

Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение  
высшего образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
Институт экологии и географии  
Кафедра географии

УТВЕРЖДАЮ  
Заведующий кафедрой  
Г. Ю. Ямских  
подпись инициалы, фамилия  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2020 г.

## ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

05.03.02 География

05.03.02.03 «Экономическая и социальная география»

### География и развитие гидроэнергетики России

Научный руководитель	<hr/> подпись, дата	<u>доц., канд. биол. наук</u> должность, учёная степень	<u>О. А. Кузнецова</u> инициалы, фамилия
Выпускник	<hr/> подпись, дата		<u>Ю. П. Мамышева</u> инициалы, фамилия
Нормоконтролер	<hr/> подпись, дата		<u>В. О. Брунгардт</u> инициалы, фамилия

Красноярск 2020

## **СОДЕРЖАНИЕ**

Введение.....	3
1 Краткая история развития гидроэнергетики .....	5
2 Гидроэнергетика как отрасль топливно-энергетической промышленности	14
2.1 Гидроэнергетика в структуре ТЭК.....	14
2.2 Особенности географии гидроэнергетического потенциала мира .....	16
2.3 Географические аспекты развития мировой гидроэнергетики .....	20
2.4 Гидроэнергетическая отрасль как важнейшая составляющая электроэнергетики России .....	26
2.5 Крупные энергетические компании России.....	37
3 Гидроэнергетический комплекс Красноярского края .....	43
4 Преимущества и недостатки гидроэнергетической отрасли .....	43
5 Перспективы развития гидроэнергетики .....	45
Заключение .....	45
Список использованных источников .....	46

## ВВЕДЕНИЕ

Ускорение социально-экономического развития общества еще во второй половине XX в. потребовало быстрого увеличения, как производства электроэнергии, так и использования водных ресурсов. В настоящее время энергетика, являясь основным движущим фактором развития экономики и повышения благосостояния населения, характеризуется наиболее высокими темпами роста. При этом резко возросло значение гидроэнергетики как экологически чистого и наиболее эффективного из возобновляемых источников энергии, как основы комплексного использования водных ресурсов.

Россия обладает богатейшим гидроэнергетическим потенциалом, что определяет возможности развития отечественной гидроэнергетики. По обеспеченности гидроэнергетическими ресурсами наша страна занимает второе место в мире после Китая и опережает США, Бразилию, Канаду. Российская гидроэнергетическая отрасль является важной основой для деятельности и развития отраслей экономики страны, представляет собой важную составляющую электроэнергетики, и кроме своего прямого назначения дополнительно решает целый ряд важнейших социально-экономических задач, удовлетворяя потребности человека в воде или защищая его от водной стихии.

Современный этап развития гидроэнергетики характеризуется широким строительством во многих странах мира крупных ГЭС с водохранилищами комплексного назначения, каждая из которых дает импульс хозяйственному развитию территории, становится постоянно действующим фактором для региональной экономики. В условиях постоянного повышения доли электроэнергии, которая вырабатывается крупными ТЭС и АЭС, гидроэлектростанции стали важным и наиболее оптимальным дополнением маневренных мощностей.

Гидроэнергетика является одним из значимых источников энергообеспечения, использование которого позволяет понижать выбросы в атмосферу ТЭС и сохранять общие запасы углеводородного топлива. В настоящее время производство электроэнергии за счет использования возобновляемых гидроэнергетических ресурсов относится к важнейшим природоохранным и ресурсосберегающим технологиям мира.

**Актуальность темы работы.** Экономическое развитие России и возрастающая потребность в электрической энергии выдвигает проблему использования гидроэнергоресурсов в ряд важнейших экономических проблем, что обуславливает необходимость всестороннего изучения и оценки развития гидроэнергетики как наиболее эффективного и распространенного в настоящее время дешевого безуглеродного источника энергии.

**Цель работы** – изучить особенности размещения и развития гидроэнергетической отрасли России.

**Задачи:**

- рассмотреть географические аспекты и особенности развития российской гидроэнергетической отрасли;
- выявить особенности структуры гидроэнергетического комплекса Красноярского края и его значение в развитии российской гидроэнергетики;
- изучить преимущества и недостатки, перспективы развития гидроэнергетики России.

**Объект исследования:** гидроэнергетическая отрасль России.

**Предмет исследования:** территориальная структура и особенности развития российской гидроэнергетики.

**Методы исследования:** исторический; сравнительный географический, картографический, статистический методы.

## 1 Краткая история развития гидроэнергетики

Гидроэнергия использовалась человеком еще с древних времен, став важнейшим фактором, определяющим развитие цивилизации. На Руси водяные силовые установки строились на реках с незапамятных времен. В сохранившихся древних летописях указано, что русские люди еще в XIII в. искусно строили вододействующие установки для вращения мельничных жерновов. В XIV-XV вв. водяные мельницы были широко распространены на большей территории страны (рисунок 1). Еще активнее стали применять природную энергию рек в XVI и XVII вв. На р. Неглинной под г. Москва в 1519 г. действовали три водяные мельницы и одна толчея, которая очищала зерно в ступах, однако все эти установки с водяными колесами были слабой мощности. В 1524 г., согласно Псковской летописи, новгородцы под руководством «некоего хитреца» мастера Нережи Псковитина дерзнули создать плотину и первую в мире мощную гидросиловую установку на полноводном и глубоком Волхове, которая успешно работала на протяжении долгого времени.

