

ДВЕНАДЦАТАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
«ГИДРОЭНЕРГЕТИКА. ГИДРОТЕХНИКА. НОВЫЕ
РАЗРАБОТКИ И ТЕХНОЛОГИИ»

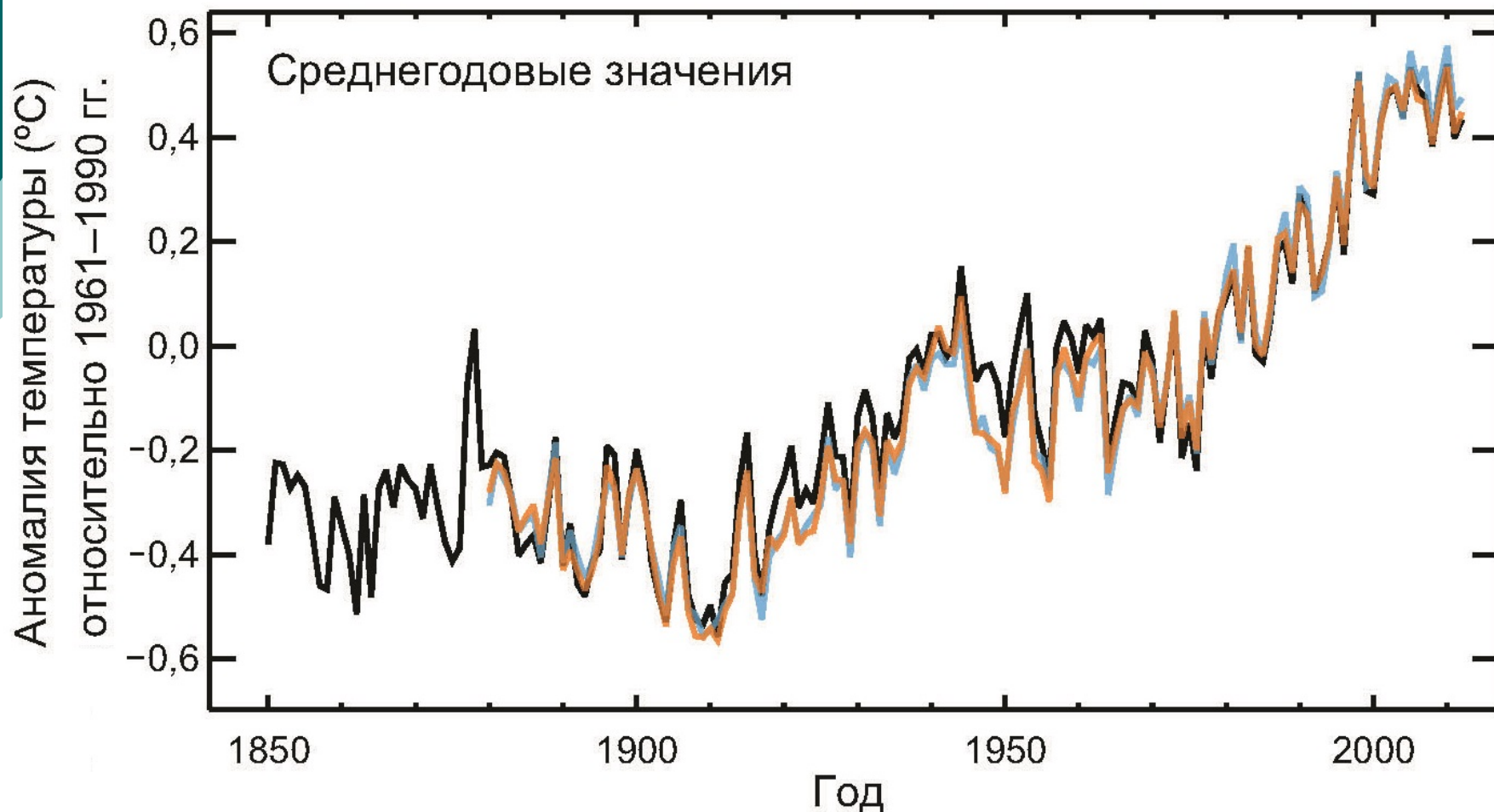
ИНВЕНТАРИЗАЦИЯ ЭМИССИЙ И СТОКОВ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ В ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ВОДОХРАНИЛИЩАХ РОССИИ



Д.Г. Замолодчиков
Биологический ф-т МГУ имени М.В.
Ломоносова

Санкт-Петербург, 15-16 ноября 2018 г.

Рост глобальной температуры с 1850 г.



