет использует автономные погрузчики и системы бурения. Компания утверждает, что, как и в случае с другими обеспечивающими автономную работу программными приложениями, производительность труда повысилась на 10 процентов.

## **2. Разведка полезных ископаемых**

Компании Goldcorp и IBM Watson сотрудничают в области использования искусственного интеллекта для анализа всей имеющейся геологической информации с тем, чтобы найти лучшие места для бурения на золото в Канаде. Для минимизации рисков при поиске залежей полезных ископаемых создаются программные обеспечения, способные анализировать и высчитывать вероятность нахождения ПИ.

## **3. Сортировка полезных ископаемых**

На большинстве горнодобывающих производств приходится удалять большой объем пустой породы, чтобы извлечь ценную руду, ради которой затеяна добыча. Для этих целей применяются интеллектуальные сортировочные машины, которые могут сортировать добытый материал с учетом любых заданных критериев (рис. 3.6).



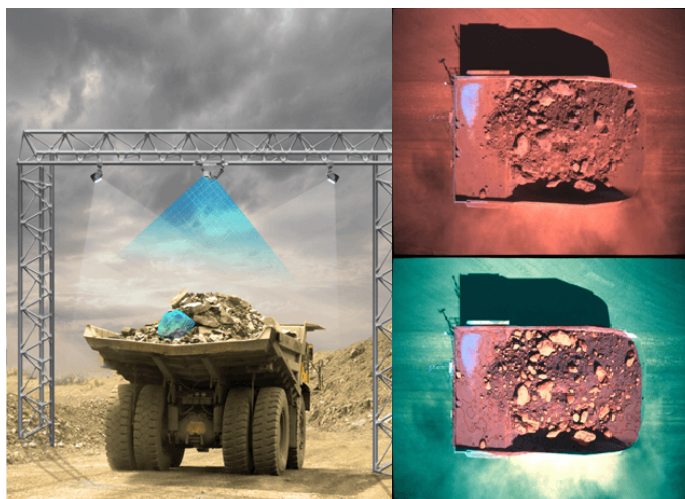


Рис. 3.6 Сортировка ПИ

Самосвал проезжает через специальную арку, в которой при помощи сканера происходит считывание и примерная оценка обломков породы, их формы, окатанности, пористости, минерального состава и т.д. Это сильно ускоряет процесс сортировки.

#### 4. Гранулометрия

Одним из результатов анализа отложений является гранулометрия (рис. 3.7). Анализ заключается в подсчете разных размерностей пород (глыб, валунов и т.д). Такая работа в настоящий момент ведется искусственным интеллектом.

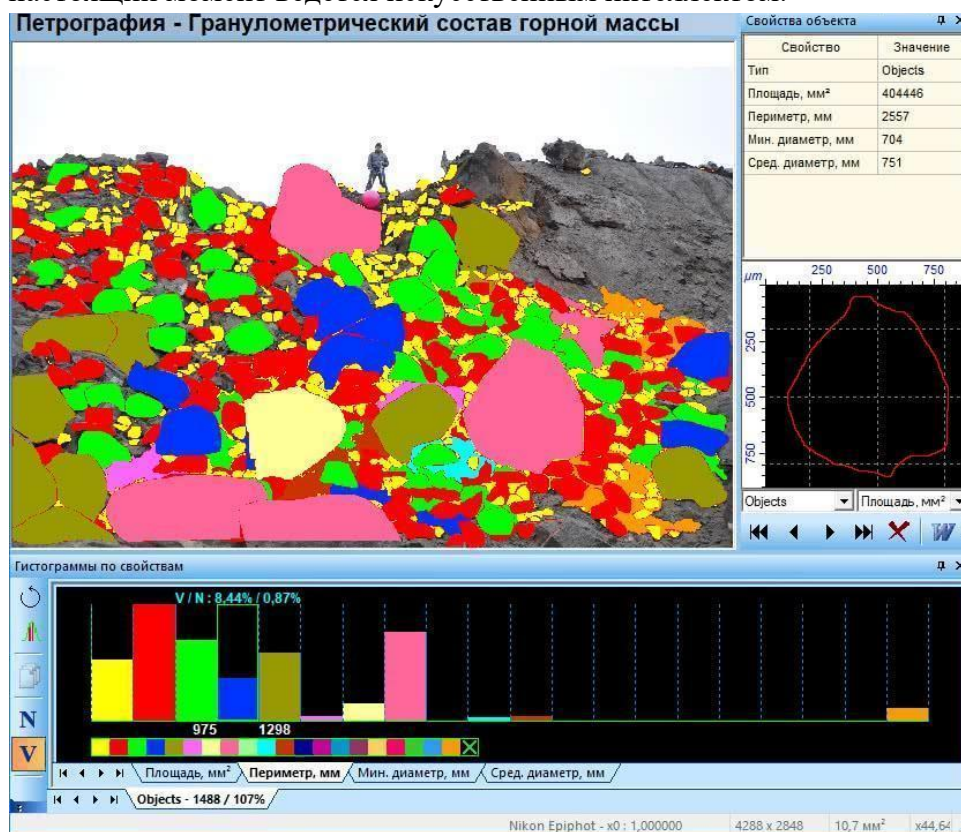


Рис. 3.7 Гранулометрия

## 5. Цифровое двойникование

Виртуальная модель, в которую с месторождения загружаются данные в реальном времени, можно быстро протестировать различные сценарии и таким образом оптимизировать производство. Эта возможность проверять решения в системе-двойнике до того, как они реализованы, приводит к лучшим результатам и экономии.

## 6. Безопасность и техническое обслуживание

Аппаратура, датчики и горное оборудование могут контролироваться и технически обслуживаться до сбоев при помощи искусственного интеллекта.

Например, существует программа камерного наблюдения, которая осуществляет мониторинг за зубьями экскаватора (рис. 3.8).

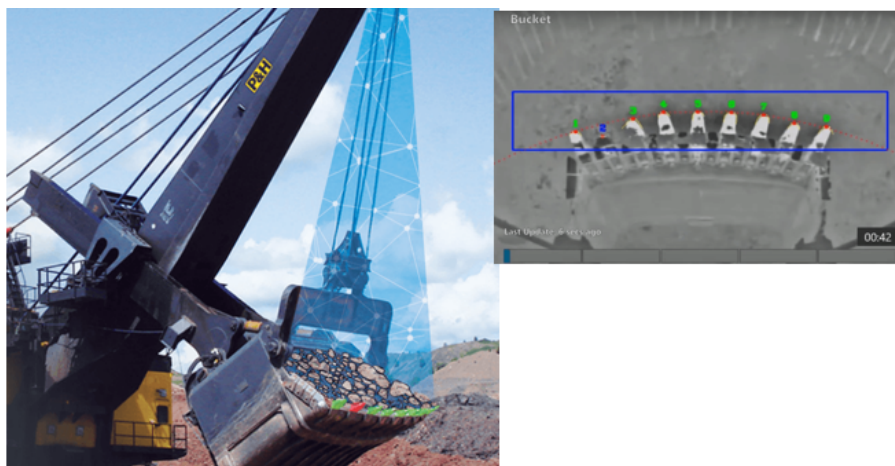


Рис. 3.8 Безопасность и техническое обслуживание

При распознавании нарушения (поломки) камера передает сигнал и экскаватор временно выводится из эксплуатации. Также, такая камера может отслеживать состояние ковша экскаватора в целом и вовремя подавать сигнал об его ухудшении.

### 3.2. Цифровизация

В настоящий момент важно начать переход на следующий виток инновационного развития – к трансформации (рис. 3.9).

Этап цифровизации длится с 2017 года и проходит в настоящий момент. Переход к этапу трансформации по прогнозам должен произойти до 2025 года.

Например, в программе Газпромнефти разведка и добыча ПИ осуществляется применяется программа «Когнитивный геолог» и т.д. (рис. 3.10).

*«Газпромнефть»:*

«Когнитивный геолог» – самообучающаяся модель геологического объекта, которая содержит информацию о строении недр, рентабельности будущего проекта, рекомендуемых методах разработки и другую информацию. Новая технология позволит сократить сроки работ с 3 лет до 6-12 месяцев и повысить качество решений в

геологоразведке. Идут работы над использованием машинного обучения в бурении: искусственный интеллект предсказывает выход за пределы продуктивного пласта.



Рис. 3.9 Этапы инновационного развития



Рис. 3.10. Программа Газпромнефти по добыче ПИ

«Роснефть»:

97% всех буровых установок «Роснефти» оснащены искусственным интеллектом и работают для автоматической корректировки операций. «Роснефть» в 2017 году

создала промышленный симулятор гидравлического разрыва – РН Грид, со встроенным ИИ, – и продала на него более 200 промышленных лицензий.

Разработка концепции интеллектуального месторождения помогает добывающим компаниям сократить расходы на 5% и увеличить объем добычи на 2%.

Сотрудничество Shell с Microsoft позволило произвести облачный комплекс Azure C2 IoT на своих месторождениях. А British Petroleum недавно выбрал решение от BelmontTechnology, чья платформа Sandy собирает и анализирует огромный пласт геологических, геофизических, исторических и резервуарных данных по будущим проектам. В Великобритании для группы добывающих предприятий создана National Data Repository, хранилище, которое аккумулирует 130 Терабайт данных из 12 с половиной тысяч скважин.

Первая «умная» скважина была построена в 1997 г. на платформе на месторождении Snorre в Северном море, которое на тот момент разрабатывала норвежская Saga Petroleum (позднее стала частью Statoil, ныне Equinor). Система позволяла оператору в режиме реального времени следить за давлением и температурой в каждой зоне и оптимизировать процесс добычи. Подобные скважины правильнее было бы называть «высокоавтоматизированными» или «технологически контролируемыми».

Основой технологии этой и последующих «умных» скважин стали постоянные скважинные датчики температуры, давления и других параметров, а также управляемые с поверхности клапаны, которые регулируют приток из отдельных зон или боковых стволов. Данные от датчиков в режиме реального времени передаются на станцию управления, обрабатываются специализированным ПО и позволяют оператору регулировать работу внутрискважинного оборудования.

Schlumberger разработала технологию Smart Well, Halliburton - Real Time Operation. Нефтяные компании развивали системы умных скважин в рамках программ «умного месторождения»: у Shell - Smart Field, Chevron - i-field, BP - Field of the future.

Сегодня «продвинутые» системы ИС используют новые цифровые технологии: промышленный интернет вещей (IIoT), искусственный интеллект, нейросети и другие. Скважины могут управляться дистанционно по каналам беспроводной связи с компьютеров или мобильных устройств.

Но идеальная, абсолютно автономная скважина, самостоятельно определяющая режим работы для лучшего результата, пока еще не создана. Впрочем, специалисты ожидают, что такая технология вскоре появится.

Российские компании стали применять «умные» скважины позже мировых лидеров, предпочитая внедрять то, что уже «обкатано» зарубежными коллегами. Правда, «ЮКОС» в 2003-2004 гг. проводил пробную эксплуатацию добычной ИС, но проект развития не получил.

На практике первые «умные» скважины в России были применены совместным предприятием Shell и «Газпром нефти» - компанией «Салым Петролеум Девелопмент»

(СПД). В 2006 -2009 гг. интеллектуальными системами были оснащены добычные, водозаборные и водонагнетающие скважины на Салымской группе месторождений. На основании внедренных технологий СПД создала интегрированную модель добычи компании. Но надо понимать, что цифровое двойникование возможно применять только на хорошо изученных скважинах. Такие модели не будут работать с малым количеством информации.

В 2009 г. первая «умная» нагнетательная скважина пробурена на морской платформе «Пилтун-Астохская-Б» проекта «Сахалин-2», одним из участников которых выступает та же Shell (российский участник - «Газпром»). Примерно тогда же горизонтальные интеллектуальные скважины с устройствами контроля притока заработали на Ванкорском месторождении «Роснефти».

Сегодня «умные» скважины в России в большей или меньшей степени применяют все ведущие нефтегазовые компании. В первую очередь, это относится к сложным и дорогим проектам, особенно шельфовым. Также российские нефтяники используют ИС за рубежом: например, «ЛУКОЙЛ» на «Западной Курне-II» в Ираке.

Интеллектуальная скважина - ключевой, но единственный компонент более широкой концепции - «умного» или «интеллектуального» месторождения. Эта концепция охватывает все технологические и управленческие процессы на месторождении, а также экологический контроль.

К разработке и внедрению собственных проектов «интеллектуального» или «цифрового месторождения» приступили в ТНК-ВР (куплена «Роснефтью» в 2013 г.), «Газпром нефти», «Татнефти», «ЛУКОЙЛу», «Роснефти».

В России более 40 проектов интеллектуальных месторождений с суммарной добычей 140 млн тонн нефти в год, что составляет 27% от объема производства в стране, указано по прошлогодним оценкам Vygon Consulting. В частности, «умными» являются все шельфовые нефтегазовые проекты страны.

В России для «умных» скважин применяется, главным образом, импортное оборудование и ПО. Однако в стране работают и над собственными технологиями.

Так, свой проект «Цифровая скважина», в основе которого положена промышленный интернет вещей, развивает «Ростелеком». Для системы применяется, прежде всего, оборудование отечественного производства – в частности, пермской компании «Россма».

Технология позволяет управлять скважинами удаленно при помощи мобильного приложения или с компьютера и сводит присутствие персонала на объекте к минимуму. Решения от «Ростелекома» с прошлого года применяются на месторождениях в Ханты-Мансийском и Ямало-Ненецком автономном округах.