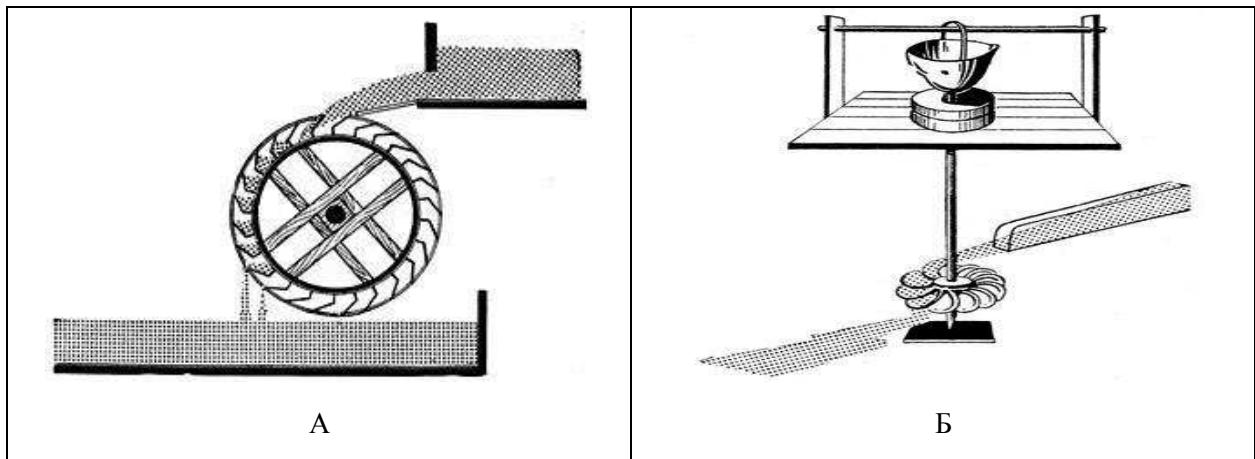


Рисунок 1– Мельничное водяное колесо (А) и древняя водяная мельница и (Б) [11]

Считается, что гидроэнергетика, как отрасль энергетики зародилась в конце XIX в., к этому времени появились гидравлические турбины и электрические генераторы, работающие в сочетании с гидроприводом, осуществлялась передача электроэнергии на большие расстояния. Растущий спрос на электроэнергию вследствие промышленной революции дал положительный толчок в их развитии [5]. Первым этапом становления гидроэнергетики как отрасли называют период с конца XIX в. до начала XX в. Быстрое развитие электроэнергетики в конце XIX в. стало базовой совершенно нового этапа применения гидроресурсов путем преобразования водной энергии в электрическую на ГЭС (рисунок 2).

Долгое время считалось, что становление гидроэнергетики в России началось в начале XX в. В Европейской части России в 1892 г. под руководством инженера Н. Н. Кокшарова в Рудном Алтае на р. Березовка (приток р. Бухтармы) начала функционировать четырех турбинная Березовская (Зыряновская) ГЭС, мощность которой составляла 150 кВт.

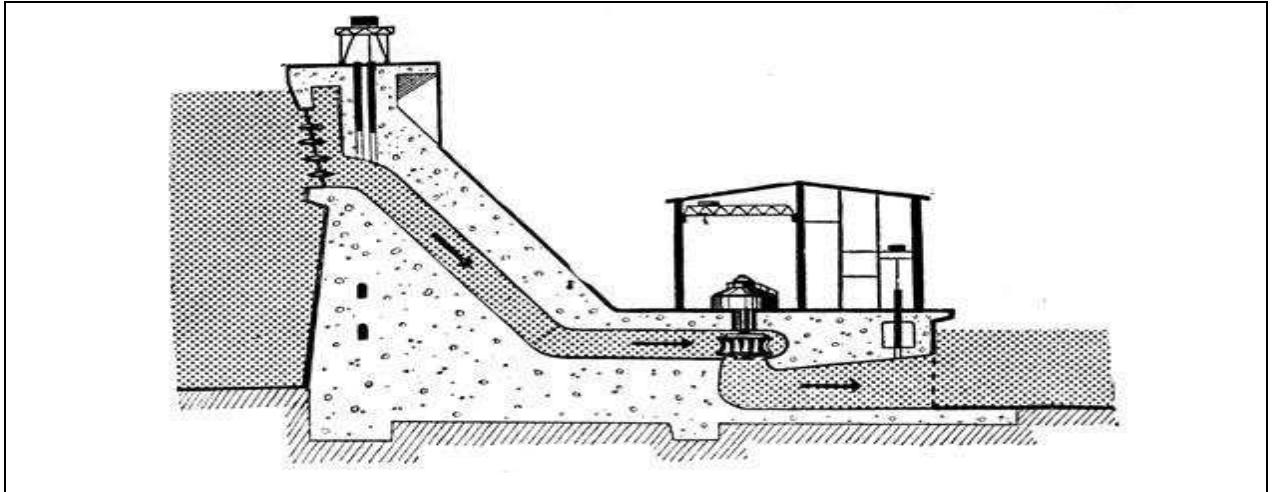


Рисунок 2 – Схема гидроэлектростанции при высокой бетонной плотине (в разрезе) [11]

Эта ГЭС предназначалась для электроснабжения шахтного водоотлива из Зыряновского рудника (рисунок 3).