Факторы роста радиационного воздействия

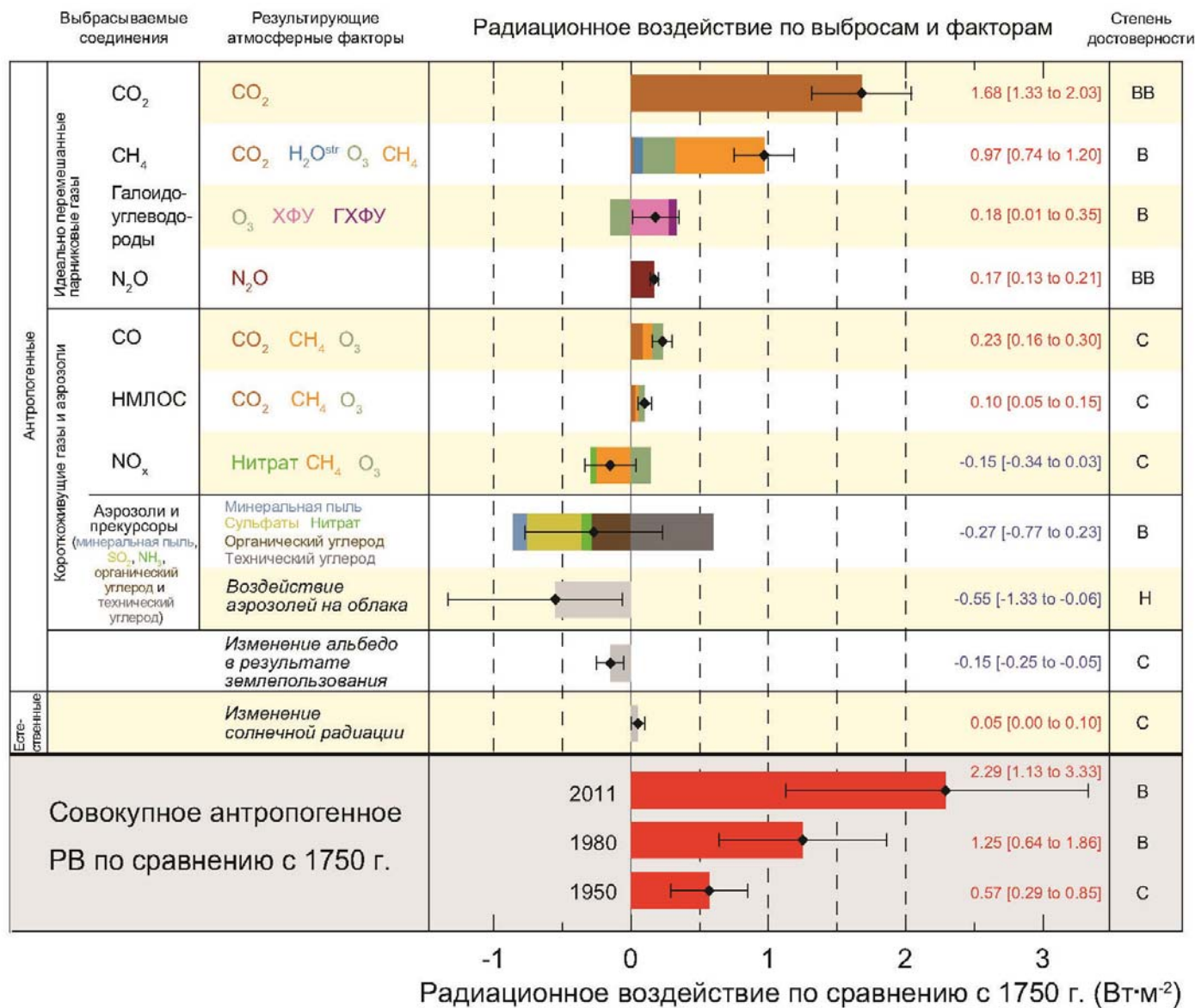
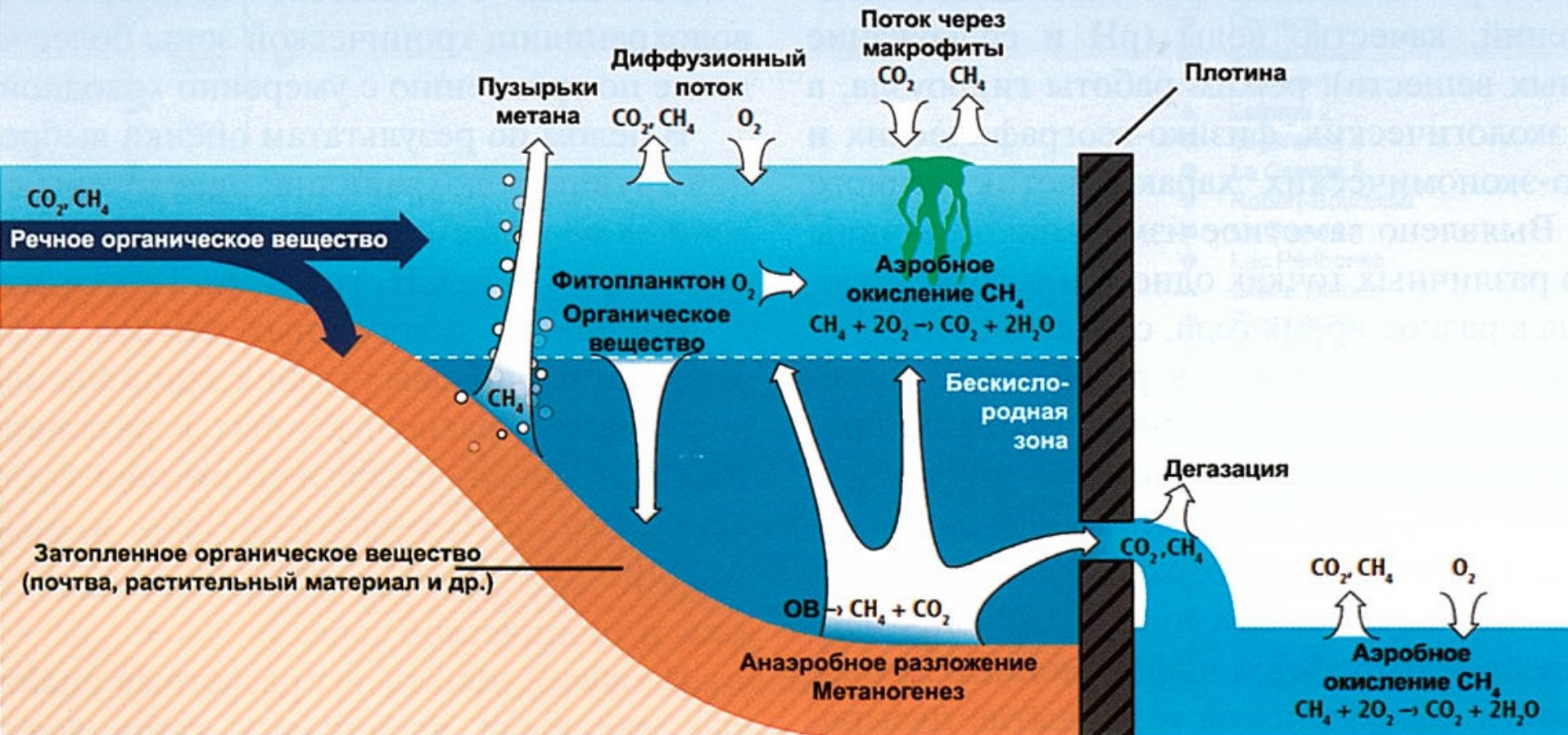


Схема потоков парниковых газов в водохранилищах





Цели работы

1. Создание расчетной методики инвентаризации стоков и источников парниковых газов в водохранилищах.
2. Проведение инвентаризации стоков и источников парниковых газов в гидроэнергетических водохранилищах России.

Основа для формирования расчетной методики

1. Эмиссии метана из донных отложений с анаэробными условиями – Руководящие указания МГЭИК.
2. Разложение органического вещества растительности и почвы, затопленного при создании водохранилища – Руководящие указания МГЭИК.
3. Накопление в донных отложениях органического вещества, продуцируемого в водохранилищах – Оригинальная методика



Ключевые процессы, оценка которых проводится в работе

1. Эмиссии метана из донных отложений с анаэробными условиями.
2. Разложение органического вещества растительности и почвы, затопленного при создании водохранилища.
3. Накопление в донных отложениях органического вещества, продуцируемого в водохранилищах.

Различные совокупности уравнений для водохранилищ разного возраста

- 1. «Водохранилища, остающиеся водохранилищами» - затопление произведено более, чем 20 лет назад. Производится расчет эмиссий метана (специфические коэффициенты) и поглощения углерода донными осадками.
- 2. «Земли, конвертированные в водохранилища» - затопление произведено менее, чем 20 лет назад. Производится расчет эмиссий метана (специфические коэффициенты), эмиссий CO_2 от разложения затопленного органического вещества и поглощения углерода донными осадками.