Уникальная двустовльная скважина с многостадийным гидроразрывом пласта  
для разработки сложных запасов

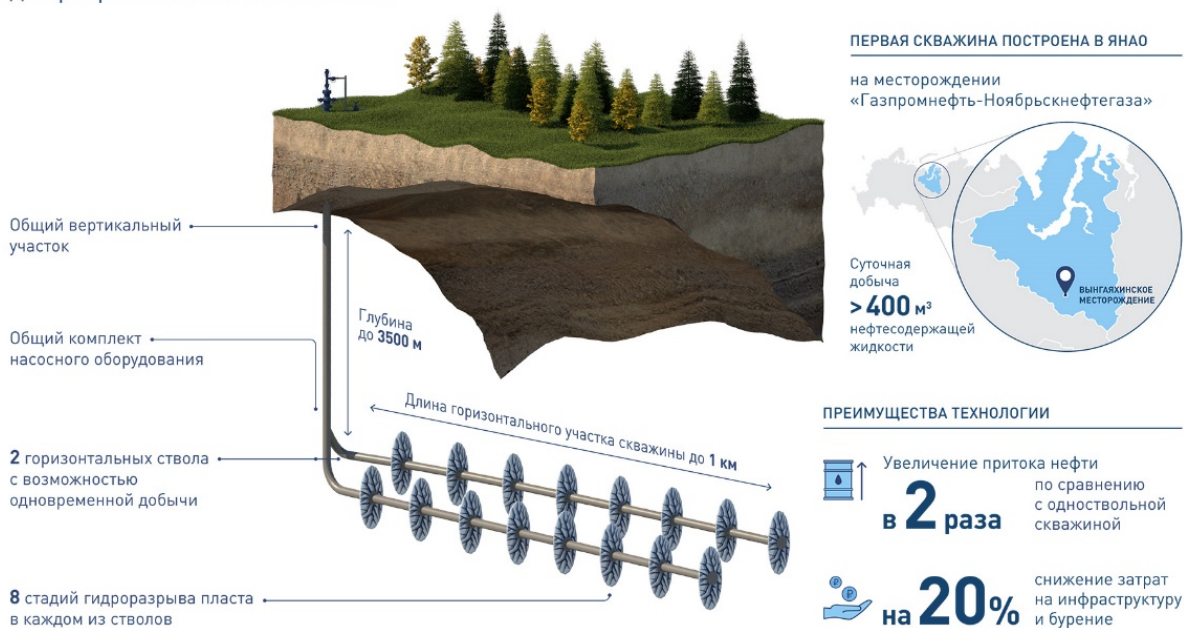


Рис. 3.11 Высокотехнологичные скважины «Газпром нефти»

Например, в высокотехнологичных скважинах «Газпром нефти», где применяются два горизонтальных ствола, внедрение инновационных технологий позволяет в два раза увеличить приток нефти и на 20% снизить затраты на инфраструктуру бурения.

#### Искусственный интеллект применяется:

- для добычи ПИ;
- для сбора и анализа данных при работе над новыми и текущими проектами по разработке месторождений;
- предотвращение сбоев и аварийных ситуаций;
- прогноз цен на ресурсы

## Лекция 4. Инновационное недропользование в Мировом океане

### 4.1. Основные технологии добычи углеводородов в подводных условиях. История освоения подводных ресурсов.

Рассмотрим основные технологии добычи углеводородов в подводных условиях (рис. 4.1). На шельфовых морях сосредоточены большие объемы запасов, включая ресурсы Арктики. Но, вместе с тем, помимо углеводородов, там существуют и другие полезные ископаемые, которые также представляют большой интерес и будут востребованы для нужд промышленности и экономики.

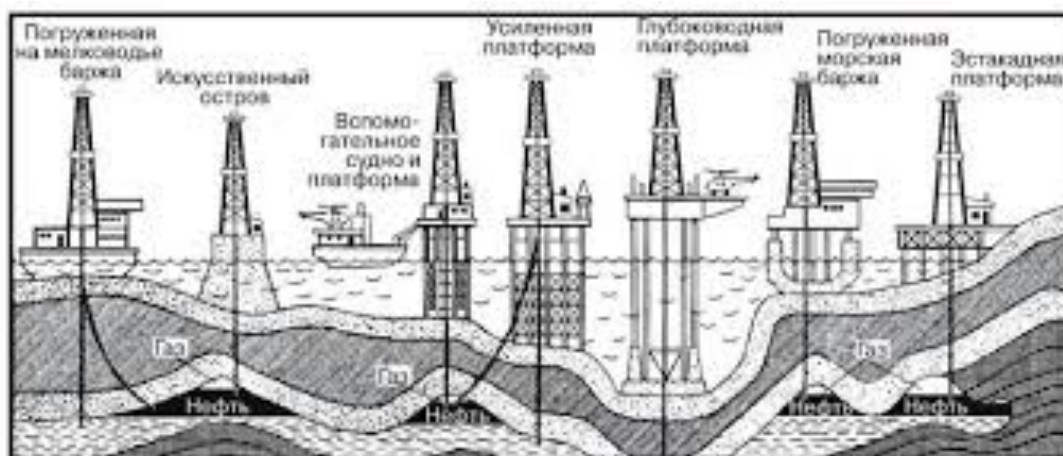


Рис. 4.1 Основные технологии добычи углеводородов в подводных условиях

Помимо различных конструкций тех или иных платформ, которые представлены на рис. 4.1, также представлены технологии насыпных островов, бурения с судов и др. Технологии, которые применяются в настоящий момент для добычи углеводородов, также рассматриваются для добычи других полезных ископаемых: при помощи судов с буровыми установками глубоководного бурения или при помощи искусственных островов насыпей возможно вести добычу иных видов полезных ископаемых.

Добычу каких именно полезных ископаемых можно проводить такими же технологиями и когда человек в принципе начал вести добычу под водой?

В XI веке до н. э. финикийцы использовали подводные отложения для производства пурпурной краски, в VI веке до н. э. на островах Полинезии разрабатывались коралловые рифы, в III веке до н. э. с глубины 4 м у острова Халка в проливе Босфор ныряльщики добывали медную руду. В средние века освоение минеральных ресурсов морского дна практически прекратилось. Лишь в Восточной Азии добывалось золото на пляжевых россыпях. С конца XIX столетия морское дно снова начинает привлекать внимание как источник полезных ископаемых (так в 1884 г. на побережье Бразилии началось освоение россыпей тяжелых минералов: ильменита, рутила, циркона, монацита). Но по-настоящему промышленные масштабы подводная добыча приобретает лишь в XX веке.

Плавучая землеройная машина с ручным приводом создана механиком Буанаюто Лорини в 1590 году в Венеции. Изобретенный им двухчелюстной грейфер, претерпев

лишь небольшие изменения в конструкции, вот уже полтысячелетия продолжает служить в качестве важнейшего узла грейферного снаряда.

В России технику для производства подводных добычных работ применяют начиная с XVII века, когда ручными одночерпаковыми драгами выполнялись старательские работы на уральских и сибирских реках. Такая конструкция явилась прообразом современного штангового снаряда.

В 1718 году французским инженером де ля Бальмом разработана более сложная конструкция с двумя ковшами, приводимая в действие с помощью двух установленных на понтоне ступальных колес, движимых 16 рабочими. Впоследствии новинку, великолепно справлявшуюся с тяжелым илом, наносами и каменными включениями строили и применяли повсеместно, включая Россию.

В том же 1718 г. в Голландии изобретен первый многочерпаковый плавучий снаряд с ручным приводом. В 1781 г. в Англии изготовлены первые землечерпалки с конным приводом. В 1796 г. в качестве привода многочерпакового снаряда была установлена паровая машина Уатта мощностью 4 л. с. В России впервые паровой многочерпаковый снаряд был изготовлен на Ижорском заводе в 1811 г. Всасывание пульпы, т. е. смеси воды и добываемого грунта, впервые было осуществлено в 1859 г. во Франции во время дноуглубительных работ в порту Сен Назер. На р. Волге землесосы появились уже в 1874 г. Такие машины использовались для углубления дна и добычи рыхлого осадка.

#### **4.2. Значение и потенциал добычи морских полезных ископаемых**

Когда речь идет о месторождениях и запасах полезных ископаемых, скрытых под водами мирового океана, надо понимать, что на нашей планете большую площадь занимает мировой океан, и рано или поздно человечеству придется его осваивать. В условиях потепления климата и статического подъема уровня мирового океана еще меньшая площадь суши будет доступна для промышленного освоения.

*Морские традиционные твёрдые полезные ископаемые* — важный объект исследований «Геологии будущего», но и в настоящий для многих объектов такое будущее уже наступило. Коммерческий интерес представляют пески и гравий, фосфориты, а также прибрежные россыпные месторождения алмазов, касситерита — олова, ильменита и рутила, — титана, золота, других металлов. Подводная добыча осуществляется открытым (драги и земснаряды) и подземным (горные выработки под дном и буровые скважины) способами.

В глубоководных районах обнаружены минеральные образования, которые встречаются только в Мировом океане: железомарганцевые конкреции (ЖМК), глубоководные полиметаллические сульфиды (ГПС), кобальто-марганцевые корки (КМК).

Рис. 4.2 демонстрирует ресурсы шельфа, которые находятся рядом с береговой линией, далее ресурсы материкового склона и глубоководного ложе. Различные виды

полезных ископаемых приурочены к определенным зонам: например, существуют специфические глубоководные осадки (железомарганцевые конкреции, кобальт-марганцевые корки), в шельфовой (мелководной) обстановке находятся россыпи фосфоритовой конкреции, некоторые коренные месторождения.



Рис. 4.2 Освоение ресурсов мирового океана

При этом практически в любом из диапазонов, продемонстрированных на рис. 4.2 возможно вести добычу углеводородов (нефть, газ, газовые гидраты).

Морская вода является гидрохимическим ресурсом (в морской воде растворено большое количество минералов). С учетом дефицита пресной воды, который будет усиливаться в ближайшем будущем, решением являются установки по опреснению морской воды. В процессе опреснения (удаления минералов из раствора) мы сможем получать не только пресную воду, но и полезные ископаемые (минералы), которые

сможем использовать. Но, в то же время, с точки зрения охраны окружающей среды если человечество начнет забирать запасы воды из мирового океана, непонятно, каким для окружающей среды окажется ущерб. Можно лишь отметить, что в обозримом будущем, с учетом того, что количество подобных установок очень невелико, ущерб будет крайне незначительным.

На диаграммах, изображенных на рис. 4.3 показано, что объем природного газа, который будет добываться под водой, будет постоянно расти, а тот объем, что находится на территории суши, будет либо постоянен, либо очень слабо расти.

Объем нефти же будет практически неизменен, имеющиеся месторождения постепенно иссекают, необходимо осваивать трудноизвлекаемые запасы. Мелководные и глубоководные проекты по добыче нефти будут играть существенную роль (40 и более процентов от общего объема добычи). Доля глубоководных проектов (темно-синяя часть диаграммы) будет увеличиваться, доля шельфовых проектов (голубая часть диаграммы) будет находиться на одном уровне.

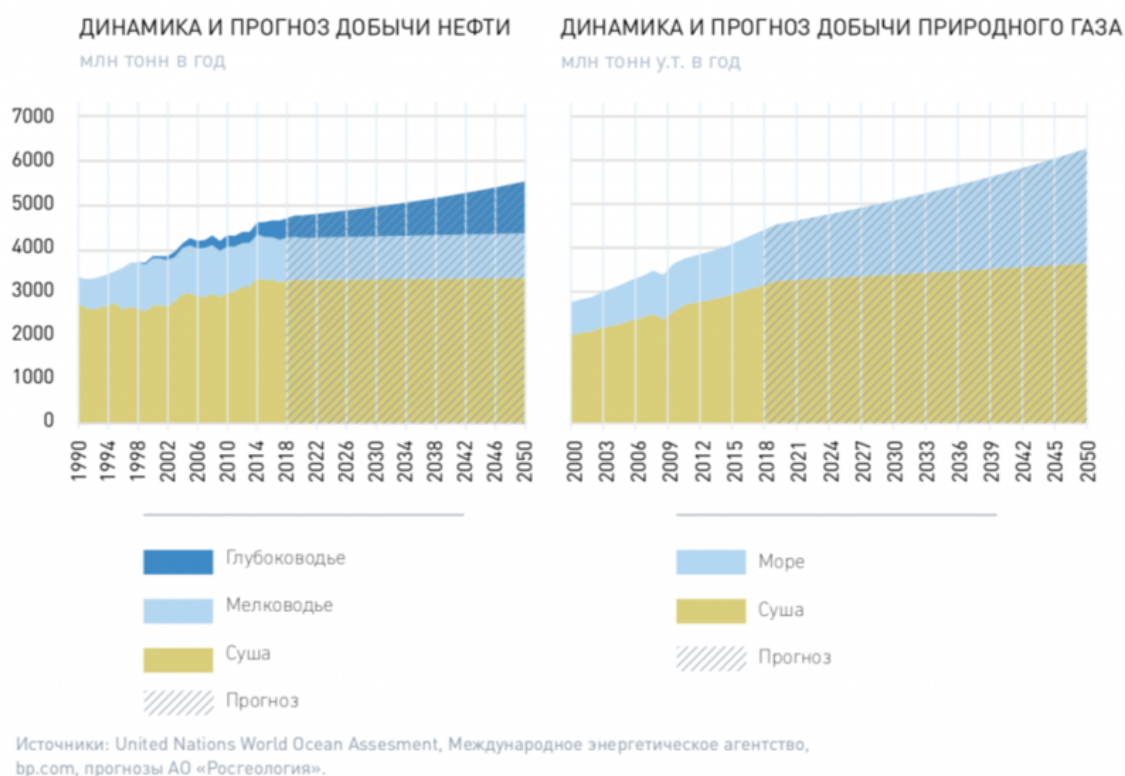


Рис. 4.3 Динамика и прогноз добычи нефти и газа

Доля добычи углеводородов шельфовых и глубоководных месторождений в мировом объеме составляет, по различным оценкам, от 30 до 35%. К 2050 году этот показатель может увеличиться до 40–45%, в том числе за счёт освоения потенциала Арктического шельфа и глубоководных, свыше 1500 метров, месторождений.



В ближайшем будущем ископаемые энергоносители по-прежнему будут основным компонентом энергобаланса. К 2050 году ископаемое топливо по-прежнему будет составлять около 75% глобального энергоснабжения.