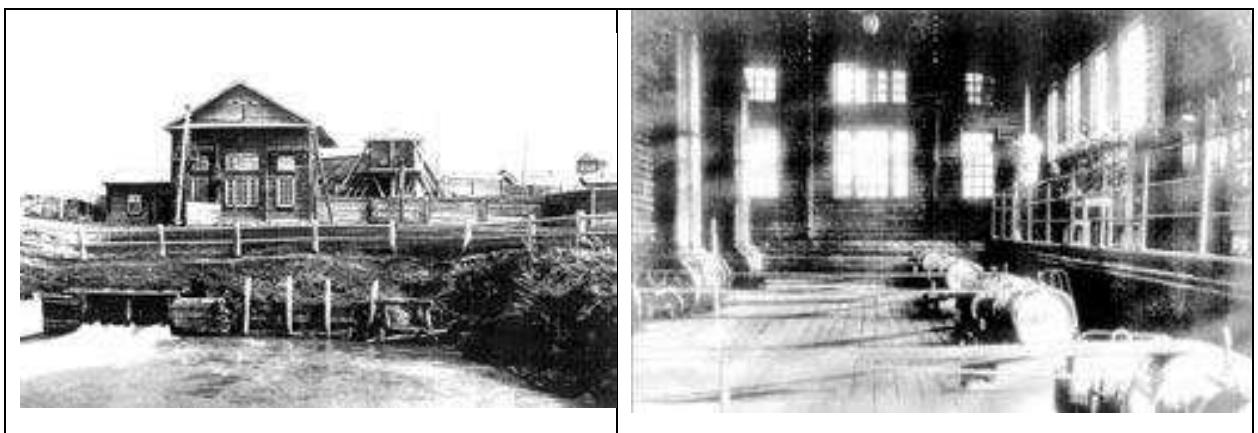


Рисунок 3 – Березовская (Зыряновская) ГЭС (1982 г.) [14]

В конце XIX века в России создавались небольшие ГЭС, не смотря на то, что предлагались проекты относительно крупных. В данный период в нашей стране в основном строились ТЭС, обеспечивавшие быстрое получение доходов и требовавшие меньших капиталовложений по сравнению с ГЭС. В 1892 г. инженер Н. Н. Бенардос предложил проект строительства ГЭС мощностью до 15 МВт у Ивановских порогов на р. Неве с передачей электроэнергии в г. Санкт-Петербург, в 1894 г. инженер В. Ф. Добротворский разработал проект создания ГЭС (мощность 24 МВт) на р. Нарва у Нарвских порогов [22].

Первой крупной ГЭС (мощностью по 100 кВт) считают Ныгринскую, возведенную в 1896 г. в Иркутской губернии на р. Ныгри (приток р. Вачи). Благодаря ГЭС первичное напряжение передавалось по двум первым в стране высоковольтным ЛЭП в соседние прииски, в шахтах были установлены электрические подъемники и электрифицирована приисковая железная дорога, служившая для вывоза отработанной породы и ставшая первой в России электрифицированной железной дорогой [15].

В 1896 г. в России под руководством В. Н. Чиколева и Р. Э. Классона на р. Охта была построена гидроэлектрическая установка (мощность 290 кВт) для электроснабжения Охтинского порохового завода, затем созданы российские ГЭС в Восточной Сибири и под г. Петербургом. В 1898 г. была запущена ГЭС, на которой впервые в нашей стране были установлены генераторы переменного тока, а трансформатор (напряжением 10 кВт) позволил передать ток на расстояние в 20 км. Позже на Ленских приисках создали еще шесть ГЭС (общая мощность - 2,5 тыс. кВт) [8]. В 1903 г. начала работать ГЭС «Белый уголь» (мощность 990 л. с.) на р. Подкумок (Северный Кавказ), в создании которой принимал участие известный инженер М. А. Шателен. Ни одна из гидроэлектростанций не была более популярной, чем станция «Белый уголь», это и стало причиной ошибки, когда ее называли первой ГЭС страны. На Урале ГЭС создавались в основном там, где добывалась железная руда (например, на Алапаевском месторождении бурых железняков). Мощность Алапаевской ГЭС, сооруженной в 1904 г. составляла 560 кВт. [2].

В 1913 г. в дореволюционной России 74 малые гидростанции вырабатывали примерно 5 млн кВт (для сравнения, Красноярская ГЭС вырабатывает менее чем за 1 час). Общая мощность таких ГЭС - более 16 МВт, а выработка - 35 млн кВт·ч, при этом мощность наиболее крупной из них составляла 1,3 МВт. Однако, несмотря на относительно малые мощности, именно с малых гидроэлектростанций выросла современная гидроэнергетика нашей страны. В 1916 г. Министерством земледелия России было зарегистрировано 24 ГЭС (мощность каждой от 150 кВт и более), построенных на небольших реках и дающих электроэнергию действующим фабрикам и рудникам, монастырям, курортам. В начале XX в. общая мощность всех ГЭС составляла около 1100 МВт, однако качество гидросилового оборудования было низкое, а КПД турбин не превышал 0,85. Работа гидротехнических сооружений и их конструкции были несовершенными [8].

Создание и эксплуатация первых ГЭС заложили основы дальнейшего развития гидроэнергетики, прошедшей большой и сложный путь от первых ГЭС мощностью в сотни кВт до современных ГЭС с мощностью в миллионы кВт. На базе накопленного опыта совершенствовались конструкции гидротехнических сооружений и технологического оборудования, повышалась эффективность ГЭС. Наиболее важное значение имели такие преимущества ГЭС как использование возобновляемых гидроэнергоресурсов, простота эксплуатации, обеспечение водоснабжения и нужд водного транспорта за счет комплексного использования водохранилищ, отсутствие загрязнения окружающей природной среды. Строительство ГЭС в нашей стране развернулось уже после первой мировой войны, когда необходимо было восстанавливать экономику.