Водохранилища, остающиеся водохранилищами

$$F_{CH_4tot} = \sum_j \sum_i \left(EF_{CH_4age>20,j} \cdot A_{flooded,j,i} + R_d \cdot EF_{CH_4age>20,j} \cdot A_{total,j,i} \right)$$

где F_{CH_4tot} – поток метана, кг С-CH₄ год⁻¹;

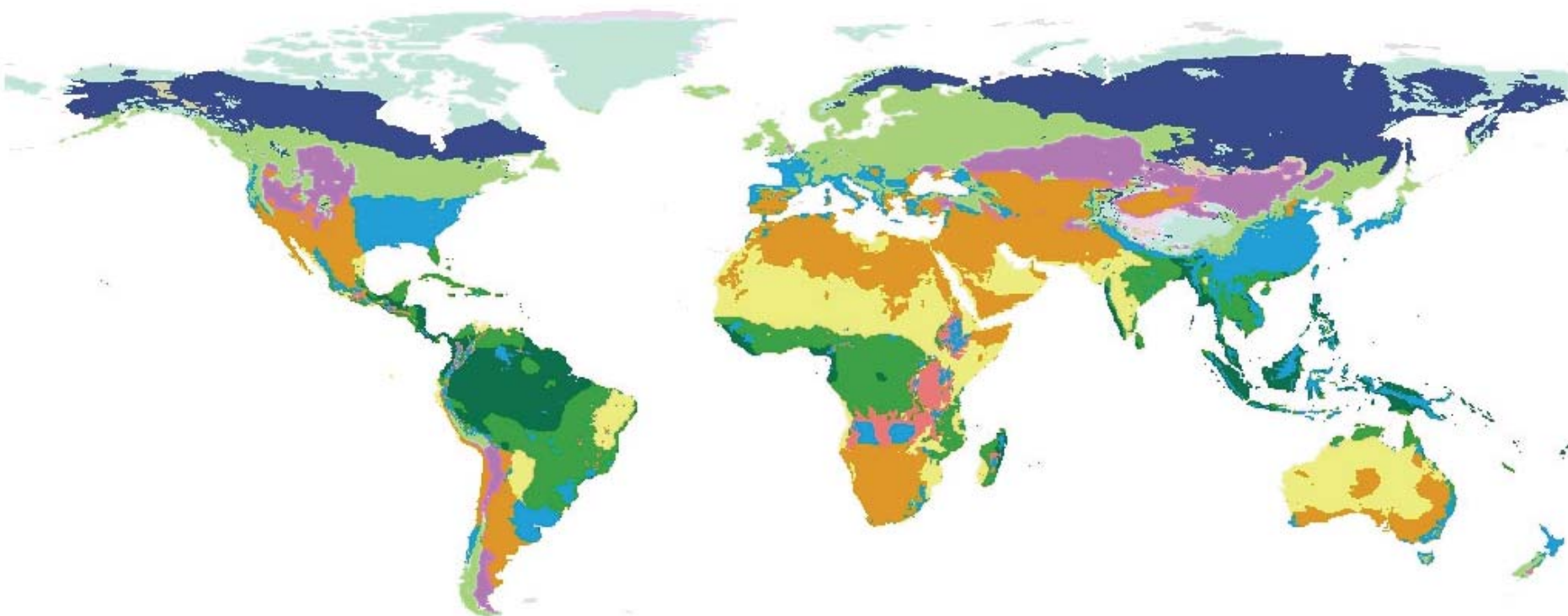
$A_{flooded,j,i}$ – площадь затопления водохранилища i , расположенного в климатической зоне j , га;

$A_{total,j,i}$ – полная площадь водохранилища i , расположенного в климатической зоне j , га;

$EF_{CH_4age>20,j}$ – типовые факторы эмиссии для водохранилищ возрастом более 20 лет в климатической зоне j , кг С-CH₄ га⁻¹ год⁻¹;

R_d – коэффициент, учитывающий дегазацию воды при прохождении через турбины (по умолчанию равен 0.09).

Климатические зоны МГЭИК



IPCC Climate Zones

No Data	Tropical Dry	Cool Temperate Dry	Polar Dry
Tropical Montane	Warm Temperate Moist	Boreal Moist	
Tropical Wet	Warm Temperate Dry	Boreal Dry	
Tropical Moist	Cool Temperate Moist	Polar Moist	

Экспериментальные определения эмиссий метана в водохранилищах России

Водохранилище	Эмиссия метана, $\text{кг C-CH}_4 \text{ га}^{-1} \text{ год}^{-1}$	Источник
Иркутское	0.61	Оценка выбросов парниковых газов Иркутской ГЭС....., 2017
Красноярское	0.46	Оценка выбросов парниковых газов Красноярской ГЭС....., 2017
Майнское	1.57	Федоров и др., 2014
Саяно-Шушенское	1.30	Федоров и др., 2014
Можайское	30.42	Гречушникова и др., 2017
Цимлянское	33.87	Гарькуша и др., 2015
Пролетарское	20.52	Гарькуша и др., 2015
Веселовское	30.02	Гарькуша и др., 2015
Рыбинское	19.73	Дзюбан, 2010

Эталонные значения эмиссий CH_4 по типам климата для водохранилищ, созданных более 20 лет назад

Климатическая зона МГЭИК		Типовая общая эмиссия метана $EF_{\text{CH4age} > 20, j}$ кг С- CH_4 га ⁻¹ год ⁻¹		
Название	J	нижняя граница 95% доверит. интервала	среднее	верхняя граница 95% доверит. интервала
Бореальный	1	0.5	1.0	1.5
Холодный умеренный	2	20.8	26.9	33.1
Теплый умеренный сухой	3	7.8	150.9	848.7
Теплый умеренный влажный	4	9.2	80.3	434.6

Эталонные значения эмиссий CH_4 по типам климата для водохранилищ, созданных 20 и менее лет назад

Климатическая зона МГЭИК		Типовая общая эмиссия метана $EF_{\text{CH4age} > 20, j}$ кг С- CH_4 га ⁻¹ год ⁻¹		
Название	J	нижняя граница 95% доверит. интервала	среднее	верхняя граница 95% доверит. интервала
Бореальный	1	0.9	2.0	3.1
Холодный умеренный	2	32.6	42.2	51.9
Теплый умеренный сухой	3	20.0	195.6	966.0
Теплый умеренный влажный	4	19.0	127.5	489.6

Расчет эмиссии углекислого газа от разложения затопленного органического вещества (только для водохранилищ, созданных 20 и менее лет назад)

$$F_{CO_2} = \sum_j \sum_i \sum_k A_{flooded,j,i} \cdot \phi_{i,k} \cdot SOC_{j,k} \cdot M_j$$

где F_{CO_2} – эмиссия углекислого газа от разложения затопленного органического вещества, т С год⁻¹;

$A_{flooded,j,i}$ – площадь водохранилища i , расположенного в климатической зоне j , га;

$\phi_{i,k}$ – доля площади водохранилища i , ранее покрытая почвенным типом k ;

$SOC_{j,k}$ – типовые запасы углерода почвы типа k , характерные для климатического типа j ;

M_j – коэффициент для расчета годового уровня эмиссии для климатических условий j , год⁻¹.

