

Круглый стол «Гидроэнергетика в контексте перехода энергетического сектора Российской Федерации к устойчивому и низкоуглеродному развитию»

# Инвентаризация и возможности сокращения выбросов парниковых газов в гидроэнергетике

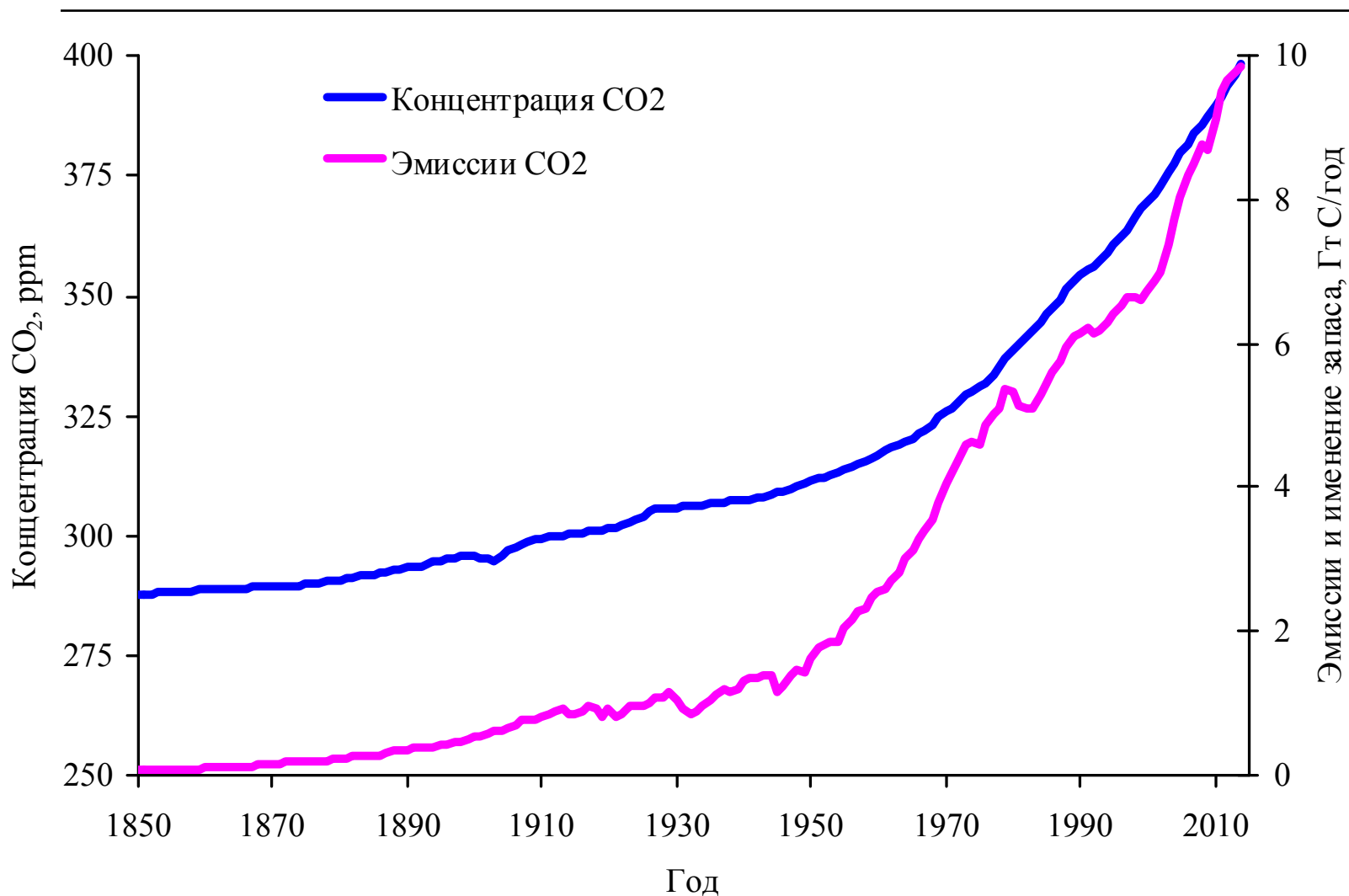
*Д.Г. Замолодчиков*

*Биологический ф-т МГУ имени  
М.В. Ломоносова*

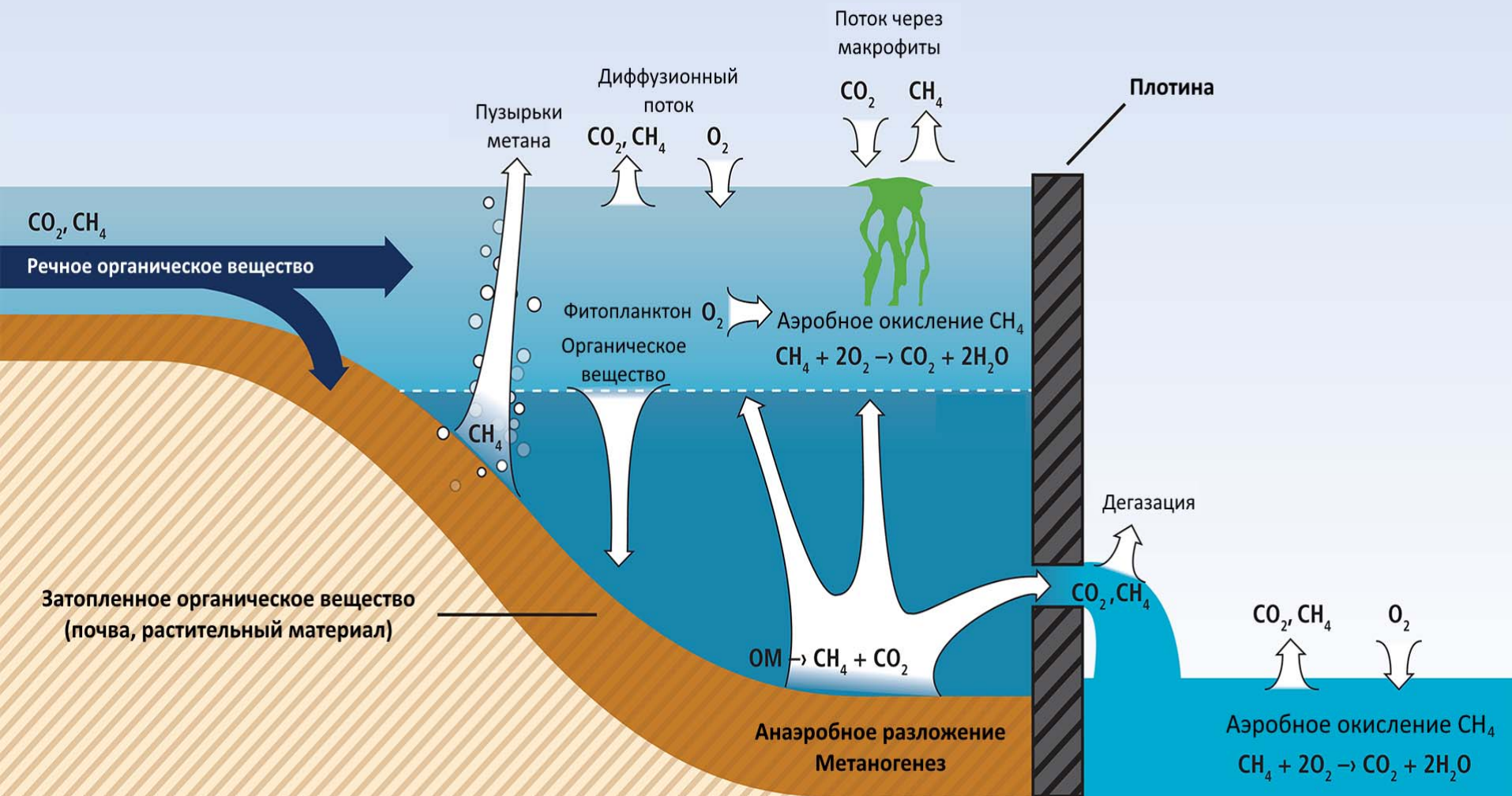


Москва, 21 марта 2018 г.

# Антропогенные выбросы парниковых газов (ПГ) приводят к глобальным изменениям климата



# Ключевые процессы, приводящие к эмиссиям парниковых газов в водохранилищах



# Подходы к оценке выбросов парниковых газов из водохранилищ

---

## 1) Инвентаризация.

А) Средство оценки риска выбросов парниковых газов (GHG Risk Screening Tool), разработанное Юнеско и МАГ (версии 2014 и 2017 гг).

Б) Раздел руководства Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК) по построению национальных кадастров ПГ (в процессе разработки).

## 2) Научные методы.

А) Измерительные.

Б) Модельные.

# Общий подход МГЭИК

---

Наличие 3-х уровней (tier)

Уровень 1. Даются уравнение расчета и ограниченное количество эталонных коэффициентов.

Уровень 2. Используются уравнения 1 уровня и национальные коэффициенты.