Второй этап развития гидроэнергетики (с начала и до середины XX в.). В данный период начинается освоение гидроэнергетических ресурсов со строительством относительно крупных ГЭС. Мощность их достигала тысяч мегаватт, совершенствовались конструкции турбин и генераторов, увеличивалась емкость водохранилищ, высота плотин на скальных основаниях достигала более 100 м. В связи с резким увеличением высоты плотин и объемов водохранилищ,

при отсутствии необходимого опыта, актуальными стали вопросы обеспечения надежной работы ГЭС и особенно плотин. Острая в то время проблема повышения безопасности и надежности плотин привела к совершенствованию их конструкций и технологий возведения, развитию теории плотиностроения, механики грунтов и гидравлики, создавая предпосылки для дальнейшего строительства крупных плотин. Уделялось внимание вопросам влияния водохранилищ и ГЭС на окружающую среду, оказалось, что природные ресурсы не беспредельны, осуществлялись первые научные исследования по оценке отрицательных последствий создания и эксплуатации водохранилищ.

На втором этапе развитие гидроэнергетики России, а затем СССР не значительно отличалось от мирового. Наша страна имела уже достаточно богатый опыт промышленного гидростроительства, в основном, частными компаниями и концессиями. В становлении отрасли важное значение имело принятие в 1920 г. единого народнохозяйственного плана электрификации страны (ГОЭЛРО), определившего стратегию в области энергетической политики страны, сформировавшего задачи и механизмы реализации ее электрификации как основы подъема народного хозяйства. План ГОЭЛРО, рассчитанный на 10-15 лет, предусматривал строительство 10 ГЭС (суммарная мощность 1,5 млн кВт), прежде всего в крупных промышленных развивающихся районах для производства электроэнергии, орошения и организации водного транспорта. Большое внимание уделялось эффективному использованию гидроэнергетических ресурсов. План, фактически реализованный за 10 лет (к 1931 г.), создал базу индустриализации России. Так, уже в конце 1940-х г. по выработке энергии наша страна заняла первое место в Европе и второе в мире.

С первых лет реализации плана ГОЭЛРО гидроэнергетическое строительство стало одним из основных направлений развития электроэнергетики, обусловленное наличием огромного гидроэнергетического потенциала страны. Волховская ГЭС мощностью 58 МВт с водохранилищем емкостью 10,2 км<sup>3</sup> была первой ГЭС, сооруженной по плану ГОЭЛРО под руководством проф. Г.О. Графтио (рисунок 4). Введенная в эксплуатацию в 1926 г., она обеспечивала электроснабжение г. Ленинград, создав сплошной судоходный путь по р. Волхов. В 1933 г. было завершено строительство Нижнесвирской ГЭС на р. Свирь

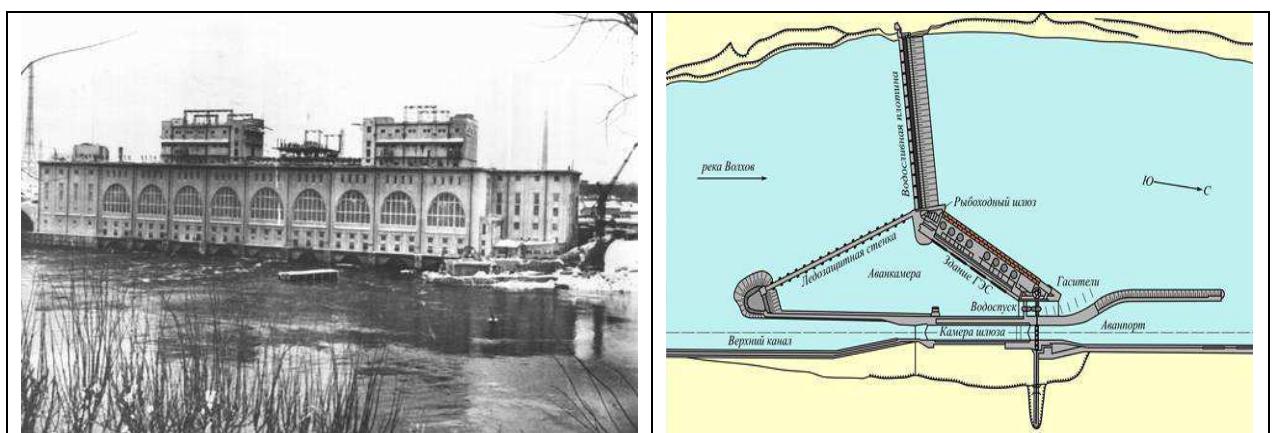


Рисунок 4 – Волховская ГЭС: общий вид и схема гидроузла [1]

(мощность 100 МВт), введены в строй Кондопожская ГЭС в Карелии, Рионская, Дзорагетская ГЭС в Закавказье и ряд других крупных ГЭС. В 1935 г. общая мощность всех ГЭС в стране составила около 900 МВт. В Алтае на р. Граматухе, Ульбе, Хариузовке был построен ряд деривационных высоконапорных ГЭС. В северо-западном районе России с целью электроснабжения развивающейся промышленности введен в эксплуатацию каскад из пяти ГЭС на Кольском полуострове (на перепадах между бьефами Беломорско-Балтийского канала), воздвигнута ГЭС Нива-2 на р. Ниве и Нижнетуломская ГЭС на р. Туломе недалеко от г. Мурманск.