*Газовые гидраты (клатраты)* существуют при низких температурах и высоком давлении и при нарушении этих условий легко распадаются на воду и газ. В гидратах очень высоко содержание метана: из одного кубометра газогидратов в стандартных условиях можно получить 164 кубометра этого газа. Разработка месторождений газогидратов является более дорогостоящей по сравнению с разработкой традиционных месторождений природного газа из-за низкой отдачи от масштаба, необходимости сжатия природного газа, более высокой стоимости освоения скважин.

Газогидраты – перспективный ресурс, но необходимо понимать его конкурентоспособность (рис. 4.4). На диаграмме видно, что стоимость остальных ресурсов ниже. Но в любом случае добыча газогидратов будет вестись, поскольку их запас огромен – за ними будущее.

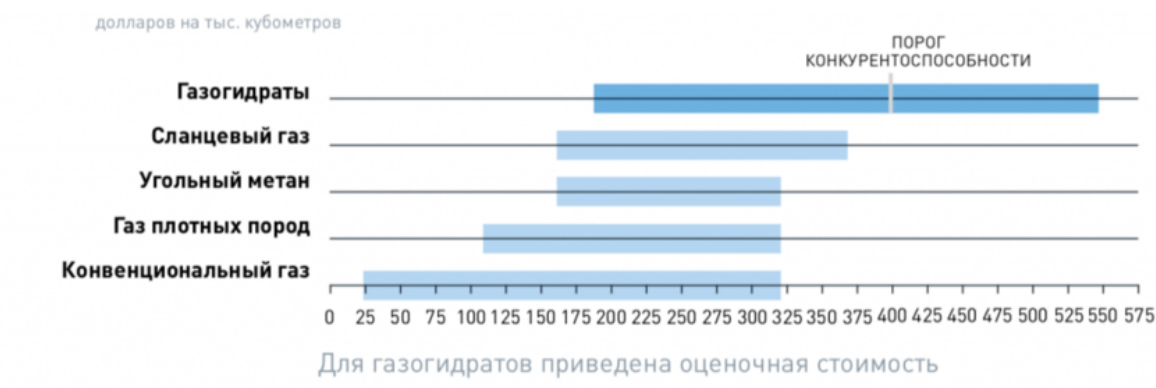


Рис. 4.4. Сравнительные издержки промышленной добычи природного газа

Рассмотрим некоторые примеры подводных полезных ископаемых с оценкой экономических показателей (рис. 4.5). Например, простота и выгодность технологий добычи строительных материалов на относительно небольшой глубине обуславливает вовлеченность в добычу стран Евросоюза, Великобритании, Японии и США. Добыча алмазов ведется в Намибии и Австралии не так активна, речь идет о подводных рассыпных месторождениях или кимберлитовых трубках. При этом объемы добычи велики. Олово в больших количествах добывают в Азиатско – Тихоокеанском регионе. Добыча железистого песчаника, фосфатов (фосфоритовые конкреции) ведется в Новой Зеландии. Также огромное количество фосфоритов добывается в разных частях света. Добыча серы и циркона демонстрирует, что постепенно, по мере развития технологий с одной стороны и потере сухопутных месторождений, интересы человечества все больше обращаются в сторону мирового океана и подводной добычи.

РЕГИОН	РЕСУРС	ОБЪЕМЫ ДОБЫЧИ	ОБЩАЯ ВЫРУЧКА	КОЛИЧЕСТВО ЗАНЯТЫХ
Евросоюз, Великобритания, Япония, США	стройматериалы	50–150 млн куб. м./год (зависит от спроса)	1–3 млрд долларов	5000–15 000
ЮАР, Намибия, Австралия (неактивно)	алмазы	1,1 млн карат	3,5 млрд долларов	1600
Индонезия, Малайзия, Таиланд, Австралия (неактивно)	олово	19 000 тонн/год	Индонезия 500 млн долларов	Индонезия – 3500
Новая Зеландия	железистый песчаник			
США, ЮАР, Австралия, Новая Зеландия, Африка, Португалия, Индия	фосфаты			
Мексика	фосфаты	Всего 327,2 млн тонн руды		
США	сера			
Австралия	циркон	1 млн тонн		

Источник: Доклад ООН "Offshore Mining Industries", 2016 год.  
[http://www.un.org/depts/los/global\\_reporting/WOA\\_RPROC/Chapter\\_23.pdf](http://www.un.org/depts/los/global_reporting/WOA_RPROC/Chapter_23.pdf).

Рис. 4.5. Расположение ресурсов с оценкой экономических показателей (при наличии данных)

По оценкам аналитиков в ближайшее время начнется добыча железомарганцевых образований и глубоководных полиметаллических сульфидов (рис. 4.6).

Основные виды океанического минерального сырья	Металл	Мировой океан		Континенты		Р океан / Р конт.
		Содержание металла, %	Потенциальные ресурсы океана (Р океан), млн тонн	Содержание металла, %	Оцененные и подтвержденные ресурсы континентов (Р конт.), млн тонн	
Fe-Mn оксидные образования (ЖМК и КМК)	Никель	0,46–1,42	654,84	1,0–1,8	271,61	~2,4
	Медь	0,12–1,18	427,38	0,71–2,80	2231,30	~0,2
	Кобальт	0,20–0,73	358,08	0,04–0,28	19,25	18,0
	Марганец	20,0–36,05	20 958,57	20,0–40,0	20 094,0	~1,0
	Платина	0,20–1,83 г/т	14,798 тыс. тонн	0,20–0,35 г/т	99,374 тыс. тонн	0,15
	Молибден	0,04–0,06	39,03	0,02–0,19	54,47	0,72
Глубоководные полиметаллические сульфиды (ГПС)	Медь	2,61–7,60	58,40	0,71–2,80	2231,30	0,025
	Цинк	7,82	175,0	2,0–11,0	760,90	0,23
	Свинец	0,18	40,20	1,3–2,8	317,90	0,12
	Золото	0,68–10,40 г/т	~1,0 тыс. тонн	1,5–5,0 г/т	193,7 тыс. тонн	–
	Серебро	36,0–164,0 г/т	~9,0 тыс. тонн	40,0–250,0 г/т	1832,0 тыс. тонн	–

Источник: С.И. Андреев, Г.А. Черкашев, Минеральные ресурсы глубоководных районов Мирового океана: состояние проблемы изучения и освоения. УДК 551.214 [265.53]:553.32.

Рис. 4.6. Содержание и потенциальные ресурсы некоторых видов океанического минерального сырья

При опреснении воды экономически целесообразно все, что находится правее диагонали (рис. 4.7). Целесообразно извлекать рубидий, бром, кальций, стронций, магний, калий, натрий, бор и литий (тот самый, что необходим для производства аккумуляторных батарей смартфонов и электромобилей). Группа химических элементов, расположенная левее диагонали, находится вне зоны рентабельности в настоящий момент, но, по мере развития технологий и все большего дефицита на суше, диагональ постепенно будет сдвигаться влево, и все больше химических элементов будут попадать в зону рентабельности.

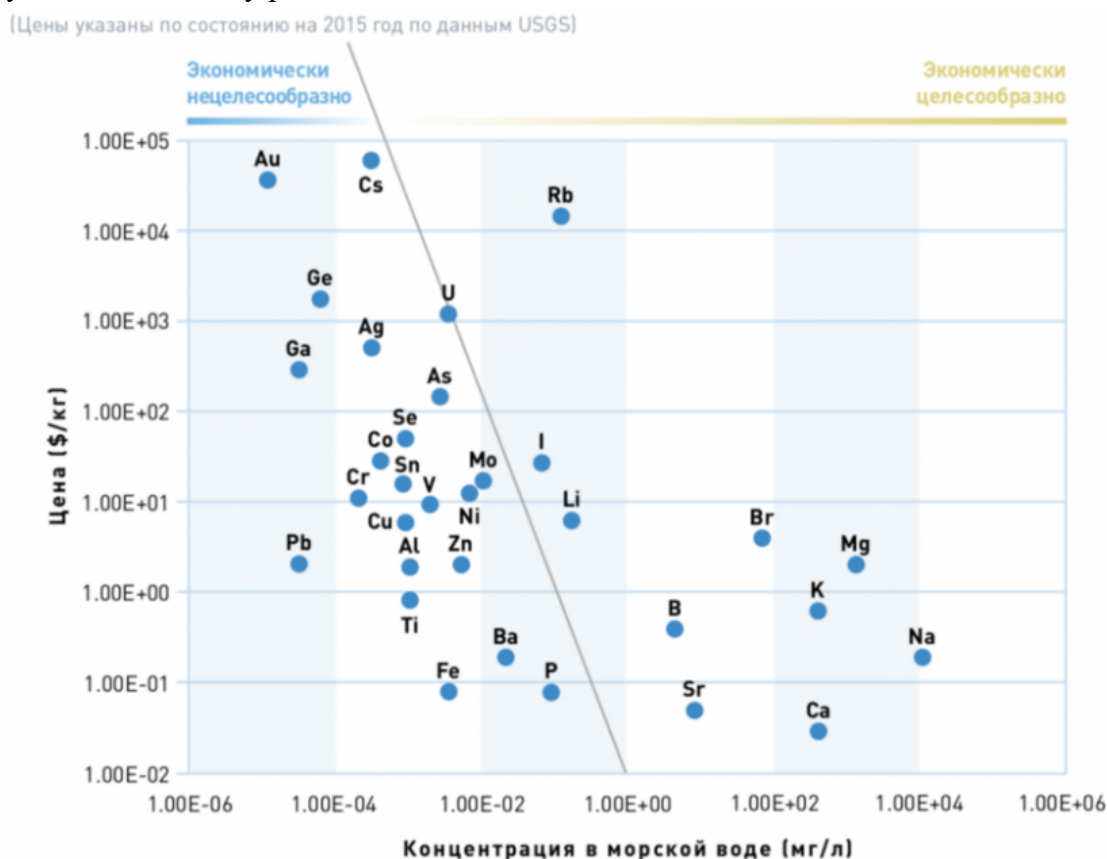


Рис. 4.7 Распределение элементов, которые могут быть извлечены из морской воды в зависимости от рыночных цен и концентраций минералов

По современным оценкам, воды Мирового океана содержат более 70 химических элементов. В наибольшем количестве океаносфера содержит соединения хлора, натрия, магния, серы, кальция. При этом вследствие огромного объема морской воды суммарная масса элементов с меньшим удельным содержанием (золото, серебро) довольно высока.

По некоторым оценкам, в 2030 году мировые объемы опреснения воды вырастут до 120 млрд тонн в год и продолжают расти дальше. Экономическая прибыль, получаемая при извлечении минералов, зависит от концентрации данных минералов в морской воде и рыночной стоимости этих минералов.

#### Добыча железо-марганцевых (Fe-Mn) конкреций

Запасы огромны (1500 миллиардов тонн чистого материала). В настоящее время уже существуют установки для добычи под водой - аналоги горных добычных машин, работающих на суше (рис. 3.5).

На рис. 4.8 обозначены основные рудные поля распространения железомарганцевых конкреций. Кроме того, на карте обозначены и другие полезные ископаемые, часто приуроченные к зонам субдукции, находятся на береговой линии. В таких зонах возможна одновременная добыча сразу нескольких дефицитных элементов.

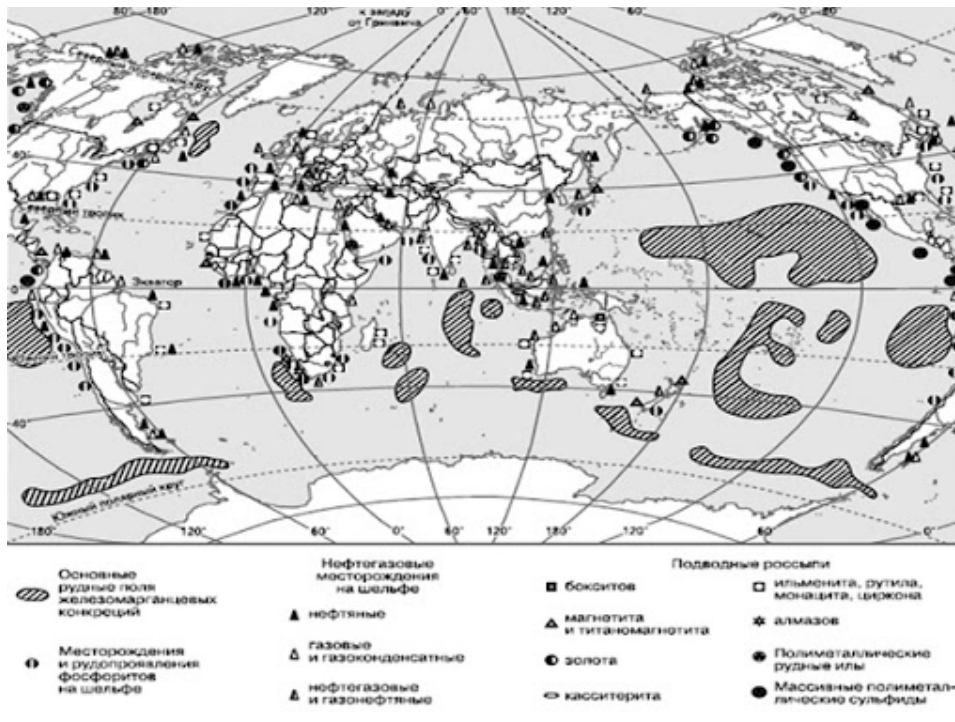


Рис. 4.8 Добыча Fe-Mn конкреций

**Фосфоритовые конкреции с цирконием** - у берегов Калифорнии имеется месторождение с запасами около 60 миллионов тонн.

**Титаномагнетитовые пески** у берегов Японии и **оловоносные (касситеритовые) пески** вблизи Малайзии и Индонезии.

У берегов Южной Индии и Шри Ланки - **ильменитовые и монацитовые пески**, содержащие железотитановую руду и фосфаты редкоземельных элементов - цезия и лантана.