Типовые значения запаса углерода почв в слое 0-30 см, т С га⁻¹

Климатическая зона	Глинистые почвы высокой активности	Глинистые почвы низкой активности	Песчаные почвы	Подзолистые почвы	Вулканические почвы	Болотные почвы
Бореальный	68	NA	10	117	20	146
Холодный умеренный сухой	50	33	34	NA	20	87
Холодный умеренный влажный	95	85	71	115	130	
Теплый умеренный сухой	38	24	19	NA	70	88
Теплый умеренный влажный	88	63	34	NA	80	

Типовые значения коэффициента M_j для расчета годового уровня эмиссии по типам климата

Климатическая зона	M_j		
	нижняя граница 95% доверит. интервала	среднее	верхняя граница 95% доверит. интервала
Бореальный	0.0075	0.0091	0.0107
Холодный умеренный	0.0141	0.0146	0.0151
Теплый умеренный сухой	0.0541	0.0568	0.0595
Теплый умеренный влажный	0.0291	0.0302	0.0312

Расчет годичного накопления углерода донными осадками водохранилищ

$$S_{co2} = \Sigma 0.15 A_{flooded,i} GPP_t,$$

где S_{co2} — i поглощение углерода при формировании донных осадков в водохранилищах, т С га⁻¹ год⁻¹;

$A_{flooded,i}$ — площадь водохранилища, га;

GPP_t — валовая продукция фитопланктона для категории трофности t , т С га⁻¹ год⁻¹.

Величины GPP_t в зависимости от категории трофности водоема

Трофический класс	Хлорофилл А, мкг/л	Общий фосфор, мкг/л	Нитраты, мг/л	Прозрачность по диску Секи, м	GPP , т С га ⁻¹ год ⁻¹
олиготрофный	0-2.6	0-12	0-0.12	>4	0.125
мезотрофный	2.6-20	12-24	0.12-0.24	4-2	0.50
эвтрофный	20-56	24-96	0.24-0.95	2-0.5	2.00
гипер-эвтрофный	>56	>96	>0.95	<0.25	4.00



Информация, необходимая для инвентаризации потоков ПГ в водохранилищах

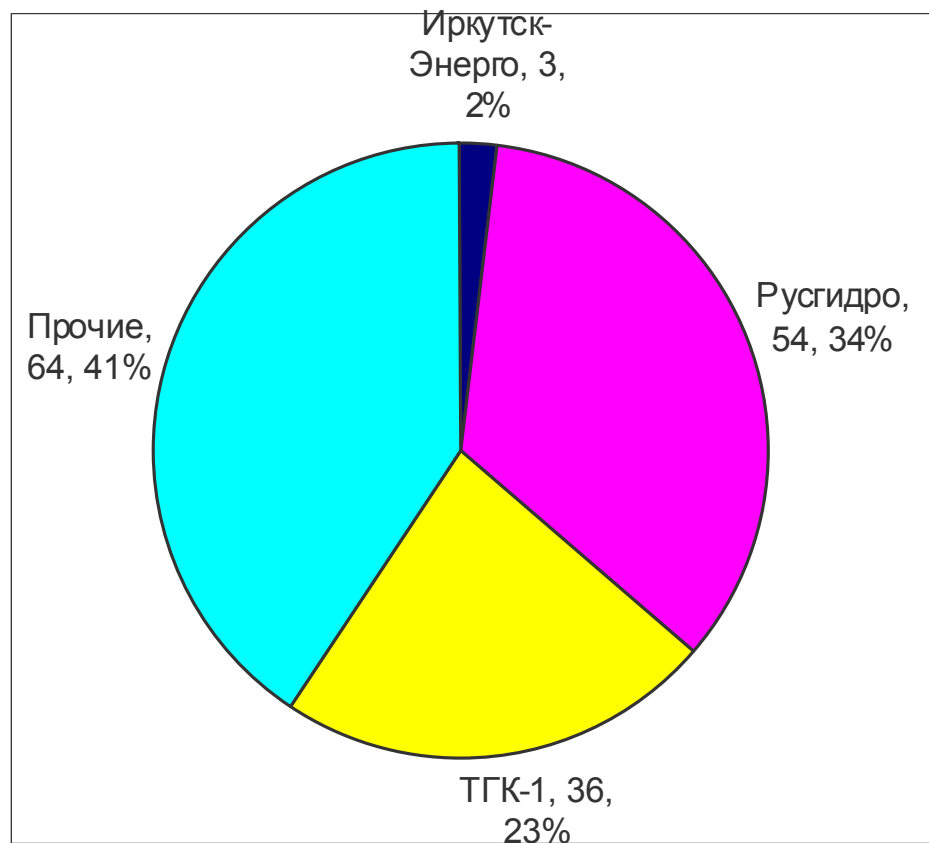
- Площадь водохранилищ
- Классификация водохранилищ по времени создания
- Классификация климата в районе водохранилища (годовые значения температур и осадков, оценка испаряемости)
- Классификация водохранилищ по трофности
- Продуктивность фитопланктона