Уровень 3. Используются национальные модели, аппарат которых не должен вступать в противоречие с базовыми уравнениями.

# Различные совокупности уравнений для водохранилищ разного возраста

---

- 1. «Водоохранилища, остающиеся водохранилищами» - затопление произведено более, чем 20 лет назад. Производится расчет эмиссий метана, потоки  $\text{CO}_2$  признаются сбалансированными.
- 2. «Земли, конвертированные в водохранилища» - затопление произведено менее, чем 20 лет назад. Производится расчет эмиссий метана и эмиссий  $\text{CO}_2$  от разложения органического вещества затопленных почв и растительности

# Водохранилища, остающиеся водохранилищами

---

Выброс  $\text{CO}_2$  считаются равными 0, достигнут естественный баланс продукции и деструкции.

Выбросы  $\text{CH}_4$  рассчитываются по уравнению:

$$\text{CH}_4 = A_i \bullet E_s \bullet (R_{an} + R_{dgas})$$

$\text{CH}_4$  – поток метана, кг С- $\text{CH}_4$  год<sup>-1</sup>

$A_i$  – площадь водохранилища, га

$E_s$  – типовые эмиссии, кг С- $\text{CH}_4$  га<sup>-1</sup> год<sup>-1</sup>

$R_{an}$  – коэффициент, учитывающий площадь водоемов до затопления (по умолчанию равен 1), безразмерен

$R_{dgas}$  – коэффициент, учитывающий дегазацию воды при прохождении через турбины