Морское дно у берегов Японии хранит не менее 3 миллиардов тонн **угля**, ежегодно из этого запаса извлекают 400 тысяч тонн.

По мере исчерпания таких месторождений и по мере роста дефицита других полезных ископаемых человечеству придется осваивать большие глубины и уходить дальше от береговой линии.

Какие могут быть технологии? Например, можно построить искусственный остров (рис. 4.9). Искусственный остров был создан в Японии на расстоянии двух

километров от берега. В 1954 году через него проложили вертикальный ствол шахты «Мики». На острове создается необходимая инфраструктура и начинается добыча полезных ископаемых сухопутным способом при помощи шахт, тоннелей, штреков или установок для бурения.

Кроме того, шотландский инженер Джордж Брюс, построивший в 1575 году посреди бухты Кулросс угольную шахту с водонепроницаемым копром и устьем кессонного типа.



Рис. 4.9. Искусственный остров

В настоящее время существуют специальные высокотехнологичные суда, например, NAUTILUS (рис. 4.10), на котором располагаются установки для добычи полезных ископаемых.

Добыча чем-то напоминает установку бурения глубоководной скважины (4.11): на судне установлено GPS-позиционирование, аналог буровой колонны, но, в отличие от сухопутной техники, на конце колонны не колонковая установка или долото, а машина, напоминающая насос, закачивающая и транспортирует вверх осадок. Либо, на конце буровой колонны может располагаться установка, напоминающая лифт, в которых, при помощи искусственного интеллекта и роботизации происходит погрузка материала. Кроме того, при помощи дронов осуществляется инспекция и разведка. Таким образом, добыча полезных ископаемых на существенно большей глубине возможна.



Рис. 4.10 NAUTILUS



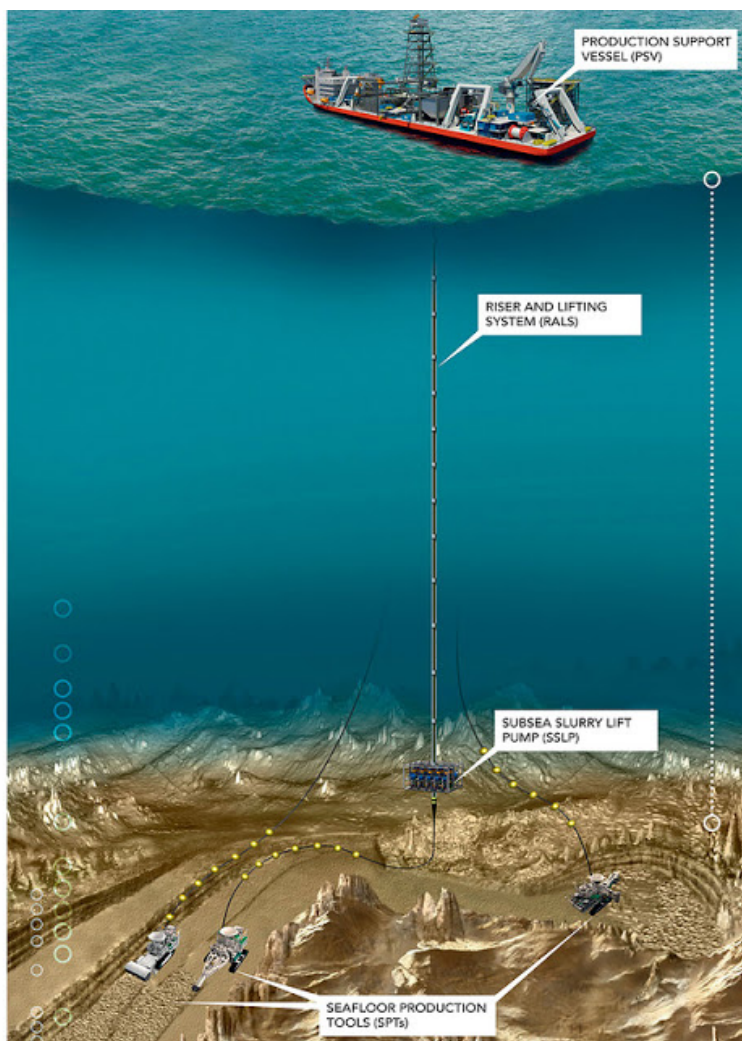


Рис. 4.11 Подводная добыча ПИ

По результатам исследований строятся карты и 3D-модели (рис. 4.12), полученный рельеф закладывается в базу данных программы, строящей маршрут аппаратам, ведущим добычу и, таким образом, происходит координирование.

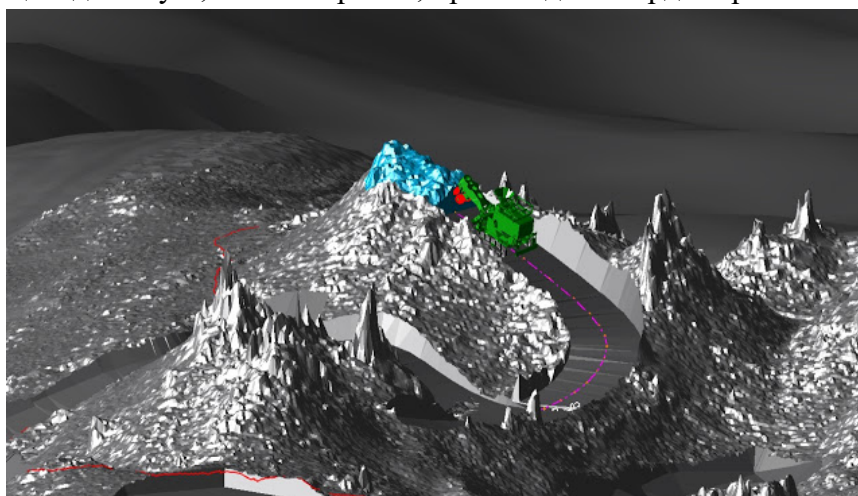


Рис. 4.12 3D-модель месторождения

Арктический проект «Айсберг» уникален тем, что позволяет вести добычу подо льдом (рис. 4.13). По разным оценкам к 30-50м годам льды Арктики растают (не полностью). Но поскольку это прогнозы, и не известно, случится ли это в самом деле, работу по добыче ПИ необходимо вести уже сейчас. В частности, за основу были взяты боевые подводные лодки, был создан сейсмический комплекс, позволяющий проводить сейсморазведку подо льдом. Таким образом, несмотря на лед, под водой ведется поиск и разведка полезных ископаемых. На последующих этапах подводная лодка типа катамарана перемещает комплекс для добычи ПИ (буровую установку и связанный с ней комплекс оборудования) на следующую точку. При накоплении добываемого ПИ и заполнении емкости добычи по сигналу датчиков прибывает носитель, и происходит смена емкостей.



Рис. 4.13 Арктический проект «Айсберг»

Проект подводного газовоза или танкера на основе подводной лодки целесообразен, поскольку существует большое количество опасностей при подобных перевозках, нередко случаются аварии танкеров: во время шторма танкер садится на мель, ломается, происходит утечка нефти; налет на скалы; часто аварии случаются, когда танкер подходит к причалу в момент загрузки или перегрузки полезного ископаемого; в момент ремонта или заправки; во время стихийных бедствия. Также известен случай столкновения двух танкеров в океане.

## Лекция 5. Трудноизвлекаемые запасы

### 5.1. Понятие ТРИЗ

По мере интенсивного освоения полезных ископаемых на суше становится все меньше месторождений, которые можно добывать традиционным способом. С этим связано понятие трудноизвлекаемых запасов (ТРИЗ) - полезные ископаемые есть, но их можно извлечь только с применением очень высокотехнологичного оборудования. Такой процесс находится на грани рентабельности. Ни частный, ни государственный инвестор, имея выбор разрабатывать традиционное месторождение или сложное, не согласится работать со сложным месторождением, понимая, что прибыль будет практически нулевая. Поэтому для освоения ТРИЗ необходимо двигаться в направлении совершенствования технологий (развитие оборудования, информатизация, внедрение искусственного интеллекта, сокращение человеческого труда). С другой стороны, необходимо вводить определённые налоговые льготы для тех инвесторов, кто готов этим заниматься, поскольку без льгот трудно будет в принципе найти инвестора.

**ТРИЗ** - запасы, заключенные в геологических пластах, особенности которых не позволяют организовать рентабельную добычу нефти с помощью существующих технологий. С 2008 года добыча «легкой» нефти постоянно снижается. В Минэнерго подсчитали, что без кардинальных изменений в нефтедобывающей отрасли показатели могут упасть с 10,9 млн баррелей в день в 2016 году до 7,7 млн баррелей в день в 2020-м. При этом российские запасы нефти огромны - больше, чем в США с их сланцевой революцией. У России есть все шансы стать мировым лидером в области добычи «нетрадиционной» нефти, нужен только особый подход.

В общероссийской добыче нефти доля ТРИЗ в настоящий момент невелика - 7,2% (по данным Газпромнефти), но она постоянно растет, а потенциальный объем добычи трудноизвлекаемых запасов фантастический - до 200 млрд тонн нефти. 67% «трудной» отечественной нефти сосредоточено в баженовской и тюменской свитах, а также в ачимовской толще в Ханты-Мансийском автономном округе (ХМАО).

Для ведения добычи необходима инфраструктура (система трубопроводов, система электроснабжения, населенные пункты), логичнее и дешевле вести добычу труднодобываемых ресурсов на обустроенной территории, а не проводить полный поиск, разведку и обустройство заново.

Площадь распространения отложений баженовской свиты составляет более 1 миллиона квадратных километров. Свита расположена на территории Западной Сибири и залегает на глубине 2-3 км. Она образована морскими отложениями на рубеже юрского и мелового периодов - около 145 млн лет назад. По оценкам геологов, в ее недрах таится до 60 млрд т нефти. При этом баженовская нефть отличается высоким качеством - она легкая и малосернистая, а значит, ее просто перерабатывать. Минус ее заключается в сложности добычи.

Многие трудные месторождения открыли еще советские геологи в 60-х годах прошлого века, оставив их для освоения будущим поколениям. Это запасы баженовской,

абалакской и фроловской свит Западной Сибири, территории в Карском и Баренцевом морях, районы Сахалина. Тогда было достаточно легкодоступной нефти, а необходимых технических ресурсов для разработки ТРИЗ не было.

Стратегическое значение для России имеют отложения баженовской свиты, запасы здесь могут составлять до 120 млрд тонн нефти, это примерно в пять раз больше, чем на месторождении Баккен в США, с которого и началась американская сланцевая революция.

Любопытно, что долгое время баженовская свита считалась региональным экраном для ловушек нефти и газа, лишь современные научные исследования доказали наличие в этих породах огромного количества запасов высококачественной «легкой» нефти.

## 5.2. Основные технологии разработки месторождений ТРИЗ

**Основные технологии разработки месторождений ТРИЗ**, над которыми работают российские компании:

- Совершенствование конструкции горизонтальных скважин с многостадийным гидроразрывом пластов,
- Строительство высокотехнологичных скважин, интегрированный инжиниринг и совершенствование системы моделирования в сложных геологических зонах

**Гидравлический разрыв пласта** - технология, которая много десятилетий применяется во всем мире при добыче углеводородов. В скважину с помощью мощных насосных станций закачивается жидкость, создающая в породе трещины, по которым нефть попадает в забой. Для поддержания трещины в открытом состоянии используется расклинивающий агент проппант. При этом надо понимать, что большое количество смесей и реагентов закачивается в недра Земли – с точки зрения охраны окружающей среды об этом следует постоянно помнить.

**Гидравлический разрыв пласта (ГРП)** - один из наиболее эффективных способов воздействия на пласт для повышения нефтедобычи на месторождении и увеличения коэффициента извлечения нефти (КИН) из недр.

Для проведения ГРП в пласт под высоким давлением закачивается смесь жидкости и специального расклинивающего агента (проппанта). В процессе подачи смеси формируются высокопроводящие каналы (трещины ГРП). Эти каналы обеспечивают связь ствола скважины с пластом, а за счет значительной величины контакта трещины с породой интенсивность притока нефти кратно увеличивается. При многостадийном гидравлическом разрыве пласта (МГРП) в стволе горизонтальной скважины выполняется несколько операций гидроразрыва, что позволяет многократно увеличить зону охвата пласта одной скважиной.

На рис. 5.1 представлена основная технология ГРП. В сланцеватых породах создаются трещины, через которые происходит сбор углеводородов.



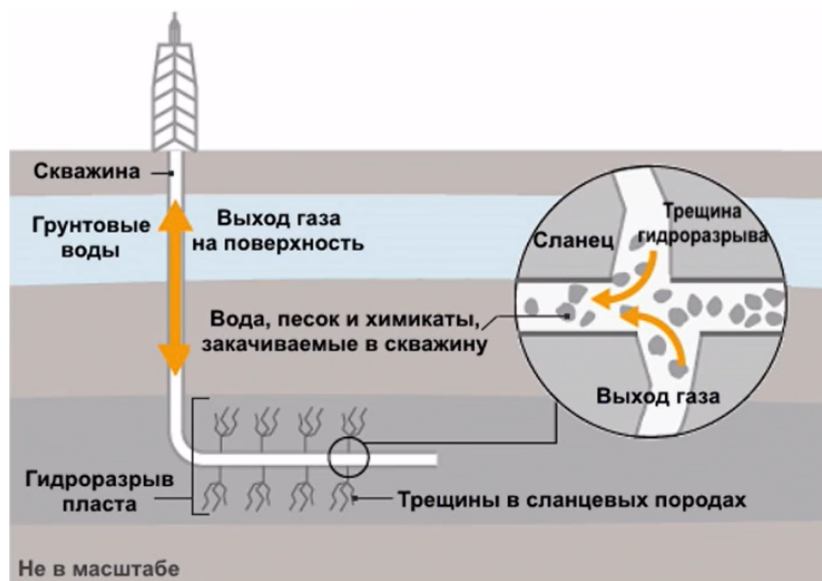


Рис. 5.1 Технология ГРП

### Кластерная технология проведения ГРП

Кластерная технология ГРП (рис. 5.2) используется на нефтяных месторождениях «Газпром нефти» уже несколько лет и отличается от традиционной методики проведения гидроразрыва тем, как ведется подача керамического проппанта в пласт. Обычно он подается непрерывно в течение всей операции ГРП и полностью заполняет образовавшуюся от ГРП трещину. При выполнении операции по кластерной технологии проппант подается в скважину попеременно со специальным синтетическим волокном, способным образовывать каналы внутри трещины. Таким образом кластерная технология на 40-50% сокращает количество проппанта, необходимого для операции ГРП. В свою очередь, испытанный на месторождениях «Газпромнефть-Хантоса» метод замены проппанта кварцевым песком (стоимость которого в 2-3 раза ниже) показывает еще более высокую производственную и экономическую эффективность.