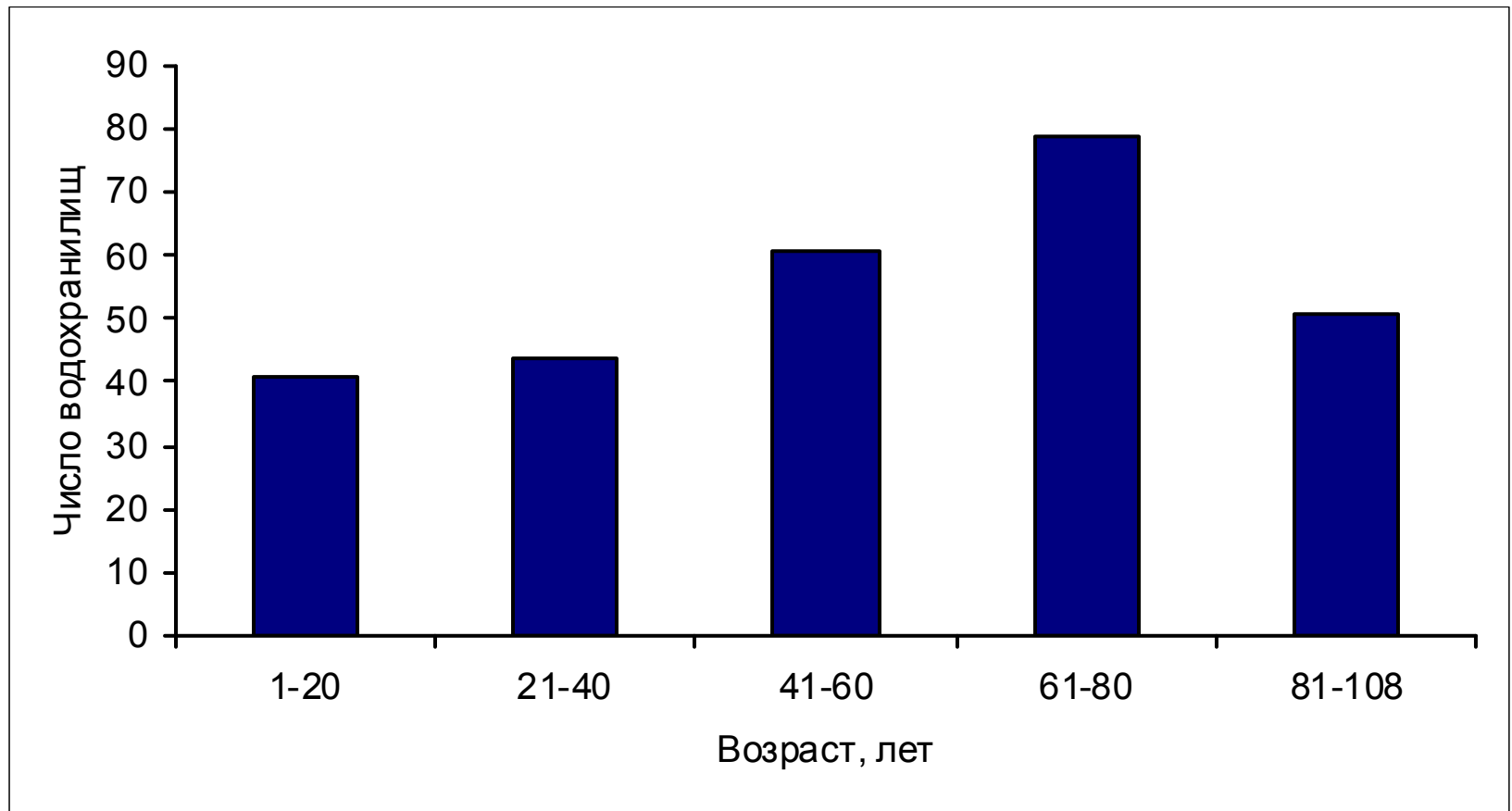
Основные источники информации

- База данных Ассоциации «Гидроэнергетика России» по водохранилищам (местоположение, площадь, собственник ГЭС)
- Средство Google Earth Engine (климат)
- Гидрохимический ежегодник 2016 г. (ключевые гидрохимические показатели – нитритный и нитратный азот, фосфор и др.)

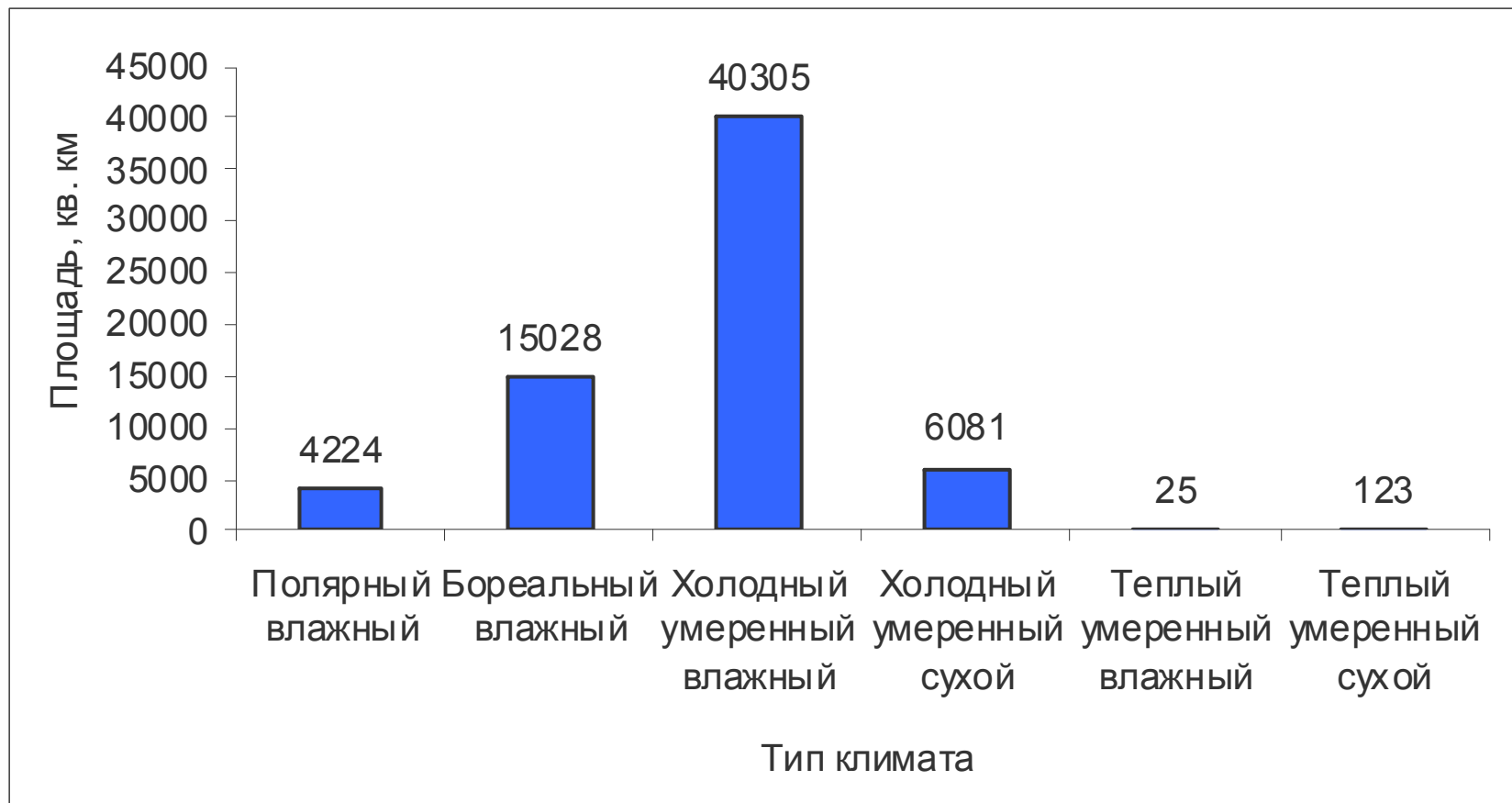
Распределение числа водохранилищ по собственникам ГЭС (всего 157 водохранилищ)