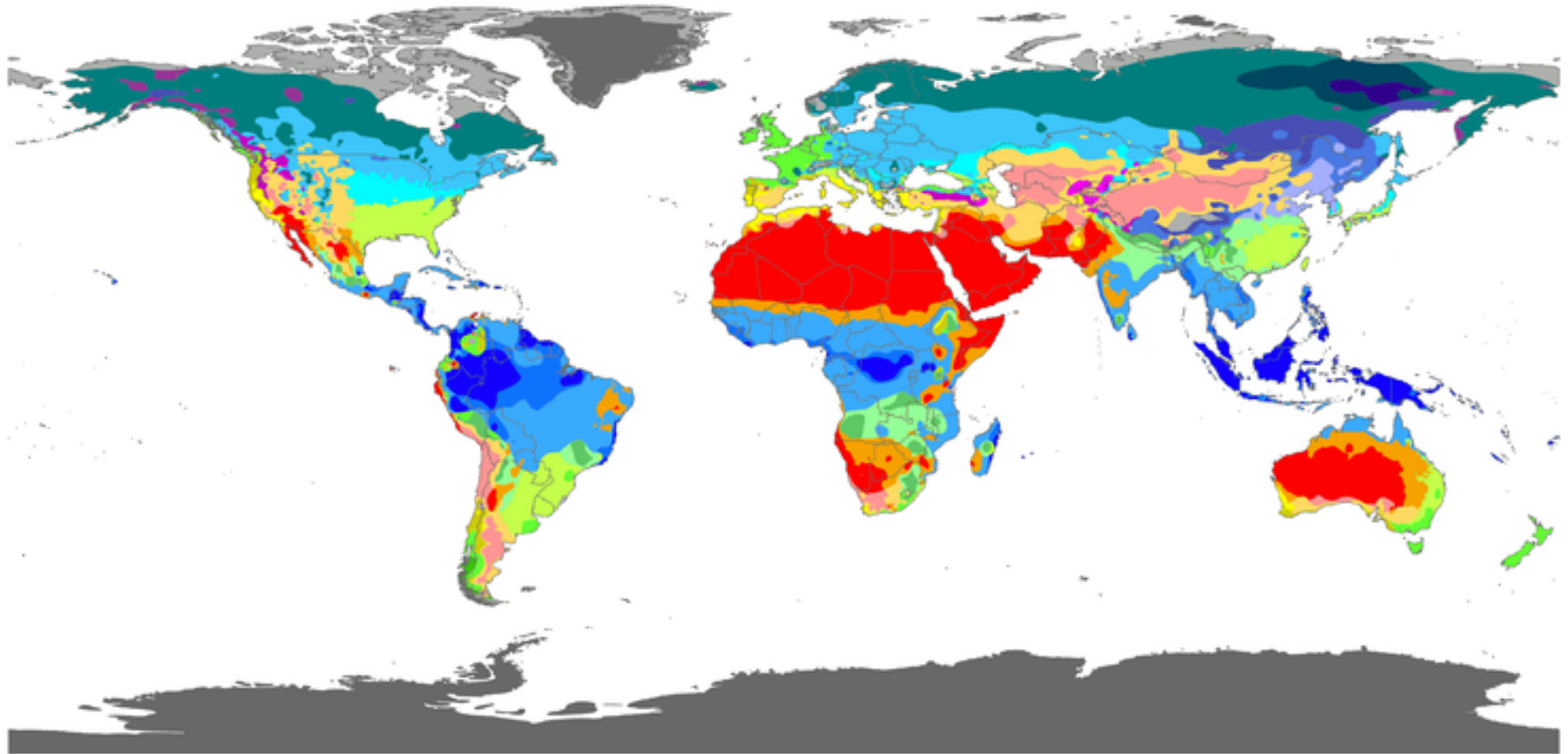
# Таблица эталонных значений эмиссий CH<sub>4</sub> по типам климата

Climate	Total Emissions Ef(CH <sub>4</sub> ) <sub>total</sub> (kg C-CH <sub>4</sub> ha <sup>-1</sup> year <sup>-1</sup> )		
	Median	Min	Max
Equatorial Dry (Aw)	58.8	0.5	591.3
Equatorial Wet (Af)	55.1	3.6	402.5
Arid Hot (Bwh, Bch)	29.0	1.4	181.3
Warm Temperate Fully Humid Hot Summer (Cfa)	10.4	4.0	582.3
Warm Temperate Fully Humid Warm Summer and Warm Temperate Summer Dry Warm Summer (Cfb)	54.0	0.7	1719.5
Temperate WD/HS (Cwa)	21.3	4.8	25.8
Snow Fully Humid Warm Summer (Dfb)	3.7	0.0	49.1
Snow Fully Humid Cool Summer (Dfc)	5.0	0.4	76.6



# Карта климатов по классификации Кеппена

World map of Köppen-Geiger climate classification



Af	BWh	Csa	Cwa	Cfa	Dsa	Dwa	Dfa	ET
Am	BWk	Csb	Cwb	Cfb	Dsb	Dwb	Dfb	EF
Aw	BSh	Cwc	Cfc	Dsc	Dwc	Dfc		
BSk				Dsd	Dwd	Dfd		

**DATA SOURCE :** GHCN v2.0 station data  
Temperature (N = 4,844) and  
Precipitation (N = 12,396)

**PERIOD OF RECORD :** All available

**MIN LENGTH :** ≥30 for each month.

**RESOLUTION :** 0.1 degree lat/long

**Contact :** Murray C. Peel (mpeel@unimelb.edu.au) for further information



## При использовании уровня 2 желателен учет трофности водоема

---

Рекомендуемые дополнительные  
факторы коррекции эмиссии метана в  
связи с трофностью водоема

олиготрофные 0.6

мезотрофные 1.0

эвтрофные 8.0

# «Земли, конвертированные в водохранилища»

---

Метан рассчитывается как для  
«водохранилищ, остающихся  
водохранилищами»

Уравнение для расчета эмиссии CO<sub>2</sub>

$$CO_2-C_{fl} = A_i * EF_c$$

A<sub>i</sub> – площадь созданного водохранилища,  
га

EF<sub>c</sub> – факторы эмиссии для климата с,  
т С-CO<sub>2</sub> га<sup>-1</sup> год<sup>-1</sup>

# Факторы эмиссии для CO<sub>2</sub>

Climate / Vegetation Zone	Emission Factor (t CO <sub>2</sub> -C ha <sup>-1</sup> yr <sup>-1</sup> )	Std error	No. Sites	Citations
Boreal	0.63	0.62	53	Deemer et al. 2016
Subtropical	1.01	1.31	22	Deemer et al. 2016
Temperate	0.59	0.80	128	Deemer et al. 2016
Tropical	2.39	2.98	26	Deemer et al. 2016
Polar moist	0.55		27	G-res
Boreal dry	0.65		3	G-res
Boreal moist	1.16		87	G-res
Cool temperate dry	1.11		333	G-res
Cool temperate moist	1.05		1746	G-res
Warm temperate dry	1.72		625	G-res
Warm temperate moist	1.51		793	G-res
Tropical dry	3.28		625	G-res
Tropical moist	2.86		793	G-res
Tropical montane	2.21		227	G-res
Tropical wet	3.12		126	G-res

# Информация, необходимая для инвентаризации потоков ПГ в водохранилищах

---

- Площадь водохранилищ
- Возраст водохранилищ
- Классификация климата в районе водохранилища (месячные значения температур и осадков)
- Показатели трофности водоема
- Ведомственная принадлежность ГЭС
- Продуктивность фитопланктона