В развитии гидроэнергетики важное значение имело начавшееся использование водных ресурсов крупнейшей в Европе р. Волга. Была разработана «Схема Большой Волги» с целью использования ее водных ресурсов для гидроэнергетики, водного транспорта, ирригации. В 1937 г. введен в эксплуатацию канал им. Москвы (протяженность 128 км), соединивший р. Волга с р. Москва, обеспечивший снабжение водой г. Москва и обводнение Москвы-реки, и создание вокруг столицы обширных зон отдыха. Головным сооружением канала стал Иваньковский гидроузел на р. Волге с ГЭС (мощность 30 МВт).

В условиях возрастающих масштабов гидроэнергетического строительства для успешного решения сложных научно-технических проблем были созданы специализированные научные, проектно-изыскательские, строительно-монтажные организации. В 1930 г. был основан трест «Гидроэлектрострой», объединивший работы по проектированию и строительству ГЭС, а в 1932 г. проектно-изыскательские организации были выделены в трест «Гидроэлектропроект», позднее преобразованный в проектно-изыскательский институт «Гидроэнергопроект». Для выполнения проектно-изыскательских работ по каналу Москва – Волга и Верхневолжским ГЭС был создан Гидропроект под руководством выдающегося гидростроителя С.Я. Жука. В этот период складывается Российская школа гидроэнергетиков, для которой характерно комплексное и технически обоснованное освоение гидроресурсов страны. Строительству ГЭС предшествовала разработка схем масштабного использования рек, которые основывались на принципе каскадного расположения на них гидроузлов.

В 1940 г. была введена в эксплуатацию Угличская ГЭС (мощность 110 МВт), а в 1941 г. - первая очередь Рыбинской ГЭС. На данных низконапорных ГЭС были установлены поворотно-лопастные турбины мощностью по 55 МВт [8]. Общая мощность ГЭС в 1940 г. возросла до 1537 МВт с выработкой 5,1 млрд кВт·ч (10,6 % от общего производства электроэнергии).

Военный период (1941-1945 гг.) характеризуется перемещением гидроэнергетического строительства из европейской части России, где было приостановлено строительство ГЭС (общая мощность более 1 млн кВт), на Урал и в Среднюю Азию, куда была перебазирована часть промышленности из временно оккупированных районов в период военных действий. На Урале были построены Аргазинская, Верхнетурская, Широковская и другие ГЭС. Важную роль играли гидроэлектростанции в обеспечении электроснабжения прифронтовых районов. Так, Волховской ГЭС имела огромное значение для электроснабжения г.

Ленинград в период блокады, а комплекс Верхневолжских ГЭС - для электроснабжения г. Москва, особенно зимой 1941-1942 гг. В военные годы было разрушено более 60 ГЭС, в том числе Днепровская, Нижнесвирская и др. Общая мощность выведенных из строя ГЭС превысила 1000 МВт. В 1945 г. общая мощность ГЭС составила 1300 МВт с выработкой 4,8 млрд кВт·ч, что определяло 11,2 % общего производства электроэнергии [19].

Современный (третий) этап развития гидроэнергетики в России, условно приуроченный к периоду с середины XX в. и по настоящее время, характеризуется обширным строительством крупных ГЭС с водохранилищами комплексного назначения, существенным увеличением использования гидроэнергетических ресурсов, что обусловлено необходимостью удовлетворения возросших потребностей в электроэнергии и воде городов, промышленности и сельского хозяйства [19]. В связи с вводом в ОЭС страны крупных ТЭС и АЭС возросла роль в обеспечении электроснабжения высокоманевренных ГЭС и ГАЭС, покрывающих пиковую часть графика нагрузок и выполняющих функции аварийного и нагрузочного резервов энергосистемы. Накопленный опыт и успехи в методах проектирования ГЭС, совершенствование конструкций и технологий возведения плотин, обеспечив повышение их надежности и экономичности, позволили создавать ГЭС с высокими плотинами и большими водохранилищами в разнообразных природных условиях (включая сложные инженерно-геологические условия и высокую сейсмичность территорий). Мощность отечественных ГЭС достигла миллионов кВт, емкость водохранилищ – десятков км<sup>3</sup>.

Гидроэнергетика на всех этапах экономического развития нашей страны внесла огромный вклад в снабжении электроэнергией развивающейся промышленности, а в ряде районов страны она была основной энергетической базой для развития региональной экономики [13]. Третий этап характеризуется широким гидроэнергетическим строительством: завершены восстановление и реконструкция разрушенных во время войны ГЭС; построен преимущественно в европейской части страны ряд крупных ГЭС с водохранилищами комплексного использования на многоводных равнинных р. Волга, Днепр, Кама, Дон, Днестр. В 1952 г. создан водохозяйственный комплекс в составе Цимлянского гидроузла с ГЭС на р. Дон, Волго-Донского судоходного канала (протяженность 101 км). В 1950-1960 гг. развернулись работы по строительству крупнейших ГЭС Волжского каскада: Куйбышевской ГЭС (мощность 2300 МВт), Волгоградской ГЭС (мощность 2541 МВт). Данные ГЭС внесли большой вклад в создание Единой энергосистемы (ЭОС) европейской части страны. Начато строительство Кременчугской ГЭС и Днепродзержинской ГЭС. В Сибири созданы Иркутская ГЭС (мощность 662 МВт) на р. Ангара и Новосибирская ГЭС (мощность 455 МВт) на р. Обь (рисунок 5). В 1958 г. мощность российских ГЭС достигла 10,9 млн кВт [19]. В 1959-1980 гг. созданы крупные ГЭС с перемещением из Европейской части страны (центра гидростроительства) в районы Сибири, Средней Азии, где сосредоточено более 80 % гидроресурсов и подходящие природные условия для строительства высокоэффективных ГЭС. Огромный вклад в освоении водных ресурсов крупнейших рек страны внесло создание в

1961 г. Братской ГЭС (мощность 4500 МВт) на р. Ангара, строительство которой в условиях Сибири явилось выдающимся достижением.