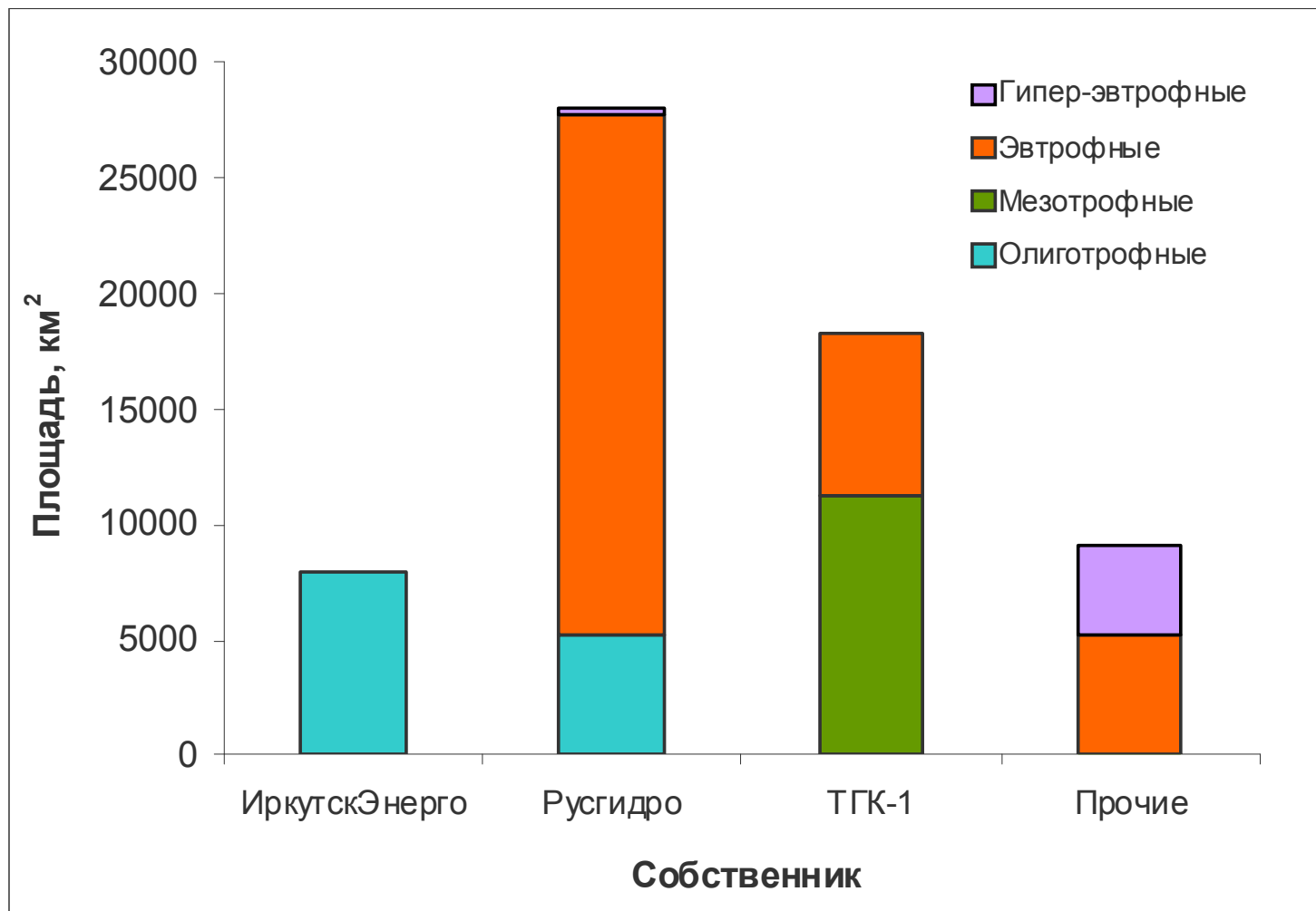
Распределение числа водохранилищ по времени создания



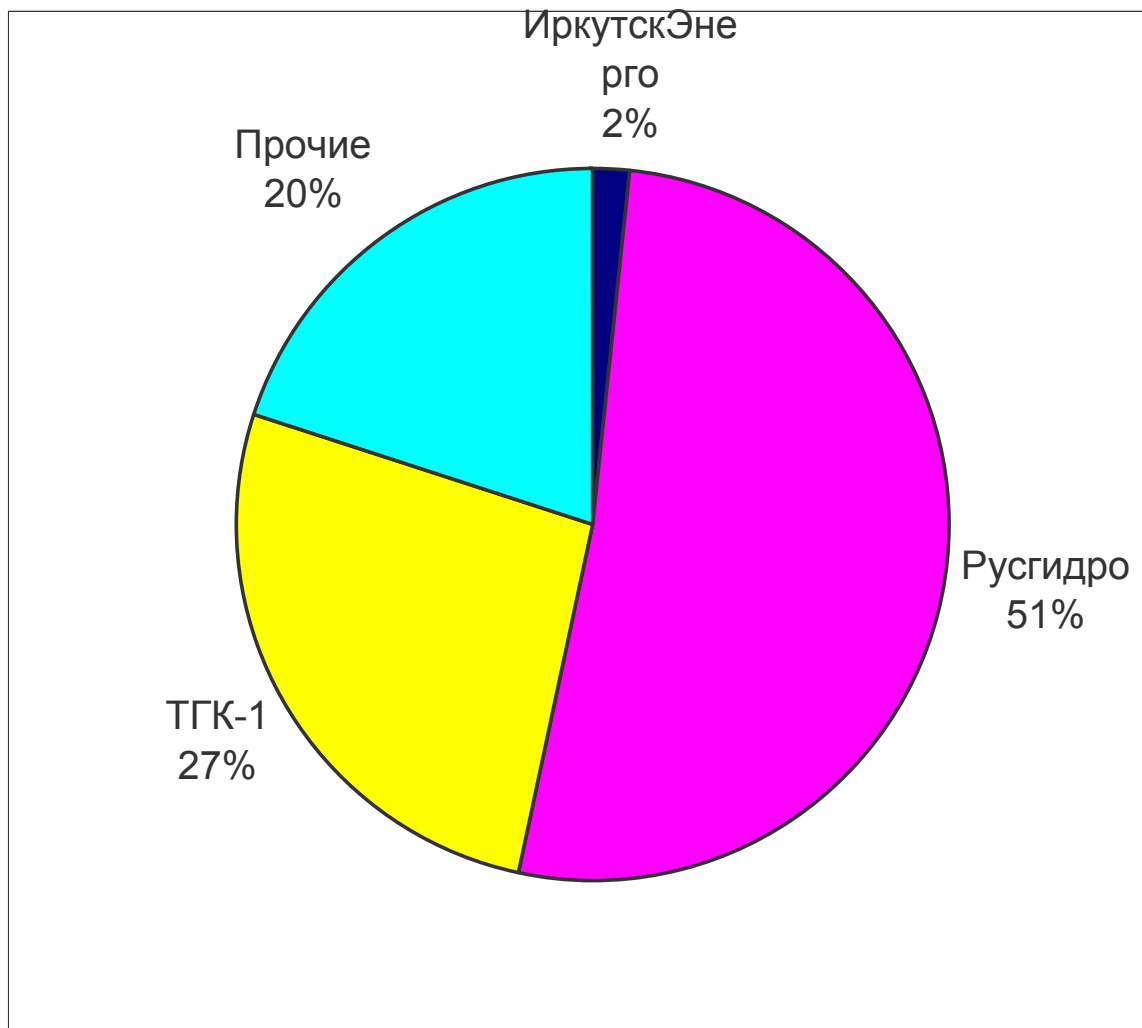
Распределение площади водохранилищ по климатическим зонам (общая площадь зеркала 73581 км²)