**Гибридный МГРП.** «Газпромнефть» получила рекордный дебит на ачимовском пласте. На Вынгайхинском месторождении был проведен 8-стадийный ГРП, во время которого была протестирована новая жидкость, значительно увеличивающая его эффективность. Технологии постоянно совершенствуются. На Вынгайхинском месторождении был проведен 8-стадийный ГРП, во время которого была протестирована новая жидкость, значительно увеличивающая его эффективность. По результатам выполненных работ запускной дебит одной из скважин составил 300 т/сутки, что в 3 раза выше ожидаемых параметров.

В дальнейшем технологию планируется применять также на Вынгапуровском, Еты-Пуровском, Карамовском и других месторождениях компании, где есть ачимовские запасы. Это позволит получить дополнительно более 28 млн т нефти, в т. ч. 7 млн т - до 2025 г.

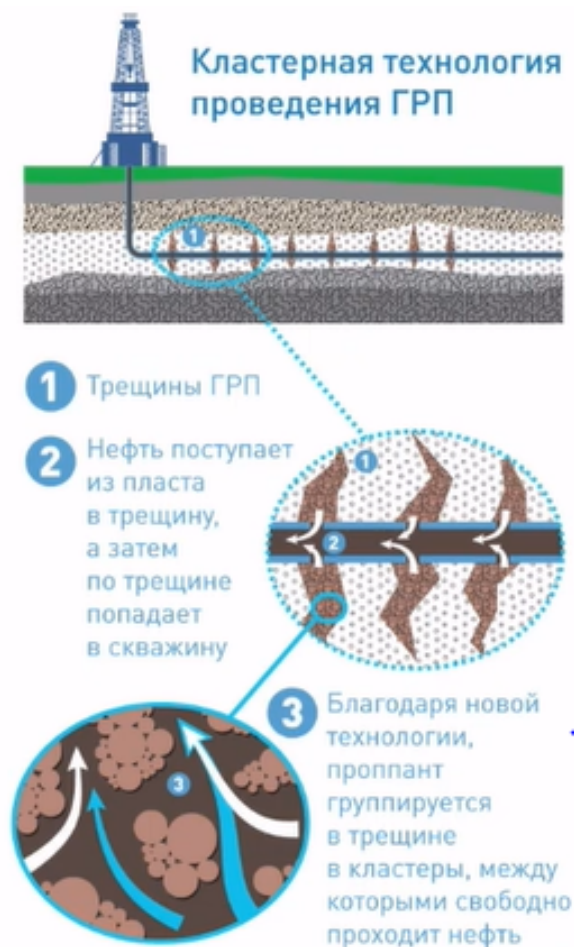


Рис. 5.2. Кластерная технология ГРП

При гибридном гидроразрыве пласта (ГРП) используются комбинации технологических жидкостей с различными свойствами. Его преимущество перед стандартным гидроразрывом заключается в более обширном охвате пласта благодаря удлинению трещин ГРП и формированию вокруг них большой сети микротрещин, напоминающей паутину. Этот эффект достигается за счет изменения объемов, состава закачиваемой жидкости и проппанта и увеличения скорости их закачки.

Несмотря на то, что ГРП на сегодняшний день получает все более широкое распространение благодаря новым технологиям, этот вид работ сам по себе не является новшеством. За последние шестьдесят лет технология гидроразрыва пласта использовалась более чем в 1 миллионе скважин по всему миру.

#### Экологическая опасность технологии ГРП

В результате ГРП возможно загрязнение грунтовых вод химическими веществами. 1% рабочей жидкости ГРП - гелиевый раствор на основе химдобавок, которые позволяют создать трещины. Если расклинивающий агент относительно безвреден, то химдобавки - это довольно токсичные вещества. В США настолько развит ГРП, что ущерб от него тоже ощутимо: за счет обводнения пластов и насыщения его

флюидами, что приводит к повышению сейсмичности (магнитуда может возрасти на 1 балл). Повышение магнитуды землетрясений будет приводить к подвижкам грунта, нарушениям водоносных горизонтов и большому риску загрязнения.

### **5.3. Классификации ТРИЗ**

В 1994 году академики РАЕН Н. Н. Лисовский и Э. М. Халимов предложили первую классификацию трудноизвлекаемых запасов и количественные критерии ТРИЗ. Классификация была основана на граничных значениях основных геологических и технологических параметров, а также отдельно - на степени удаленности от существующих центров нефтегазодобычи. Были зафиксированы:

- группы запасов аномальной по своим характеристикам нефти,
- неблагоприятных (малопроницаемых и низкопористых) коллекторов,
- технологическая группа ТРИЗ, определяемая по критерию выработанности месторождения,
- географическая группа (удаленность от инфраструктуры)
- группа низкопродуктивных пластов и горизонтов.

Эта классификация и сейчас используется при определении налоговых льгот, однако количественные критерии групп ТРИЗ, которые содержатся в Налоговом кодексе РФ и в классификации Лисовского и Халимова, различаются. При этом в Государственной комиссии по запасам полезных ископаемых считают, что объективных обоснований, принятых в Налоговом кодексе РФ критериев отнесения тех или иных запасов к ТРИЗ, не существует.

Сейчас достаточно четкие, пусть и временные, критерии отнесения тех или иных запасов к ТРИЗ дает приказ Министерства природных ресурсов РФ от 1998 года. По состоянию на январь 2016 года в документе сформулировано: «Трудноизвлекаемыми следует считать запасы, экономически эффективная (рентабельная) разработка которых может осуществляться только с применением методов и технологий, требующих повышенных капиталовложений и эксплуатационных затрат по сравнению с традиционно используемыми способами».

Как уточняют в ГКЗ, до разработки соответствующих регламентирующих и нормативных документов к трудноизвлекаемым запасам нефти могут быть отнесены:

- запасы всех типов залежей и месторождений, извлекаемые с применением термических методов или закачки реагентов,
- запасы подгазовых частей тонких (до 3 метров) нефтяных оторочек
- запасы периферийных частей залежей, которые имеют насыщенные нефтью толщины меньше предельных для рентабельной разработки сетью эксплуатационных скважин.

Отнесение запасов к трудноизвлекаемым по этим признакам производится на основании экспертизы ГКЗ, финальное решение принимает Министерство природных ресурсов РФ по согласованию с Министерством экономики РФ.

Для того чтобы дать определение ТРИЗ, необходимо сделать пофакторный анализ неразрабатываемых запасов нефти и определить причины низкого вовлечения их в разработку.

*К ТРИЗ относятся запасы высоковязких нефтей, низкопроницаемые коллекторы, подгазовые зоны и нефтяные оторочки, выработанные (истощенные) залежи, нетрадиционные источники углеводородного сырья (сланцевые коллекторы) и месторождения, удаленные от инфраструктуры.*

К примеру, драйвером разработки запасов низкопроницаемых коллекторов (это примерно 60% мировых запасов ТРИЗ) становится совершенствование технологий воздействия на пласт, в первую очередь - технологии гидроразрыва (ГРП). Различные вариации многостадийного ГРП успешно применяются на российских месторождениях.

Однако необходимыми отечественными технологиями, которые позволяют дифференцированно разрабатывать низкопроницаемую часть пласта и бурить высокотехнологичные скважины с приемлемым уровнем стоимости, российские месторождения в широком масштабе пока не обладают.

В компании «Газпромнефть» внедряются технологические проекты по добыче нефти из сложных карбонатных коллекторов. На Куюмбинском месторождении стартовал пилотный проект определения зон, в которых лучше всего размещать скважины. Чонское месторождение со сложными засоленными коллекторами стало экспериментальной площадкой для реализации проекта интенсификации притока нефти и нескольких технологических проектов в области геологоразведки и разработки запасов. Отдельные месторождения становятся учебными полигонами, где сходятся интересы ученых-теоретиков и практиков, идет моделирование, появляются новые подходы к использованию существующих технологий гидроразрыва, появляются новые программные обеспечения и решения по оборудованию.

К настоящему моменту одним из наиболее эффективных критериев трудноизвлекаемости запасов является проницаемость коллекторов. В 2012 году распоряжением правительства РФ трудноизвлекаемые запасы были сведены в четыре категории - *от проектов по добыче нефти из коллекторов с низкой, крайне низкой и предельно низкой проницаемостью до проектов по добыче сверхвязкой нефти.*

Чтобы стимулировать освоение таких залежей, была введена дифференцированная шкала налога на добычу полезных ископаемых (НДПИ). Льгота для самых сложных проектов рассчитывается на 10 лет и подразумевает НДПИ в размере от 0 до 10% от стандартной ставки. Для средней категории сложности льгота составляет 10-30% на 7 лет, для более легких - 30-50% на 5 лет.

Трудноизвлекаемыми признаются и запасы месторождений с высокой обводненностью. Для дальнейшей разработки выработанных (истощенных) залежей (это более 15% нынешней российской добычи) нужно решать проблему высокой себестоимости процесса, связанной с большим объемом извлекаемой вместе с нефтью



воды. Снижение обводненности месторождений на 1% позволяет уменьшить операционные затраты на добычу нефти на 15%.

Добыча высоковязкой нефти осложняется ее низкой подвижностью в пласте, сложностью подъема на поверхность и дальнейшей транспортировки. Проблема решается с применением дорогостоящих технологий, которые, как правило, реализуются зарубежными компаниями. Например, это технологии закачки в пласт горячей воды или пара, применения специальных обогревателей и винтовых насосов.

К ТРИЗ относят и нефть из подгазовых зон и нефтяных оторочек месторождений. Здесь проблемами становятся возможность неконтролируемых прорывов газа к нефтяным скважинам и низкие коэффициенты извлечения нефти. Необходимы специальные технологии изоляции нефтяных и газовых толщин, дефицит таких технологий переводит данные запасы в категорию трудноизвлекаемых.

Запасы, которые находятся на удалении от основных центров нефтегазодобычи, тоже записывают в ТРИЗ, хотя в этом случае проблемой может быть не технологический вызов, а исключительно затраты, которые связаны со строительством логистических и других инфраструктурных объектов. Решение - интегрированное проектирование и использование оптимальных стратегий освоения территорий. Именно такой подход применялся в «Газпром нефти» при вводе в эксплуатацию Новопортовского и Восточно-Мессояхского месторождений.

К льготным по критерию отдаленности в России сегодня относятся месторождения Якутии, Иркутской области, Красноярского края, Ненецкого АО, полуострова Ямал в ЯНАО. Некоторые субъекты РФ льготируют проекты добычи углеводородов на шельфе. Строго говоря, определение запасов на шельфе как ТРИЗ не является официальным, хотя трудности добычи здесь понятны, особенно когда речь идет об арктическом шельфе России.

#### 5.4. Нетрадиционные запасы

Помимо понятия «трудноизвлекаемые запасы» сегодня все чаще можно услышать о нетрадиционных запасах. Их априори относят к ТРИЗ, но разработка их оказывается в разы сложнее. Дело в том, что подсчет нетрадиционных запасов и прогнозирование их разработки в рамках традиционных понятий нефтепромысловой геологии и гидродинамики невозможны. Для их описания, по сути, необходимо создание новой научной дисциплины.

К нетрадиционным запасам обычно относят:

- сверхтяжелую нефть,
- битуминозные пески,
- керогеновую нефть, или сланцевое масло (оно добывается из горючих сланцев при помощи термических методов).

*Керогены* - полимерные органические соединения, которые встречаются в таких породах, как нефтеносные сланцы, и являются одной из форм нетрадиционной нефти.

Согласно теории появления органических нефтяных материалов, остатки растений и морских организмов под воздействием высоких температур и давления преобразуются в первую очередь в кероген, затем в битум и, наконец, в нефть и газ.

В английском языке сланцевое масло именуют *oil shale*, но с некоторых пор в понятиях появилась определенная путаница. Как правило, на Западе сланцевыми формациями называют нефтематеринские свиты, которые при определенных условиях могут содержать значительные ресурсы «легкой» нефти. Эту нефть называют *shale oil*. Такая нефть содержится на больших глубинах, в низкопроницаемых пластах. В частности, на знаменитых месторождениях Баккен и Игл-Форд, где разрабатывают нефтематеринские свиты, добывают обычную «легкую» нефть, т. е. *shale oil*. Именно с них началась сланцевая революция, а термин «сланцевая нефть» прижился и в России - его используют для всех гигантских запасов российской баженовской свиты, которые состоят из традиционной «легкой» нефти (*shale oil*) и генерационного потенциала керогена - твердого органического вещества, из которого при высоких давлениях и температурах генерируется нефть (*oil shale*).

Министерство энергетики РФ одобрило заявку «Газпром нефти» на присвоение статуса национального проекту создания комплекса отечественных технологий и высокотехнологичного оборудования разработки запасов баженовской свиты, для реализации которого на Пальяновской площади Красноленинского месторождения в ХМАО строится технологический центр «Бажен».

Здесь будет создан специализированный полигон, на котором будут испытываться технологии поиска и разработки перспективных нефтегазоносных баженовских отложений. Это будет своего рода отраслевая площадка, на которой будут работать заинтересованные в освоении бажена крупные нефтяные компании и научные центры. Задача минимум - создать 15 технологий в разных направлениях, таких как поиск, добыча, оборудование и программное обеспечение. Основные работы по проекту планируется завершить в 2021 году.