Рисунок 5 – Новосибирская ГЭС на реке Обь [22]

Ценный опыт ее строительства и технология выполнения бетонных работ были успешно применены при сооружении других сибирских ГЭС. Братская ГЭС стала основой формирования ОЭС Сибири, а также Братско-Усть-Илимского территориально-производственного комплекса, в состав которого вошла Усть-Илимская ГЭС (мощность 4,3 млн кВт), введенная в эксплуатацию в 1975 г. [13].

На р. Енисее в 1967 г. была создана Красноярская ГЭС с высокой мощностью (6000 МВт) при единичной мощности агрегатов 500 МВт (таблица 1, рисунок 6). Самая северная в стране гидроэлектростанция – Усть-Хантайская ГЭС (мощность 440 МВт) построена на р. Хантайка (приток Енисея), в Восточной Сибири – Вилуйская ГЭС (мощность 650 МВт) на р. Вилуй в Якутии и др.

Таблица 1 – ГЭС России высокой мощности

№	Название ГЭС	Водный объект	Проектная мощность, ГВт	Даты установки и запуска, гг.	Субъект РФ
1	Саяно-Шушенская	р. Енисей	6,4	1978-1985, 2011-2014	Респ. Хакасия
2	Красноярская	р. Енисей	6	1967-1971	Красноярский кр.
3	Братская	р. Ангара	4,5	1961-1966	Иркутская обл.
4	Усть-Илимская	р. Ангара	3,84	1974-1979	Иркутская обл.
5	Волжская	р. Волга	2,671	1958-1961	Волгоградская обл.
6	Жигулевская	р. Волга	2,467	1955-1957	Самарская обл.
7	Саратовская	р. Волга	1,404	1967-1970	Саратовская обл.
8	Чебоксарская	р. Волга	1,374	1980-1986	Респ. Чувашия
9	Зейская	р. Зея	1,33	1975-1980	Амурская обл.
10	Нижнекамская	р. Кама	1,205	1979-1987	Респ. Татарстан

На Дальнем Востоке в 1978 г. введена в эксплуатацию Зейская ГЭС на р. Зея (мощность 1330 МВт). На Волжском каскаде вводится в эксплуатацию Саратовская ГЭС (мощность 1360 МВт) на р. Кама – Воткинская ГЭС (мощность 1020 МВт).



Рисунок 6 – Красноярская ГЭС на реке Енисей [22]

До 1990 г. на Волжско-Камском каскаде введены в строй Нижнекамская ГЭС (мощность 1205 МВт) и Чебоксарская ГЭС (мощность 1370 МВт), а на р. Днестр Днестровская ГЭС (мощность 702 МВт). Большая часть мощностей ГЭС вводится в Сибири: на Саяно-Шушенской ГЭС на р. Енисей (мощность 6400 МВт), вторая очередь Вилуйской ГЭС (мощность до 650 МВт), далее Колымской ГЭС (мощность 720 МВт), Курейской ГЭС (мощность 600 МВт). Начато строительство Богучанской ГЭС на р. Ангара мощностью 3000 МВт, Усть-Среднеканской на Колыме (мощность 550 МВт), на Дальнем Востоке Бурейской и Нижнебурейской ГЭС на р. Бурея (суммарная мощность 2300 МВт). В Московской области на р. Кунья создана Загорская ГАЭС (мощность 1200 МВт), первый агрегат которой был введен в строй в 1987 г. (в 2002 г. она достигла проектной мощности. В целом, мощность ГЭС в стране в 1990 г. достигла 65 млн кВт, выработка - 233,4 млрд кВт·ч, по установленной мощности ГЭС Россия вышла на второе место в мире, а по выработке электроэнергии на ГЭС – на третье место (рисунок 7) [19]. В период 90-х гг. XX века в условиях затянувшегося экономического спада, структурных изменений в экономике, значительно снизились капиталовложения и соответственно темпы строительства ГЭС и ГАЭС, а строительство ряда объектов было временно законсервировано [5].

В период 2001-2019 гг. в стране осуществляются работы по достройке и вводу ряда ГЭС, строительство которых было начато в постсоветское время, еще до 1991 г. С 2010-2017 г. завершилось строительство крупнейшей российской гидроэлектростанции – Нижне-Бурейской ГЭС, входящей в Бурейский каскад ГЭС. Строительство Богучанской ГЭС (с 1974 г. по 2015 г.) - рекордное по продолжительности в истории отечественной гидроэнергетики. Ввод на полную мощность Богучанской ГЭС (четвертой, нижней ступени Ангарского каскада ГЭС), состоялся после наполнения водохранилища до проектной отметки 208 м (рисунок 8).