# Основные источники информации

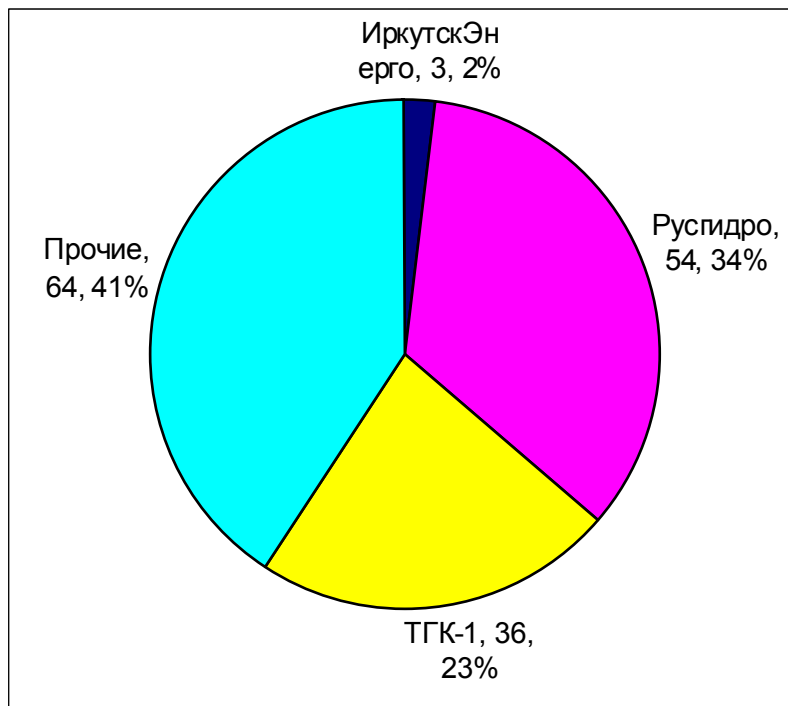
---

- База данных РусГидро по водохранилищам
- Средство Google Engine
- Гидрохимический ежегодник 2016 г. (использованы усредненные данные за 2014-2015 гг.)

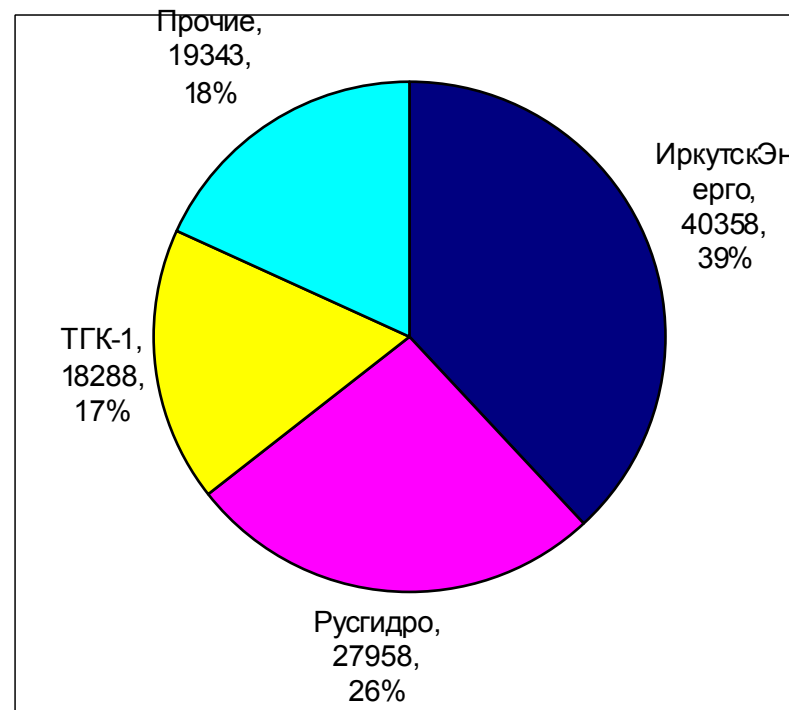
# Гидрохимические и гидробиологические показатели при разных классах трофности (по Романенко и др., 1990)

Параметры	Класс качества, трофность				
	Предельно чистые Олиготрофия	Чистые Мезотрофия	Удовлетворительно чистые Эвтрофные		
Прозрачность воды по диску Секки, м	>3	0.75-3.0	0.55-0.7	0.45-0.5	0.35-0.4
Нитратный азот NO <sub>3</sub> , мгN/л	< 0.05	0.05-0.2	0.21-0.5	0.51-1.0	1.01-1.5
БПК <sub>5</sub> мг O/л	<0.4	0.4-0.7	0.8-1.2	1.3-1.6	1.7-2.1
Биомасса фитопланктона, мг/л	<0.1	0.1-0.5	0.6-1.0	1.1-2.0	2.1-5.0
Валовая продукция фитопланктона, г O/м <sup>2</sup> сут.	<1.5	1.55-3.0	3.05-4.5	4.55-6.0	6.05-7.5