Общие инвестиции составят 8,5 млрд руб., из которых 7,5 млрд пока приходится на долю «Газпром нефти». Уже сегодня в числе научных партнеров проекта - Инжиниринговый центр МФТИ, Сколковский институт науки и технологий, МГУ им. М.В. Ломоносова, РГУ нефти и газа им. И. М. Губкина, МГТУ им. Н.Э. Баумана. Идут переговоры с производителями оборудования, сервисными и нефтяными компаниями.

Первые существенные результаты появились, когда на Пальяновской площади были пробурены две высокотехнологичные горизонтальные скважины и проведен многостадийный гидроразрыв. Приток нефти составил 45 т в сутки. Добыча из этих скважин за весь период работы достигла 15 тыс. т. Удалось создать ГРП со следующими параметрами: 3 мм толщина разрыва. 50 м длина, 200 м высота.

До 2027 года «Газпром нефть» намеревается пробурить на экспериментальной площадке более ста горизонтальных скважин с использованием метода гидроразрыва

пласта. Всего за ближайшие 10 лет на этом месторождении из баженовской свиты планируется добыть около 7,5 млн. т. нефти.

Баженовская свита хоть и приоритетный, но далеко не единственный проект освоения ТРИЗ «Газпром нефти».

*Ачимовская толща* - еще одно богатое нефтью природное хранилище. Решение о выделении ачимовской толщи в самостоятельный поисковый объект и о начале реализации проекта «Большая Ачимовка» было принято в «Газпром нефти» в 2016 году. С тех пор ведутся работы по созданию региональной геологической модели ачимовской толщи, в рамках целевых программ совершенствуются технологии бурения и интенсификации притока в пластах, обладающих сложным геологическим строением, а также рассматриваются возможности развития ресурсной базы компании.

Бурение горизонтальных скважин с многостадийными гидроразрывами и применение нестандартных технических решений позволят выйти на приемлемый уровень рентабельности при освоении ачимовских залежей. Но легкой нефти в этих широтах больше не будет. В сентябре этого года «Газпромнефть-Ямал» (дочерняя компания «Газпром нефти») приступила к опытно-промышленной добыче нефти из ачимовской толщи Северо-Самбургского нефтяного месторождения.

На участке расконсервирована и испытана скважина, пробуренная предыдущим владельцем. В режиме фонтанирования дебит скважины значительно превысил плановые показатели и составил в среднем 120 т в сутки. Общие геологические запасы опытного участка оцениваются в 426 млн т нефти.

Поскольку именно в Томской области накоплен ценный опыт работы с трудноизвлекаемыми запасами, здесь было решено создать полигон для разработки новейших технологий поиска, разведки и разработки нетрадиционных источников углеводородного сырья, к которым относят и палеозой. В 2015 году правительство распорядилось создать на базе Института природных ресурсов Томского политехнического университета инновационный центр «ИНО Томск» с образованием кластера технологий освоения трудноизвлекаемых природных ресурсов.

### **5.5. Технологии освоения трудноизвлекаемых углеводородов**

Цель: Обеспечение к 2025 году рентабельной разработки трудноизвлекаемых запасов баженовской свиты.

Руководитель: Заместитель Министра энергетики Российской Федерации П.Ю. Сорокин.

*Баженовская свита* - группа нефтематеринских горных пород, выявленная на территории около 1 млн кв. км в Западной Сибири. Свита залегает на глубинах 2-3 км, имеет небольшую толщину и уникальное геологическое строение. По прогнозным оценкам объем геологических запасов углеводородов в баженовской свите достигает 18-60 млрд тонн. Эффективных технологий работы с баженовской свитой на сегодня не существует.

Минэнерго России совместно с Минприроды России, Минпромторгом России, Администрацией Ханты- Мансийского автономного округа - Югры и ПАО «Газпром нефть» ведется разработка федерального проекта «Освоение баженовской свиты в Западной Сибири» (далее - федеральный проект «Бажен») (рис. 5.3).

Федеральный проект «Бажен» - это стратегическая программа по созданию комплекса отечественных технологий и высокотехнологичного оборудования разработки запасов баженовской свиты, рассчитанная до 2025 года.

В рамках данного федерального проекта планируется к 2025 г. обеспечить:

- вовлечение в разработку более 760 млн т извлекаемых запасов углеводородов;
- увеличение поступлений в бюджет Российской Федерации на 30 млрд руб./год за счет акцизов, налогов и других отчислений;
- создание дополнительно до 16 000 рабочих мест;



<https://minenergo.gov.ru/node/14095>

Рис. 5.3. Проект «Бажен»

Технологические проекты, над которыми ведется работа в рамках федерального проекта, призваны обеспечить замещение импортных технологий и создать конкурентный рынок высокотехнологичных нефтесервисных услуг в России.



Технологии федерального проекта «Бажен» востребованы отраслью нефтедобычи и обеспечивают технологическую независимость страны в области разведки и разработки нетрадиционных запасов нефти и газа. Помимо этого, проект характеризуется значительным объемом внутреннего рынка и обладает высоким экспортным потенциалом.

Технологические, научные и поисковые проекты реализуются в партнерстве с российскими компаниями. На сегодня федеральный проект «Бажен» объединяет уже более 20 научно-исследовательских институтов, представителей крупного бизнеса и ВИНК.

*Ключевые результаты реализации федерального проекта «Бажен» в 2018 году:*

- Пробурено 10 высокотехнологичных скважин, 3 из них введены в эксплуатацию.
- Промышленные притоки получены в 100% горизонтальных скважин.
- Достигнут новый рекорд по срокам бурения скважины: 35 суток вместо 47 запланированных
- Снижены сроки проведения единичной стадии ГРП с 48 до 24 часов (лучший результат 8 часов).
- Проведены тестовые испытания 8 новых технологий бурения и внутрискважинных работ.

В 2019 году в рамках реализации проекта предусмотрено создание системы государственных стимулов для освоения баженовской свиты, единого цифрового пространства - IT-платформы с базой данных по исследованиям баженовской свиты, доступных участникам реализации проекта, и регионального центра компетенций для изучения ее ресурсов, в который войдут центр исследования керна и индустриальный парк в Ханты-Мансийске. Одним из уникальных решений проекта станет создание первого технологического полигона на Пальяновской площади Краснотурбинского месторождения ХМАО, где сейчас ведется разработка бажена. Полигон станет той площадкой, где участники реализации проекта смогут проводить долгосрочные производственные эксперименты, отрабатывать гипотезы и тестировать отечественные инновационные разработки. Итогом такой работы должна стать разработка к 2021 году промышленной, а к 2025 году - рентабельной технологии добычи нетрадиционных запасов углеводородов.

### **5.6. Разработка гидратов**

**Газовые гидраты** - твердые льдоподобные вещества, в одном объеме которых может находиться до 170 объемов газа. Кристаллический каркас гидратов построен из связанных водородными связями молекул воды. В этом каркасе есть полости молекулярного размера, в которых и размещаются молекулы газов или легколетучих жидкостей. Классические примеры гидратообразователей - *углеводороды до бутана, инертные газы, многие фреоны*. Из жидкостей - *ацетон, четыреххлористый углерод и т. д. и т. п.*

Впервые гидрат (гидрат хлора) был открыт в начале XIX века. Природные гидраты были открыты в 1960-х годах учеными бывшего СССР.

Ранее предполагалось, что нуклеация гидрата происходит «в произвольной точке поверхности контакта вода-газ или вода-насыщенная газом органическая жидкость».

Сейчас все больше свидетельств, что ситуация сложнее, необходима как минимум тройная линия контакта: вода-газ-стенка (особенно если стенка металлическая). При наличии свободного контакта вода-газ нуклеация гидрата происходила на стенке стеклянной кюветы (граница вода-стекло). Скорее всего, гидрат образуется на той поверхности, которая предоставляет ему для этого наиболее благоприятные условия (для гетерогенной нуклеации ситуация вполне стандартная, но конкретно в случае гидратов не совсем изученная). В связи с этим много работ посвящено поиску поверхностей - катализаторов гидратообразования.

В современных технологиях добычи нефти и газа газогидраты вызывают значительные осложнения. Например, при шельфовой добыче нефти из находящейся на дне скважины под давлением выходит горячий поток из нефти, рассола и попутного газа. В трубе он охлаждается. Если температура и давление окажутся подходящими, то может образоваться гидратная пробка, удалить которую непросто и дорого.

Такие ситуации возникают на наших северных газовых месторождениях, где по промысловым трубопроводам идет газ, вода и, возможно, газовый конденсат. Гидратные пробки здесь образуются немного по другому механизму, но ситуацию это не изменяет.

Обычно образование гидратных пробок предотвращают закачкой метанола, гликолей или солевых растворов: при постоянном давлении растворение этих веществ в воде приводит к падению равновесной температуры гидратообразования (термодинамические ингибиторы). Это дорого и, мягко говоря, неэкологично (потом все эти растворы надо как-то утилизировать).

Альтернативный способ – разрабатываемые сейчас «малодозовые» ингибиторы гидратообразования, в частности *кинетические ингибиторы*. Их добавки замедляют нуклеацию гидрата настолько, что за время нахождения в опасной по гидратообразованию зоне трубопровода (например, пока поток не вышел в более теплую часть трубы) гидрат просто не успевает образоваться. Эти добавки влияют именно на нуклеацию.

### **Рост и разложение гидрата**

Можно сказать, что одним из относительно малоисследованных направлений является управление ростом гидратов. Если мы просто возьмем воду и надавим на нее гидратообразователем, то гидрат вырастет в виде пленки на поверхности воды. Эта пленка изолирует газ от воды, и реакция прекращается. Чтобы процесс шел дальше, нужно механически ломать эту пленку.

Существуют вещества (в том числе обыкновенные ПАВЫ), которые не дают образоваться этой прочной пленке, в результате гидрат образуется в виде рыхлой массы, которая выталкивается на стенки реактора.

### **Эффект самоконсервации гидратов**

Эффект самоконсервации гидратов при температурах ниже  $0^{\circ}\text{C}$  - резкое замедление скорости разложения гидрата, вызванное образованием на его поверхности корки льда. Возникает при температурах от  $-30^{\circ}\text{C}$  до почти  $0^{\circ}\text{C}$ . Упрощая ситуацию, можно сказать, что при разложении гидрата выделяется жидкая вода, которая замерзает и образует эту самую изолирующую пленку. Ниже  $-30^{\circ}\text{C}$  вода замерзает, но пленки не образует. Проявление эффекта самоконсервации сильно зависит от размера и совершенства структуры куска гидрата.

Большие куски прозрачного гидрата (сантиметры, десятки сантиметров) могут долго (месяцы) храниться в морозилке обычного холодильника с небольшой потерей газа (надо только в пакет положить, чтобы лед с поверхности не испарялся). Частицы размером миллиметр и меньше на воздухе практически не консервируются, разлагаются довольно быстро. Недавно мы показали, что если частицы гидрата покрыты нефтью, то могут консервироваться даже частицы размером в несколько десятков микрон - нефть помогает формировать плотную ледяную корку. *Этот эффект можно использовать для хранения газов.*

### **Природные запасы углеводородных гидратов в океанах и многолетнемерзлых породах в мире и в России**

Скопления обнаружены на шельфах практически всех материков, в осадках озера Байкал, в вечной мерзлоте (Канада, Китай). Больше всего газа в морских скоплениях, находящихся в нескольких сотнях метров под дном. Здесь наиболее достоверное количество газа составляет 10 в пятнадцатой степени кубических метров газа (больше, чем в скоплениях традиционного типа). Общемировые запасы гидратного метана в придонных скоплениях (непосредственно на дне и первые метры под дном) оцениваются в 3,5 на 10 в тринадцатой степени кубических метров. Примерно столько же в мерзлоте, но по мерзлотным гидратам оценки плохие, они мало исследованы (в России особенно).

Китай и Япония проводят опыты по добыче гидратного метана (хотя добыча пока невыгодна). Например, в 2017 году Геологическая служба Китая провела тестовые испытания добычи метана в Южно-Китайском море из скопления гидратов в глинистых породах. По оценкам специалистов ВНИИГАЗ, в России может быть выгодным газоснабжение гидратным газом малых потребителей и создание сезонных хранилищ газа в вечной мерзлоте. По оценкам некоторых организаций, прежде всего Газпром ВНИИГАЗ, ресурсы метана в газогидратах на территории РФ составляют от 100 до 1000 трлн кубометров, в арктической зоне, в том числе морях, - до 600- 700 трлн кубометров, но это очень приблизительно.

Исследователи считают газовые гидраты перспективным источником энергии, который может быть востребован, в частности, странами, ограниченными в других энергоресурсах, например, Японией и Южной Кореей. Оценки содержания метана, сжигание которого дает энергию, в газогидратах в мире разнятся: от 2,8 квадриллионов тонн по данным Минэнерго РФ до 5 квадриллионов тонн по данным Мирового энергетического агентства (МЭА). Даже минимальные оценки отражают огромные запасы: для сравнения, общемировой объем запасов нефти корпорация BP (British Petroleum) в 2015 году оценила в 240 млрд тонн.

Помимо собственно источника энергии, газогидраты могут стать спасением от парниковых газов, что позволит остановить глобальное потепление. Освободившиеся от метана пустоты можно заполнять углекислым газом.

Разведку и разработку газогидратных месторождений учитывает в числе долгосрочных перспектив газодобычи прогноз развития топливно-энергетического комплекса России на период до 2035 года.

Сроки промышленной добычи зависят как от экономической и доступной технологии поиска, локализации и добычи газа, так и от рыночных факторов. Газодобывающие компании имеют достаточное количество запасов традиционного газа, поэтому рассматривают технологии добычи газа из газогидратов как задел на долгосрочную перспективу

На некоторых газовых промыслах севера Западной Сибири при истощении традиционных газовых коллекторов возможна разработка вышележащих горизонтов, где газ может находиться и в гидратной форме. Это возможно в ближайшем десятилетии, все будет зависеть от стоимости энергоносителей.