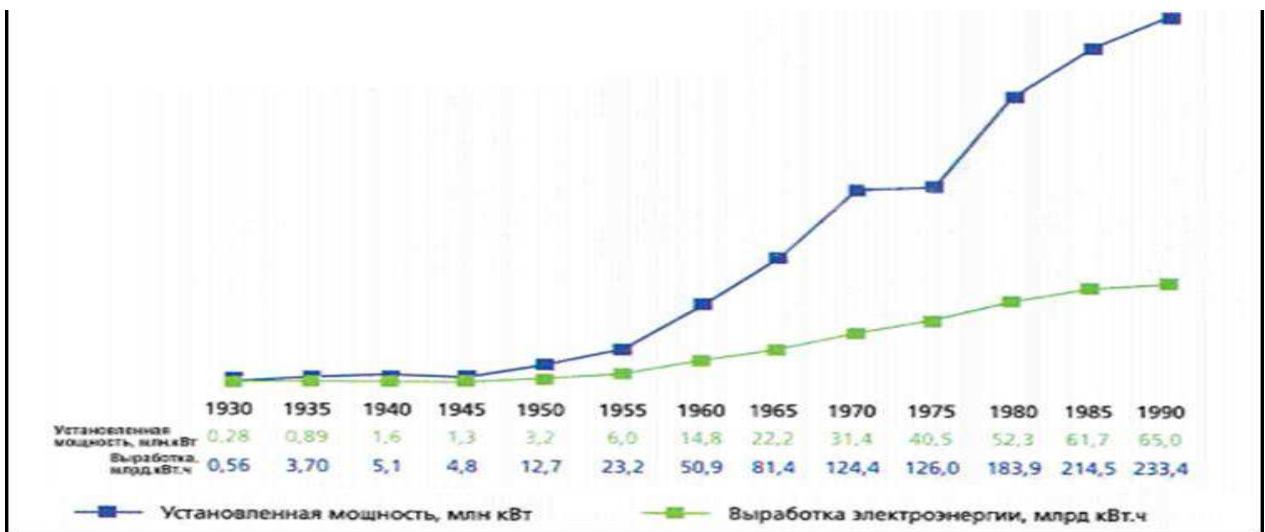


Рисунок 7 – Многолетняя динамика установленной мощности и выработки электроэнергии на российских гидроэлектростанциях (1930-1990 гг.) [42]

Строительство Усть-Среднеканской ГЭС (вторая, нижняя ступень Колымского каскада ГЭС) велось в суровых климатических условиях с 1991 г., пуск первых гидроагрегатов был осуществлен в 2013 г., ввод ее на полную мощность запланирован на 2022 г. [4].



Рисунок 8 – Богучанская ГЭС на р. Ангара [22]

Таким образом, создание первых ГЭС определили основу будущего развития гидроэнергетики, прошедшей долгий и трудный путь от первых далеких от совершенности ГЭС до современных ГЭС. На основе накопленного опыта постоянно усовершенствовались конструкции гидротехнических сооружений и технологическое оборудование, интенсивно повышалась эффективность ГЭС. Масштабное строительство ГЭС с водохранилищами, сыграло важную роль в экономическом развитии, в повышении благосостояния людей, улучшении качества жизни населения, за счет увеличения потребления электроэнергии, обеспечения питьевой водой, расширения орошаемых площадей, защиты от наводнений и др.

## **2 Гидроэнергетика как отрасль топливно-энергетической промышленности**

### **2.1 Гидроэнергетика в структуре ТЭК**

Топливно-энергетическая промышленность (топливно-энергетический комплекс или ТЭК) представляет собой совокупность отраслей топливной промышленности, электроэнергетики, средств доставки топлива и энергии. Топливно-энергетический комплекс играет важную роль в мировой экономике и состоит из топливной (нефтяная, газовая, угольная) промышленности и энергетики. Главными энергетическими источниками являются нефть, уголь, природный газ, гидро- и атомная энергия, доля же остальных источников энергии (древесины, торфа, энергии солнца, ветра, приливов и отливов, геотермальной энергии) пока незначительна [17].

Энергетика является отраслью техники, главная задача которой заключается в обеспечении человечества энергией. В качестве отрасли знаний энергетика рассматривается как прикладная наука, позволяющая обосновать проектирование, создание и эксплуатацию энергетических установок. Как область хозяйствственно-экономической деятельности человека гидроэнергетика представляет собой целую совокупность значительных естественных и искусственных подсистем, служащих для преобразования энергии водного потока в электрическую энергию [35].

Гидроэнергетическая отрасль является важной составляющей электроэнергетики, последняя в свою очередь вместе с топливными отраслями, включающими разведку, добычу, переработку и транспортировку источников энергии, а также и самой электроэнергии, образует важнейший для экономики любой страны мира топливно-энергетический комплекс (рисунок 9). Энергетика представляет собой самую материалоемкую отрасль мировой индустрии. В 60-е гг. XX в. в структуре потребления первичных энергоресурсов (ПЭР) на первом месте стояла нефть – 51 %, доля угля составляла 23 %, природного газа – 21,5 %, гидроэнергии – 3 %, ядерной энергии – 1,5 %. Начиная с 1980-х гг. как приоритетное стало направление, предусматривающее переход от использования преимущественно исчерпаемых природных ресурсов к использованию неисчерпаемых источников энергии, в том числе и гидроресурсов. Современный этап использования энергоресурсов носит переходный характер. Структура мирового потребления первичных источников энергии в 2012 г. выглядела следующим образом: нефть – 34,1 %; уголь – 29,6 %; газ – 26,5 %; гидроэнергетика – 5,2 %; атомная энергетика – 4,6 %. Мировое производство и потребление топлива и энергии при этом характеризуется ярко выраженными географические аспектами и региональными различиями.

В общей структуре потребления первичных энергоресурсов мира в 2019 г. основная часть приходилась на нефть – 32,2 %, уголь – 25,9 %, и природный газ – 22,1 %, доля остальных энергоресурсов составила 19,2 % (рисунок 10).