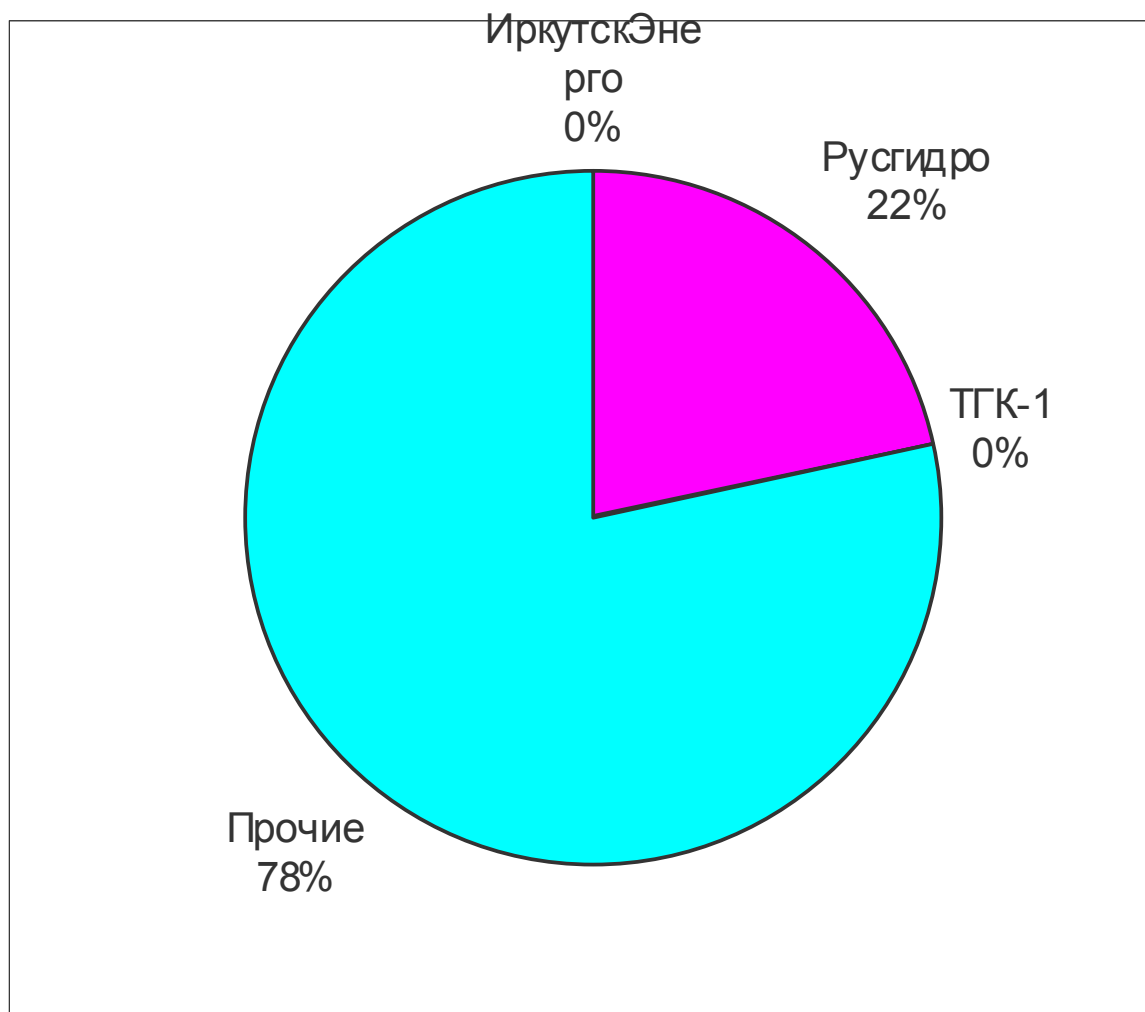
Распределение площади водохранилищ по категориям трофности и собственникам ГЭС



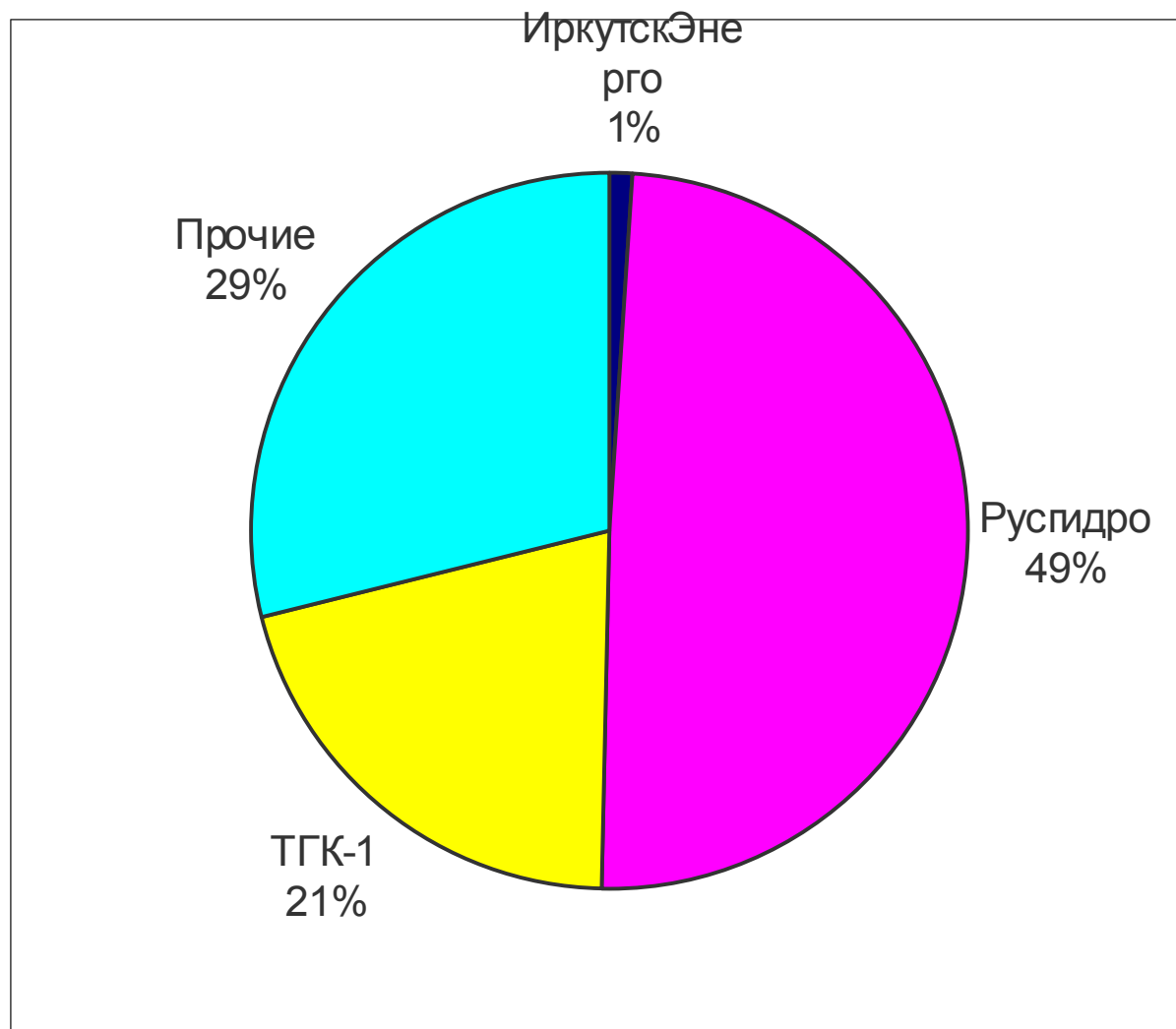
Суммарные эмиссии метана (142.6 тыс. т в год) с поверхности водохранилищ