## Лекция 6. Инновационное недропользование в космическом пространстве

### 6.1 Добыча полезных ископаемых в космосе

В последнее время активно развивается частная космонавтика, активно обсуждаются проекты по освоению Луны и Марса. Вместе с этим становится понятно, что для строительства сооружений нужны материалы, и доставлять их с Земли проблематично. Обсуждается добыча полезных ископаемых в космосе. Какие именно полезные ископаемые возможно добывать, существует ли какая-либо нормативная законодательная база и какие компании и каким технологиями планирует вести добычу, а также решать другие проблемы в космическом пространстве?

В настоящее время основным положением международного права по космосу является договор ООН, подписанный в 1967 году, который в основном направлен на нераспространение и неразмещение в космосе и на космических телах оружия массового уничтожения, а также запрещает распространение суверенитета государств на космические объекты или их части. При этом в договоре говорится, что Луна и другие небесные тела могут использоваться исключительно в мирных целях. Условия добычи полезных ископаемых в договоре не обговариваются.

Первый закон, регулирующий добычу полезных ископаемых в космосе, принят в Соединенных Штатах Америки в 2015 году. Юридически, он не имеет силы, поскольку это не резолюция одного из Советов ООН. Одна из его статей гласит: «Гражданин США, занимающийся коммерческой добычей ресурсов на астероиде или других космических ресурсах, имеет право на любой полученный астероидный или другой космический ресурс, в том числе право владеть, перевозить, использовать и продавать его в соответствии с действующим законодательством, включая международные обязательства США». По сути, в одной из стран создается прообраз законодательной базы.

В Европе первым стал Люксембург. В 2017-м здесь вступил в силу закон, легализующий собственность компаний на извлеченные ими космические ресурсы. Чтобы действовать в правовом поле, шахтеры небесных тел должны иметь офис в этой стране и получить письменное разрешение правительства.

НАСА в 2013 году начало реализацию проекта по доставке небесных тел в окрестности Земли (Asteroid Retrieval Mission). В рамках проекта к астероиду предлагается отправить автоматическую станцию, которая сможет захватить объект при помощи специального приспособления. После захвата астероид планируют доставить на орбиту Луны для дальнейшего изучения. Ставка в подобных исследованиях делается на частные компании.

#### **Planetary Resources выделяет 3 типа астероидов:**

- 1-й тип (C-type, углеродный), из которых планируется извлекать воду. Это связано с тем, что существует проблема нехватки воды на планете Земля и, также, если речь идет о переселении человека на другие планеты, вода

будет необходима. Многие современные космические миссии ограничены в запасах, добыча воды в космосе решит эту проблему.

- 2-й тип (X-типе, металлический, железистый). Например, в астероиде 2011 UW158, стоимость содержащихся материалов, включая платину, может достигать \$5 трлн.
- 3-й тип (S-типе, силикатные), является смесью первых двух

Космические объекты содержат железо, никель, магний, кобальт, титан, драгоценные и редкоземельные металлы (рений, иридий, платина и др.), минералы, из которых можно получать воду, кислород, водород.

#### **Стоимость:**

- ресурсов в поясе астероидов — \$700 квинтиллионов или \$100 млрд на каждого жителя Земли;
- среднего платинового (богатого платиной) астероида — около \$3 трлн;
- небесного тела с замороженной водой – около \$5 триллионов;
- железной руды на астероиде (16) Психея, космический аппарат для изучения которого отправится в 2022 году, — \$10 трлн;
- полезных ископаемых астероида UW-158, содержащего около 100 млн тонн платины, – до \$5,4 трлн.

#### **Технологии:**

- разработка месторождений открытым способом
- добыча в шахтах
- сбор металлов с поверхности с помощью магнитов
- добыча с помощью теплового воздействия (воды и различных летучих соединений газов, таких как водород, на ядрах выродившихся комет);
- биодобыча (использование микроорганизмов для извлечения металлов из горных пород или рудников).

Для того, чтобы не перевозить все необходимое оборудование, планируется печатать его на 3D принтерах.

Как только первый коммерческий аппарат достигнет той области, где будет вестись добыча полезных ископаемых, необходимо будет решать связанные с этим юридические вопросы. Этим обусловлено появление первых законодательных актов.

### **6.2. Технологии добычи полезных ископаемых в космосе**

На четвертой лекции речь шла о том, что в настоящее время уже ведется добыча на дне океанов. То же самое планируется делать в космосе аналогичным, но чуть более совершенными аппаратами. На рис. 6.1 представлена модель добычи открытым способом на поверхности инопланетного тела.

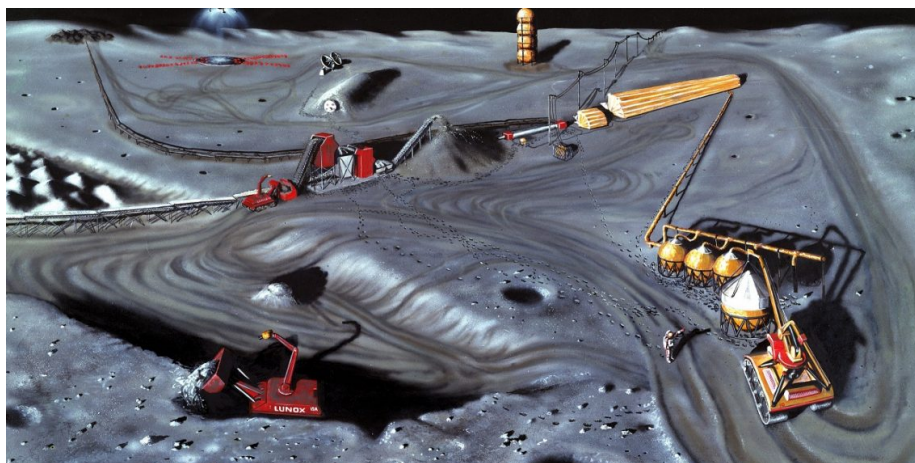


Рис. 6.1 Модель открытой добычи в космосе

Такие технологии интересны, поскольку имеют двойное назначение. В частности, концепция гравитационного тягача (рис. 6.2) интересна для решения проблемы астероидной опасности для жителей Земли. Астероиды могут использоваться в военных целях (размещение различных видов вооружений).

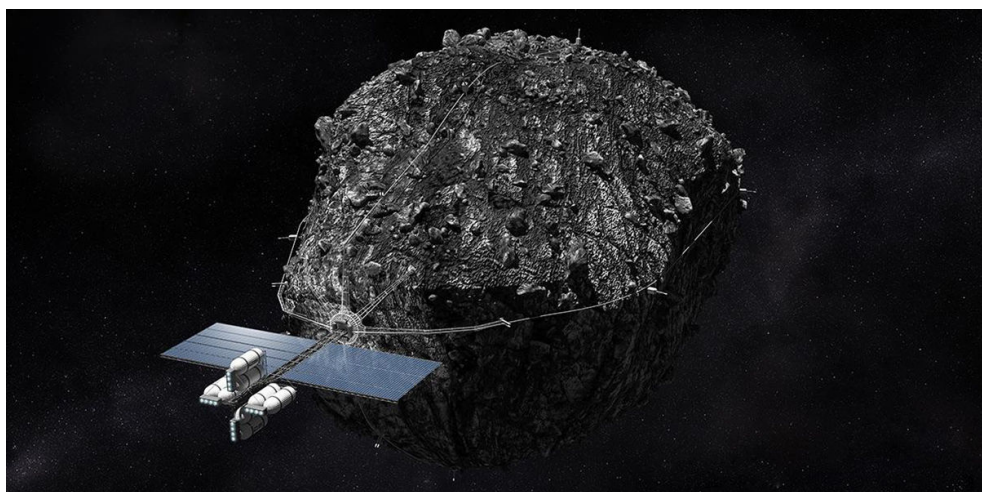


Рис. 6.2 Модель гравитационного тягача

На астероидах и малых планетах существует гравитация, но ее недостаточно для проживания человека. Такие условия могут привести к изменению скелета, органов и т.д. Но, в любом случае, заселение астероидов и осуществление на них добычи ПИ считается возможным.

Специалисты Калифорнийского технологического института посчитали, что космический корабль, способный добывать минералы на астероиде, обойдется в \$2,6 млрд,— сообщают аналитики инвестбанка Goldman Sachs.

Стоимость МКС - 150 млрд долл., станции "Мир" (Советский Союз) - 4,1 млрд долл., а орбитальной станции Skylab (США) - 3 млрд долл.

Более 80 частных компаний исследуют космос, около 50 из них находится в Китае. 11 июля 2021 года Глава "Роскосмоса" Рогозин призвал российских миллиардеров тратить средства на космос.

Частная космическая корпорация Origin Space из Пекина 27 апреля 2021 года отправила спутник NEO-1 с миссией по разведке полезных ископаемых в космосе. Это первый шаг к коммерческому изучению небесных тел с точки зрения потенциально добычи полезных ископаемых, если миссия пройдет успешно.

Первой компанией, изучавшей возможности добычи ископаемых в космосе, стала Planetary Resources, основанная в 2009 году в городе Редмонд (штат Вашингтон). Компания провела несколько удачных и неудачных запусков космических аппаратов с выходом на околоземную орбиту и последующим возвращением. Среди инвесторов в Planetary Resources были не только частные фонды, но и правительство Люксембурга. В ноябре 2016 года оно вложило в Planetary Resources €25 млн и подписало соглашение о совместной исследовательской работе, целью которой является запуск геологоразведочного аппарата на астероид уже в 2020 году. В 2018 году у компании возникли финансовые проблемы, и она была продана.

Еще одна компания — калифорнийская Deep Space Industries, которая с 2013 года уже успела получить от венчурных инвесторов несколько десятков миллионов долларов, а от NASA — контракты на создание космических аппаратов, способных проводить геологоразведку на астероидах.

#### **Ближайшие планы:**

- В 2023 году ожидается доставка для исследования образца грунта с астероида (101955) Бенну (миссия NASA OSIRIS-REx, стартовавшая в 2016-м).
- В 2026-м — плановое прибытие на астероид Психея аппарата миссии Psyche (NASA, США).
- 2030-е — прогнозируется начало коммерческой добычи полезных ископаемых на Луне и астероидах.
- 2040-е — появление космических орбитальных фабрик

#### **Преимущества:**

- Близость к Земле: отправка пилотируемой или автоматической миссии к этим объектам не является неподъемной задачей;
- Эксперты выделяют тысячи перспективных объектов, с течением времени их количество будет только увеличиваться, по мере дальнейшего исследования;
- В астероидах может быть большое количество полезных ископаемых, включая железо и редкие на Земле элементы;
- Астероиды могут быть полезным ресурсом как для колонистов будущих колоний на Луне или Марсе, так и для землян.



### Недостатки:

- Низкая гравитация на астероидах. «Космическим шахтерам» придется непросто;
- Большая часть перспективных астероидов находятся далеко от Земли, и поступление солнечной энергии на большинстве в несколько раз меньше, поэтому солнечных элементов нужно больше;
- Большое количество астероидов могут оказаться бесполезными для человека;
- Астероид может столкнуться с себе подобным небесным телом.
- *Добыча ПИ – истощение ресурсов космоса*
- *Космический мусор.* Уже в настоящее время некоторые аппараты в космосе отработывают сбор космического мусора

### 6.3. Космический мусор

Согласно подсчетам Европейского космического агентства (на 2013 год), на орбите находились:

- 22 тыс. объектов более 10 см;
- 750 тыс. фрагментов более одного см;
- 160 млн частиц около 1 мм.

Похожие цифры были приведены в докладе, подготовленном учеными российского МГТУ им. Баумана в начале 2019 года.

Космический мусор представляет собой серьезную проблему, поскольку мельчайшие его частицы образуются за счет соударения более крупных объектов. Глядя на Землю 2018 года (рис. 6.3), можно наблюдать, что осуществить вывод спутников или доставить космонавтов уже является проблемой, и существуют определенные риски, которых раньше не существовало.

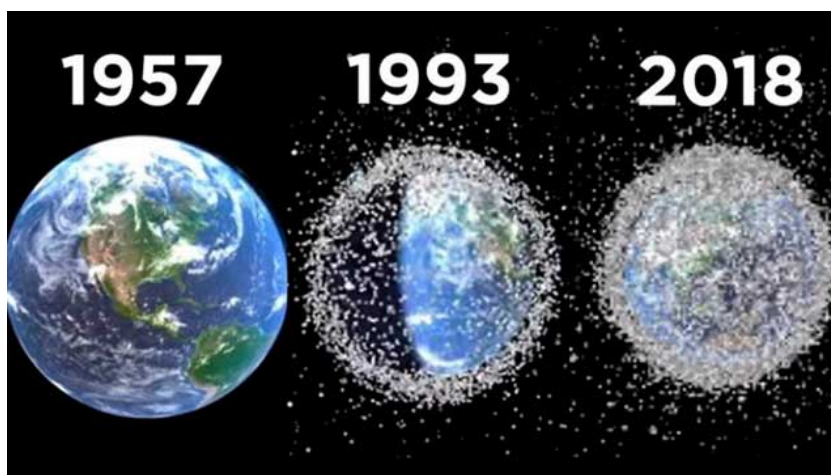


Рис. 6.3. Распространение космического мусора

В этом случае многоразовые космические корабли и в целом многоразовая космонавтика – способ решения этой проблемы. С одной стороны, это дешевле, с другой – экологичнее.

#### Решение проблемы космического мусора:

- Лазеры
- Гарпун и невод (спутник RemoveDebris, 02.04.2018) (рис. 6.4)
- Воздушные шары для мусора
- Буксир с солнечным парусом
- Вольфрамовый веник на орбите
- Реактивный буксир- «камикадзе»
- Орбитальный мусоровоз (переработка мусора на орбите)

В 60х годах прошлого века в США был осуществлен эксперимент, во время которого металлические иглы были рассеяны на орбите с целью изменения геомагнитного поля Земли. Это спровоцировала сильнейшее землетрясение на Аляске.