# Распределение числа (157) и площади (105 тыс. км<sup>2</sup>) водохранилищ по собственникам ГЭС



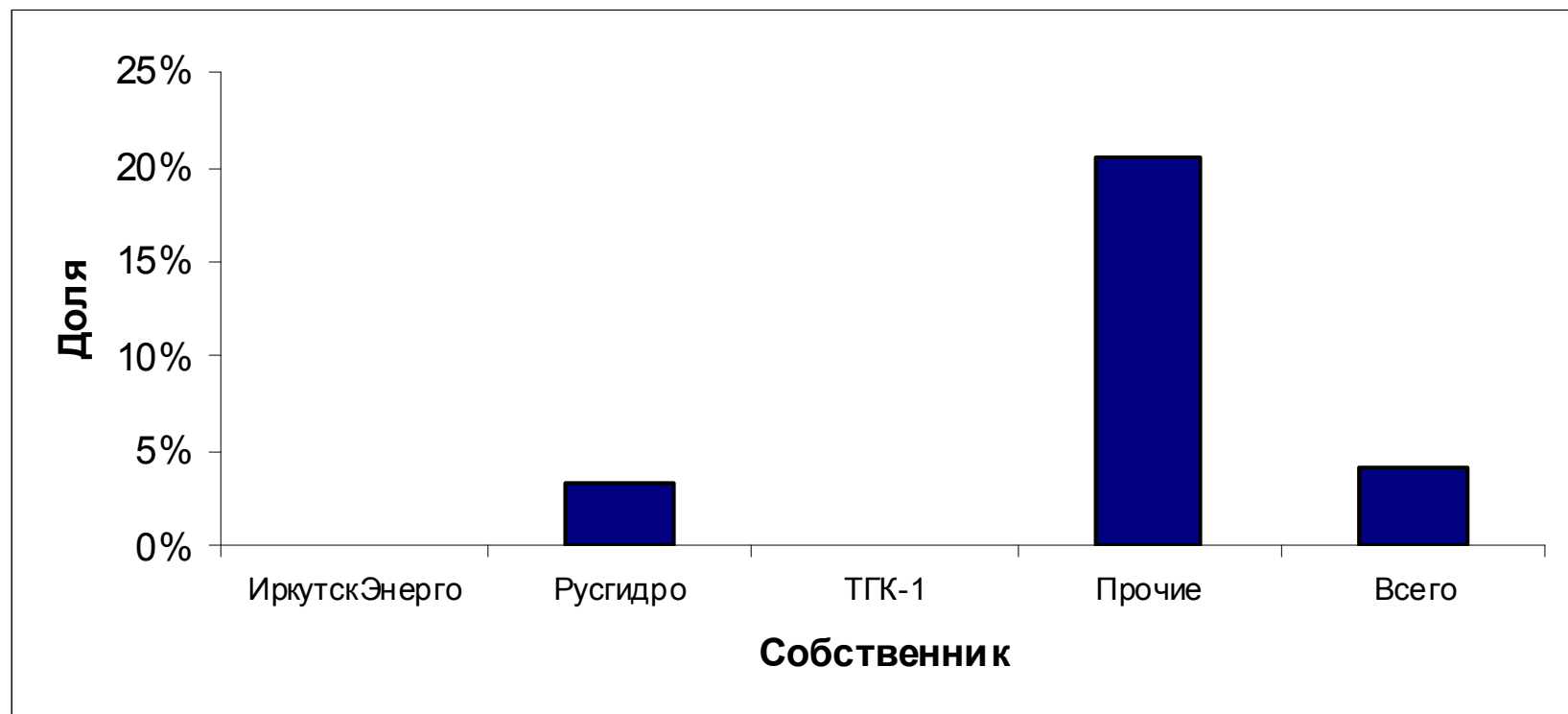
Число



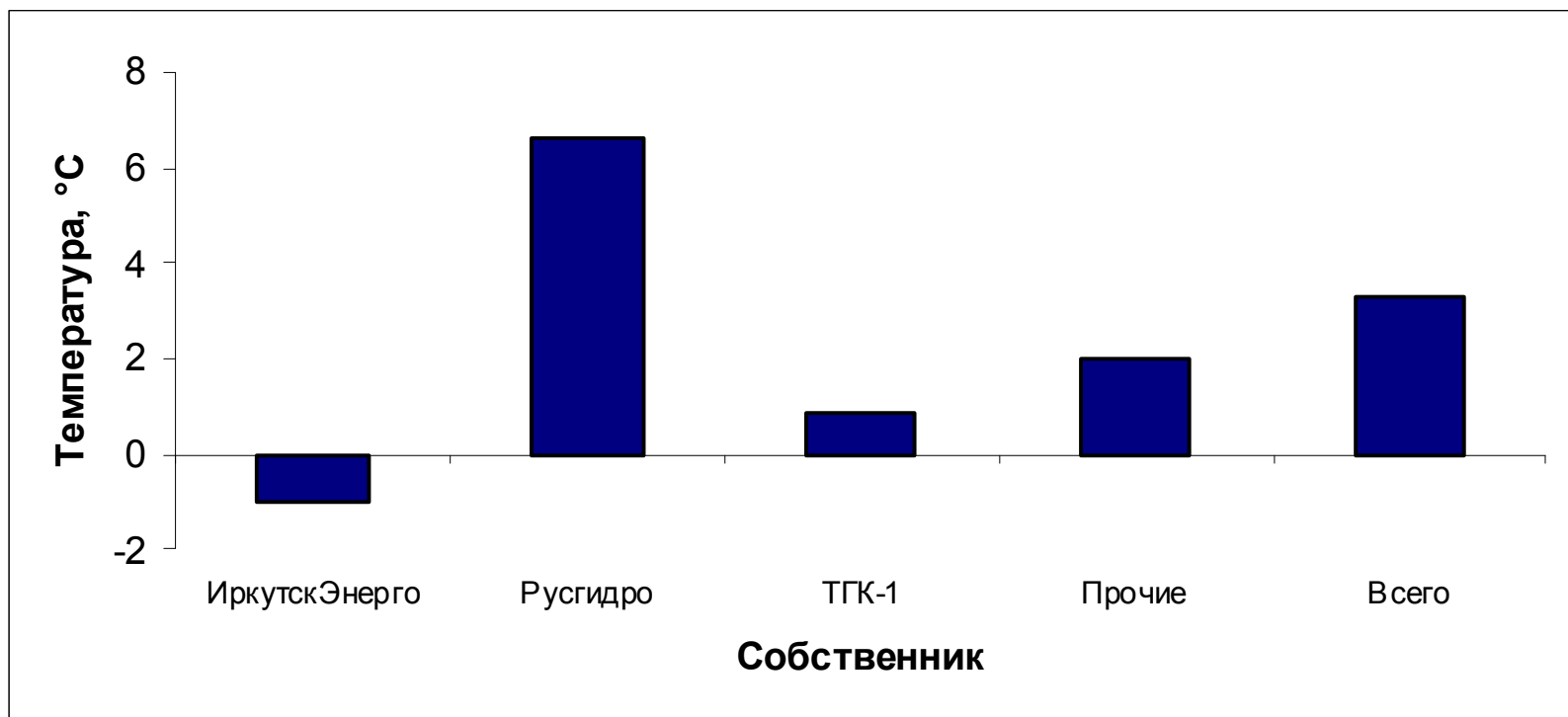
Площадь



# Доля площади водохранилищ с возрастом от 1 до 20 лет

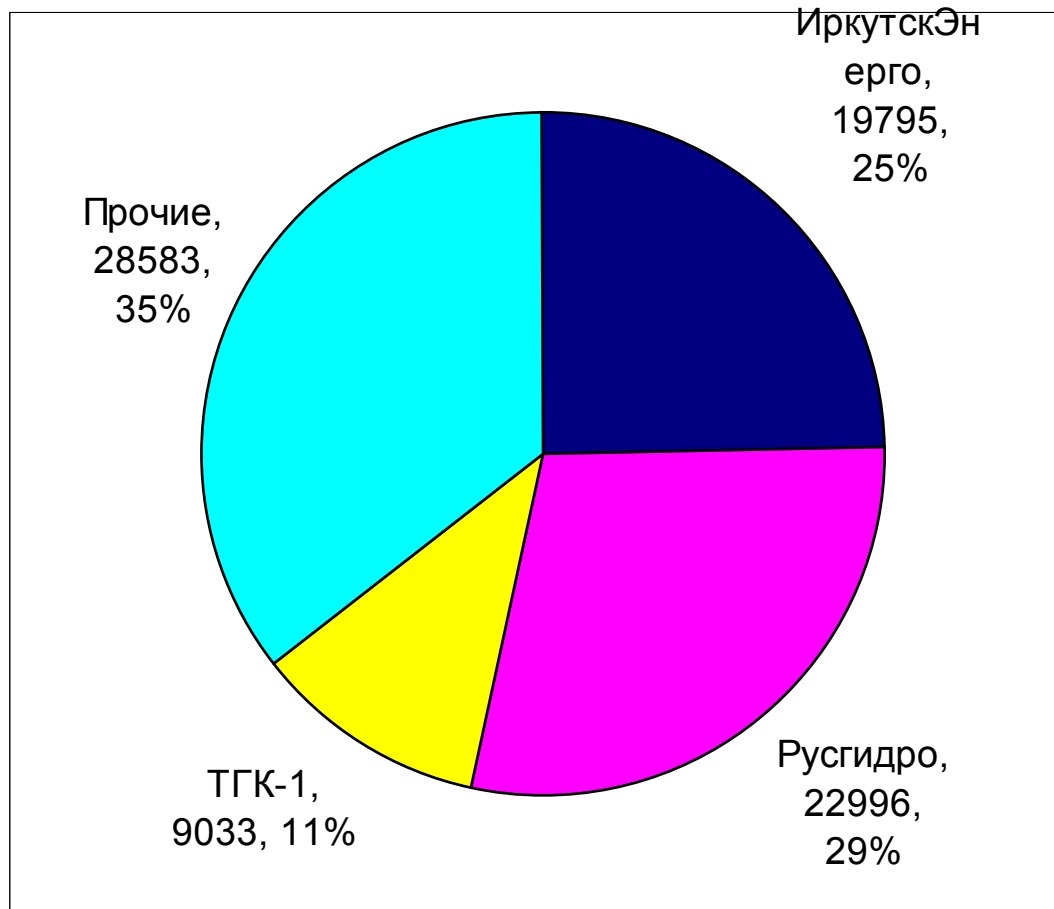


# Среднегодовая температура в районе водохранилищ

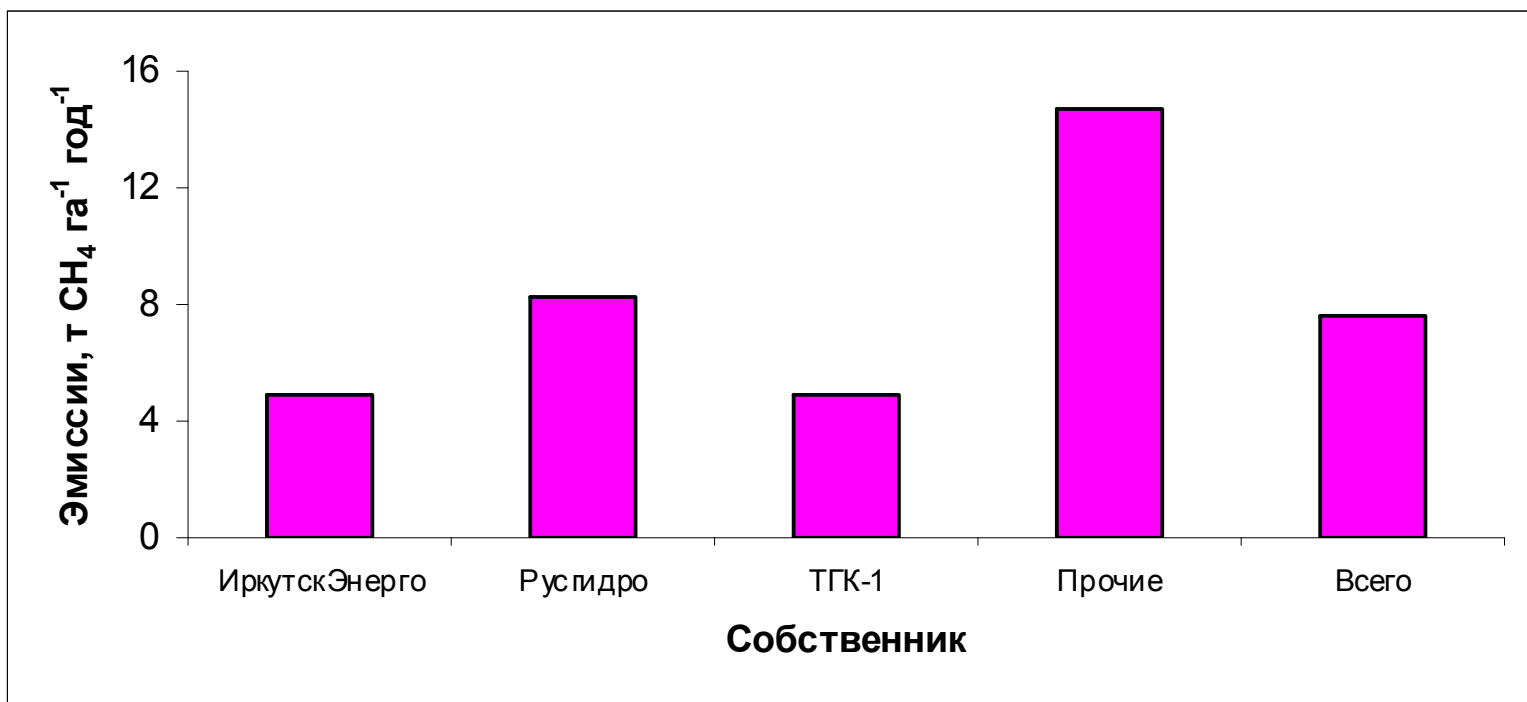


# Суммарные эмиссии метана (80.4 тыс. т в год) с поверхности водохранилищ

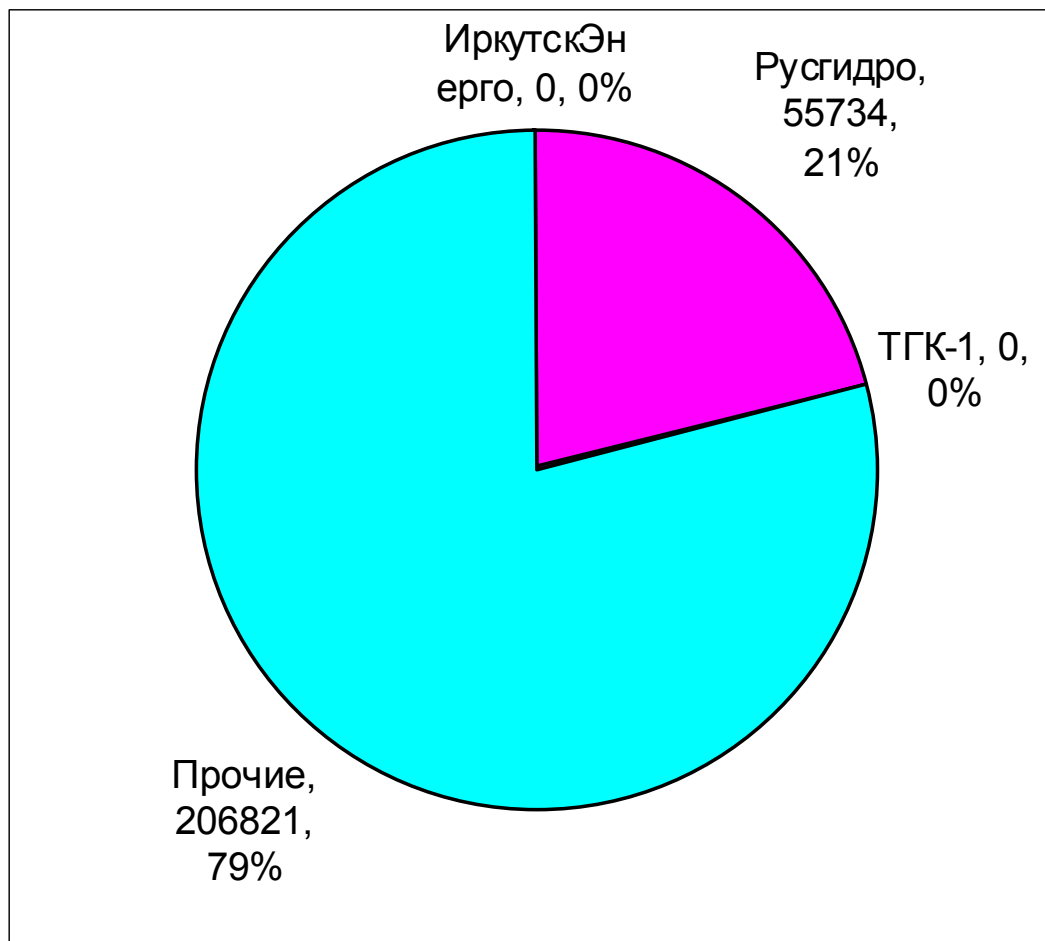
---



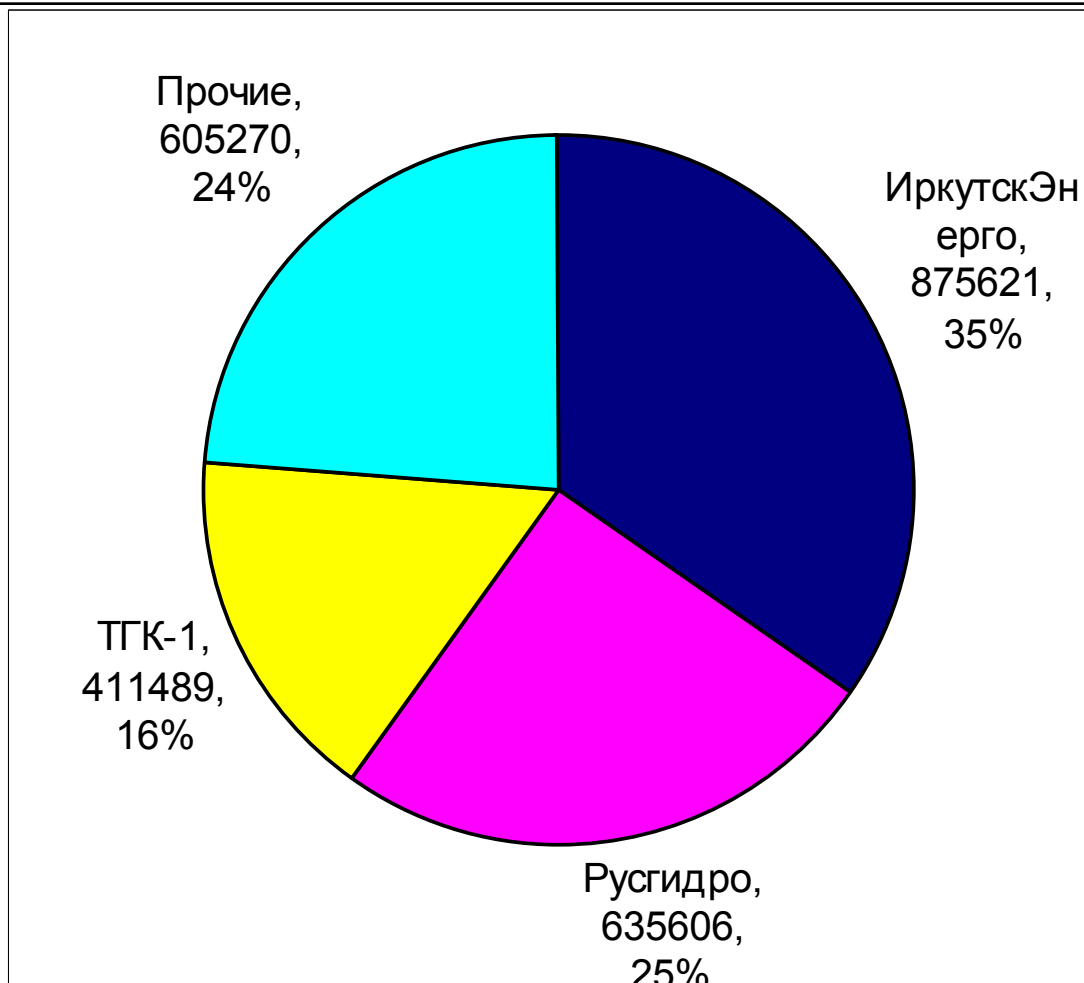
# Средние на единицу площади эмиссии метана



# Суммарные эмиссии CO<sub>2</sub> (0.26 млн. т С в год) с поверхности водохранилищ



# Суммарный сток CO<sub>2</sub> (2.5 млн. т С в год) в илы водохранилищ



Использовано допущение, что в ил переходит 15% продукции фитопланктона (Буторин и др., 1975)

# Баланс парниковых газов в водохранилищах в пересчете на млн. т CO<sub>2</sub> эквивалента в год

---