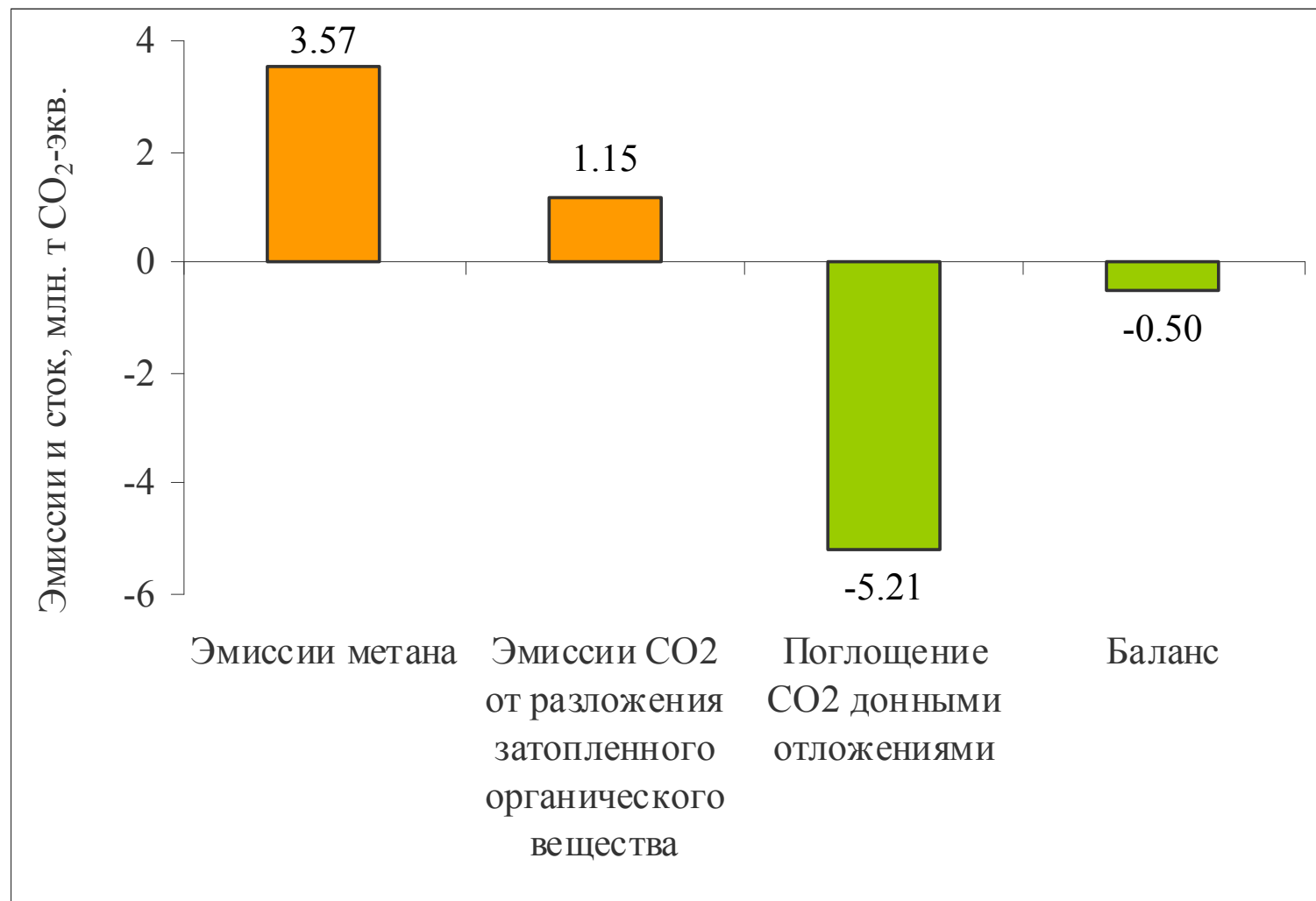
Суммарные эмиссии CO₂ (312.8 тыс. т С в год) с поверхности водохранилищ



Суммарный сток CO_2 (1420.1 тыс. т С в год) в донные отложения водохранилищ



Баланс парниковых газов в водохранилищах в пересчете на млн. т CO₂ эквивалента в год



Некоторые сравнения

- Эмиссии метана из гидроэнергетических водохранилищ мира оцениваются в 2.0-12.2 млн. т (Lima et al., 2008; Giles, 2006; Varis et al., 2012). Вклад водохранилищ России составляет 1-7% при доле площади 29-36%.
- Суммарные антропогенные эмиссии метана России оценены в 35 млн. т (Национальный доклад о кадастре..., 2016). Доля водохранилищ России составляет 0.4%.

Заключения

- Эмиссии метана в гидроэнергетических водохранилищах России невысоки в сравнении с мировыми в силу холодного климата и низкой трофности вод.
- Вклад гидроэнергетических водохранилищ России в национальную антропогенную эмиссию метана составляет всего 0.4%.
- С учетом поглощения углерода донными осадками гидроэнергетические водохранилища России являются карбонейтральными объектами.
- Для снижения неопределенности оценок необходимо расширить масштаб работ по натурным измерениям потоков метана и углекислого газа в гидроэнергетических водохранилищах.

A man with a mustache, wearing a camouflage jacket and a cap, stands in a pond filled with lotus flowers. He is gesturing with his right hand towards the flowers. In the background, there is a calm lake and a forested hill.

***Спасибо за
внимание!***