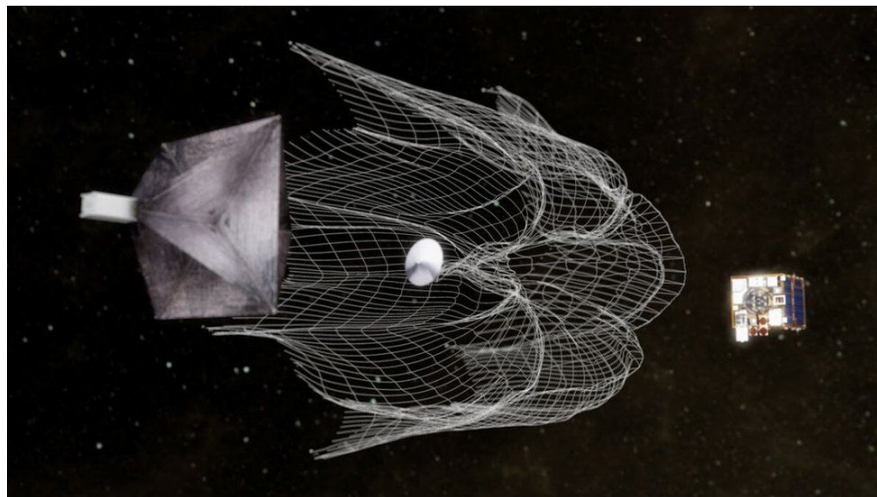


Рис. 6.4 Спутник RemoveDebris

## Лекция 7. Переработка отходов горной промышленности

### 7.1. Проблема накопления отходов горной промышленности

Одной из ключевых проблем, если речь идет о защите окружающей среды, является проблема накопления отходов, причем именно отходы горной промышленности в разных странах занимают от 70 до 90% всей общей массы отходов деятельности человека. Возникает вопрос о способах утилизации отходов. Можно ли каким-либо образом использовать отходы вторично?

Сегодня в нашей стране хранится около 100 миллиардов тонн отходов недропользования, и ежегодно эта масса прибавляет в весе по 1,5-2 миллиарда тонн. Всё это породы, которые добываются из недр вместе с полезными ископаемыми и при геологической разведке – породы вскрыши, залегающие над телом добываемого полезного ископаемого. Пока эти породы лежат мёртвым грузом в виде отвалов и терриконов, а могли бы стать сырьём для строительных материалов, считают в Минприроды. Поскольку доля отходов очень велика (70 – 90 % по данным разных аналитиков), использовать их необходимо.

На рис. 7.1 представлена открытая горная выработка. Экскаватор срывает верхнюю часть разреза, добытый материал увозится, но на месте добычи формируются отвалы горной породы, которая не идет в эксплуатацию. При этом слои горных пород залегают в обратной стратиграфической последовательности, нарушается гидрогеологический режим, на отвалах могут происходить оползневые и эоловые процессы, рельеф сильно деформируется. Иногда, после завершения добычи карьер засыпается отвалами (дорогостоящая и не всегда выгодная процедура).



Рис. 7.1 Открытая горная выработка

По данным Министерства природных ресурсов и экологии, объём полезных ископаемых в добываемом сырье неуклонно падает. При этом всё больше ценных химических элементов обнаруживается именно в хвостах — так горняки называют отходы, оставшиеся после первичной обработки минерального сырья. Новые современные технологии позволят повторно их обработать и добыть из них ПИ, что также позволит сократить площади, покрытые отвалами. Параллельно с этим, возможно, в процессе сортировки также будет выделен материал для нужд строительной промышленности, подсыпок насыпей автострад и железных дорог, производства бетона и цемента, и др.

«В нашей стране накоплено свыше 80 миллиардов тонн отходов недропользования, при этом ими занято огромное количество земель, которые могут быть вовлечены в иное использование», — обратил внимание замминистра природных ресурсов и экологии, руководитель Федерального агентства по недропользованию Евгений Киселев, представляя законопроект в первом чтении.

Все отходы классифицируются по классу опасности, самый низкий класс – пятый, самый высокий – первый (к первому классу относятся радиоактивные, военные, биологические отходы).

Отдельно стоит упомянуть о таких отходах горнодобычи, как вскрышные и вмещающие породы. Они относятся к V классу опасности отходов, то есть считаются практически неопасными, при этом содержат в себе различные компоненты, которые могут использоваться в виде строительного сырья. Рационально использовать все породы вскрыши, что пытались организовать еще в СССР. Такой подход очень важен при решении проблемы многопрофильных городов с точки зрения экономики, так как если город возникает вокруг одного предприятия, в случае прекращения работы предприятия населенный пункт перестает существовать.

## 7.2. Пути решения проблемы накопления отходов

С экономической точки зрения переработка отвалов более предпочтительна, чем освоение новых месторождений. Она предполагает снижение общей себестоимости продукции на 10-15 процентов. Во-первых, сокращаются затраты на добычу полезных ископаемых, поскольку эти ресурсы уже на поверхности. Во-вторых, чем старше отвал, тем выше содержание драгоценных металлов, потому что многим старым методам добычи были присущи низкие коэффициенты извлечения. При этом вокруг старых месторождений уже существует инфраструктура, проложены дороги, проведены линии электричества и водоснабжения – сокращение затрат на строительство.

На рис. 7.2 представлены *терриконы* – канонические кучи, частично на них растет лес, возникают промоины и овраги, что приводит к вымыванию тех материалов, что слагают отвал. Часто, отвалы залегают в черте города или населенного пункта – для повторной переработки предоставлена вся инфраструктура.

На рис. 7.3 представлен карьер Курской Магнитной аномалии. Верхнемеловые отложения (пищемел) залегают на песках (нижнемеловые отложения альпского



возраста), которые, в свою очередь, залегают на глинах, ниже – отложения докембрия. В докембрийском фундаменте в складчатом основании в нижнем структурном этаже Восточно-Европейской платформы из железистых кварцитов добывается железо, которое формировалось во время перехода от бескислородной к кислородосодержащей атмосфере.



Рис. 7.2 Терриконы



Рис. 7.3 Карьер Курской Магнитной аномалии

Иногда при добыче используется железнодорожный транспорт (рис. 7.4). По мере изменений геометрии конфигураций уступов карьера железную дорогу перекладывают.



Рис. 7.4 Железная дорога, Старый Оскол, Лебединский ГОК

Если такие породы перестанут считаться отходами, то в их отношении перестанут взимать «экологический сбор», утверждать нормативы образования и лимиты на размещение. А площадки, на которых временно хранятся вскрышные и вмещающие породы, больше не будут считаться объектами размещения отходов.

Закон «Об отходах производства и потребления» с 2014 года позволяет использовать вскрышные и вмещающие породы для ликвидации горных выработок.

Сегодня в стране накоплено порядка 100 миллиардов тонн отходов недропользования. И ежегодно этот показатель увеличивается на 1,5 — 2 миллиарда тонн. При этом, в связи с постоянным общим снижением содержания полезных ископаемых и полезных компонентов в добываемом сырье, объём образуемых в результате его первичной переработки отходов неуклонно растет. Такая ситуация сложилась за счёт длительного функционирования горнопромышленного комплекса.

### **7.3. О внесении в Госдуму законопроекта об использовании отходов недропользования**

Законопроект был рассмотрен и одобрен на заседании Правительства Российской Федерации 28 февраля 2019 года.

«Законопроектом уточняются права недропользователей в отношении отходов недропользования. Пользователям недр на период действия лицензии будет предоставлено право добывать полезные ископаемые и полезные компоненты из отходов недропользования, образовавшихся в результате выполнения работ, связанных с использованием недрами на предоставленном участке, а также использовать эти отходы для собственных производственных и технологических нужд.

В целях стимулирования юридических лиц и индивидуальных предпринимателей, ведущих хозяйственную или другую деятельность, направленную на вовлечение отходов недропользования в освоение с целью добычи или извлечения полезных ископаемых и полезных компонентов законопроектом предлагается с 1 января

2020 года установить при исчислении платы за негативное воздействие на окружающую среду коэффициент 0 при размещении отходов недропользования, из которых осуществляется добыча полезных ископаемых и полезных компонентов, в течение срока фактического проведения работ.»

Таким образом, если частный или государственный инвестор приступает к повторной переработке отходов горной промышленности, на него распространяется льготное налогообложение.

Согласно пояснительной записке к законопроекту, при первичной добыче или обогащении руды теряется до 25% молибдена, меди и никеля, до 35% кобальта, почти половина от объёмов добычи свинца, цинка и вольфрама. При добыче олова теряется до 60%, а в случае с редкими и редкоземельными металлами — до 100%. То же касается нерудных полезных ископаемых, залегаемых совместно с основными полезными ископаемыми месторождений. Кроме того, значительное количество отходов образуется при геологическом изучении недр — прежде всего, при геологоразведочных работах.

*В качестве энергоносителя можно использовать органические углеродистые соединения, содержащиеся в угольной, сланцевой пыли или иных ненужных для основной продукции примесях.*

В результате применения пневмосепарации горной массы и термохимического обогащения угля получают:

- стройматериалы (дорожный щебень, тротуарная плитка, бетонит);
- керамика, концентрат;
- специальные и редкие сплавы;

Таким образом, это дает возможность получить широкий спектр материалов для строительства, получить энергию и пи, не полностью добытые 50 – 100 лет назад.

### **Вторичная переработка угольных отвалов**

Целью инвестиционного предложения является вторичная переработка шахтных отвалов на территории шахты «Первомайская-Западная» с извлечением как угольного материала, так и редкоземельных элементов, таких как цирконий, галлий, германий и другие, а также строительных материалов. По предварительным данным на территории шахты 8 179 тыс. м<sup>3</sup> отвальной массы.

На шахте «Первомайская - Западная» имеется оборудование, материалы и запасные части, которые при модернизации могут быть использованы для переработки и обогащения терриконов.

Предполагаемая стоимость инвестиционного предложения – 6,12 млн рублей. Срок окупаемости – 2 года.

### **Вторичная переработка хвостов золотоизвлекающих предприятий**

Учёные Сибирского федерального университета оценили возможности повторной переработки «хвостов» золотоизвлекающих фабрик.

«Главной целью исследования было изучение вещественного состава, минералогических и технологических особенностей „хвостов“— отходов обогащения, полученных после переработки руд, чтобы понять, в каких условиях происходит накопление и перераспределение золота и сопутствующих металлов в этом техногенном объекте, и предложить рекомендации для последующего его геолого-технологического изучения и отработки»

В «хвостохранилищах» практически отсутствует свободное золото, большая часть благородного металла связана со шламовыми фракциями и находится преимущественно в минеральных формах. Прямое цианирование позволяет извлечь не более 50 % золота, что даёт основание отнести изученные «хвосты» к упорному сырью. Более того, «хвосты» содержат значительное количество растворимых солей, что усложняет флотацию и обуславливает накопление солей в цикле обогащения.

Несмотря на это, существуют благоприятные свойства «хвостов», например, контрастное распределение золота по классам крупности. Это позволяет в случае повторной переработки «хвостов» окисленных руд сбрасывать песковую фракцию в отвал после оттирки от шлама. Также было отмечено наличие *подвижных форм золота*, которые могут быть извлечены при минимальных затратах.

#### 7.4. Технологии повторной разработки

При повторной переработке отходов горной промышленности происходит переход из отходов в ресурсы. По сути, отходы становятся техногенными месторождениями, их возможно заново разрабатывать. Технологии повторной разработки уже описаны в различных публикациях (рис. 7.5).



Рис. 7.5 Пример монографии по повторной переработке отходов



Разработку техногенных отходов на Ключевском золоторудном месторождении в Забайкальском крае в порядке эксперимента начало ООО "Желтугинская ГРК". По оценкам экспертов, балансовые запасы в отвалах составляют 12,135 тонны золота и 11,7 тонны серебра.

По предварительным оценкам, в результате проекта дополнительные поступления в федеральный и территориальный бюджеты должны составить около 750 миллионов рублей в год и 1,5 миллиарда - в период опытно-промышленной отработки запасов.

### **Утилизация отходов и оценка хранилищ нефтеносных песков**

Если отходы не будут перерабатываться по каким-либо причинам, они превратятся в площадки, которыми необходимо будет заняться в любом случае.

На протяжении 25 лет компания SGS предоставляет услуги по утилизации отходов своим партнерам в провинции Альберта, Канада в отрасли нефтеносных песков.

Услуги по утилизации отходов:

- обследование, анализ, схематизация и отчеты об отстойниках;
- обеспечение поверхностной инспекции хранилищ, включая спасательные команды, водоналивные башни, накопление отходов
- установка мостков, фильтратной линии и боновое ограждение для предотвращения попадания отходов в грунтовые воды

### **Отпугивание диких животных и птиц**

Во многих заброшенных карьерах образуются водоемы, куда могут слетаться птицы или сбегаться животные. Но, поскольку обстановка окружающей среды неблагоприятная, необходимо проводить комплекс процедур по их отпугиванию – но, если отходы будут перерабатываться, в подобных затратах не будет необходимости.

В весенний период используется ряд эффективных активных и пассивных устройства контроля птиц, а именно:

- отпугивающие репелленты и отражатели;
- звуковые и лазерные системы отпугивания;
- система обнаружения с функцией раннего оповещения и радиолокатором.

Решение о повторном использовании и переработке отходов горной промышленности, перемещений их из категории отходов в полезные ископаемые (техногенные месторождения) безусловно необходимое и своевременное, поскольку к настоящему моменту уже накоплено огромное количество отходов, и оно продолжает увеличиваться. Технологии постоянно развиваются, что дает возможность при повторной переработке извлекать все те полезные компоненты, которые невозможно было извлечь ранее.





ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ  
ФАКУЛЬТЕТ  
МГУ ИМЕНИ  
М.В. ЛОМОНОСОВА

*teach-in*  
ЛЕКЦИИ УЧЕНЫХ МГУ