Собственник	Эмиссии метана	Эмиссии CO <sub>2</sub>	Сток CO <sub>2</sub> в илы	Баланс
Иркутскэнерго	0.49	0.00	-3.21	-2.72
РусГидро	0.57	0.20	-2.33	-1.55
ТГК-1	0.23	0.00	-1.51	-1.28
Прочие	0.71	0.76	-2.22	-0.75
Итого	2.01	0.96	-9.28	-6.30

# Потенциал сокращения выбросов в гидроэнергетике

---

- Замена устаревшего оборудования ГЭС, повышение энергоэффективности.
- Расчистка от леса ложа строящихся водохранилищ с использованием биомассы для получения энергии.
- Использование на биотоплива всплывшего леса в существующих водохранилищах.



# Потенциал сокращения выбросов в гидроэнергетике

---

- Замена устаревшего оборудования ГЭС, повышение энергоэффективности.
- Расчистка от леса ложа строящихся водохранилищ с использованием биомассы для получения энергии.
- Использование на биотоплива всплывшего леса в существующих водохранилищах.

## Репутация организации в отношении сокращения выбросов ПГ во многом зависит от публичной отчетности (пример Иркутскэнерго)

---

- За четверть века ПАО «Иркутскэнерго» (входит в состав АО «ЕвроСибЭнерго») удалось снизить эмиссию парниковых газов от своих объектов почти в полтора раза.
- В значительной мере уменьшить объемы выбросов парниковых газов удалось благодаря замене рабочих колес Братской ГЭС. Проект, на первом этапе которого в 2007–2010 годах модернизировали шесть из восемнадцати гидроагрегатов станции, только за время действия Киотского протокола (2008–2012 годы) дал снижение эмиссии двуокиси углерода на 4,01 млн тонн.

## Репутация организации в отношении сокращения выбросов ПГ во многом зависит от публичной отчетности (пример Иркутскэнерго)

---

- В перечне мероприятий, позволивших уменьшить эмиссию, есть проекты, которые, не принеся столь высокого результата, имеют большое значение для компании и всей энергосистемы Иркутской области.
- Это перевод одного котла ТЭЦ-7 на сжигание угля в смеси с отходами лесопереработки и запуск блочно-модульной котельной тепловой мощностью 25 МВт (БМК-25) на газе.

<http://expert.ru/siberia/2016/42/dva-shaga-na-nive-ekologii/>

# История эксплуатации Саяно-Шушенской ГЭС

---

- Было затоплено 3 млн. м<sup>3</sup> леса
- Позже всплыло 2 млн. м<sup>3</sup> леса
- Было извлечено 0.9 млн. м<sup>3</sup> леса



Фото <https://sib.fm/stories/2014/08/06/vyvesti-na-chistuju-vodu>

# История эксплуатации Саяно-Шушенской ГЭС

---


- С 2014 г. осуществляется проект по очистке водохранилища от топляка
- Строительство завода по производству пеллет рассматривалось при разработке проекта очистки, но не было реализовано по коммерческим соображениям.



# Основные выводы

---

- Даже с учетом эмиссий парниковых газов из водохранилищ гидроэнергетика на порядки менее углеродоемка, чем тепловая.
- Следует проявить большее внимание к потенциальному сокращению выбросов, связанного с использованием биотоплива



***Спасибо за  
внимание!***