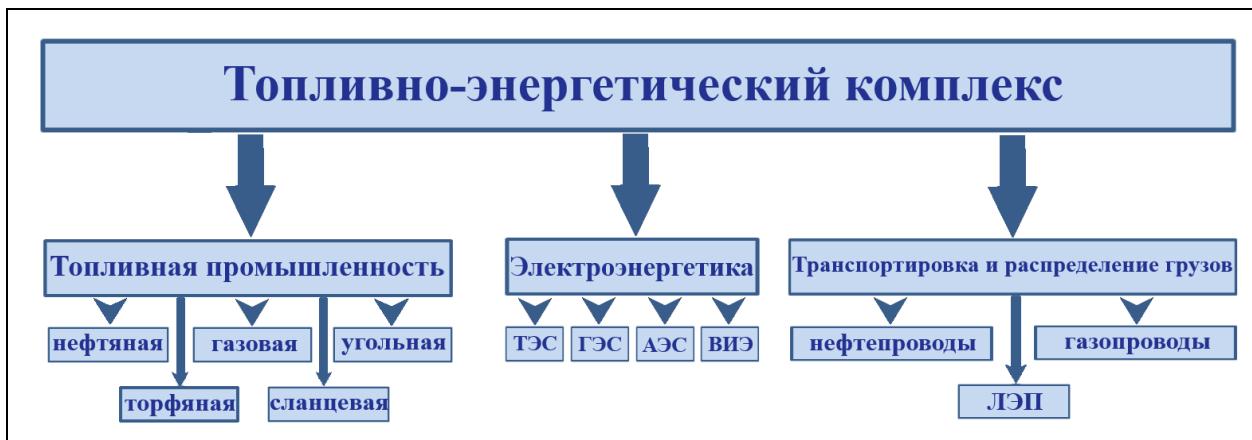


Рисунок 9 – Схема общей структуры топливно-энергетического комплекса

Современная структура потребления первичных энергоресурсов преимущественно нефтегазовая и определяет около 54,3 %, несмотря на то, что по сравнению с 1960 г. ее доля понизилась в 1,4 раза. Доля гидроресурсов составила 13,1 %, заметна тенденция к постепенному увеличению (в 4,3 раза) их вклада в общую структуру потребления первичных энергоресурсов.

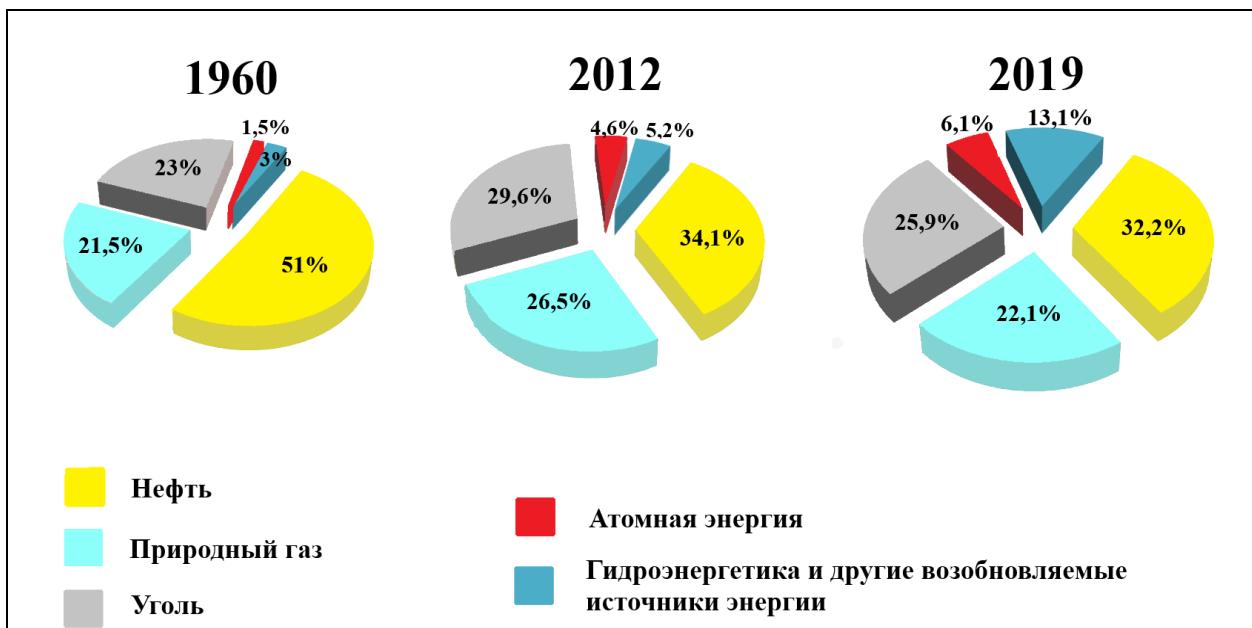


Рисунок 10 – Общая структура потребления первичных энергоресурсов мира, (1960-2019 гг.)

Развитие гидроэнергетической отрасли в большинстве стран мира определяется перспективой нарастания топливно-энергетических и обострения экологических проблем, связанных с продолжением нарастания выработки электроэнергии на традиционных электростанциях (ТЭС, АЭС) при недостаточно разработанной технологической основе использования нетрадиционных источников энергии.

## **2.2 Характеристика гидроэнергетического потенциала мира**

Существенную особенность в оценку гидроэнергетических ресурсов вносит то обстоятельство, что поверхностные воды являются важнейшей составляющей частью экологического баланса планеты. Гидравлические ресурсы в отличие от остальных видов первичных энергоресурсов используемых в основном для выработки энергии, должны оцениваться и с учетом возможностей осуществления водоснабжения, развития рыбного хозяйства, судоходства, ирригации, рекреации и т. д.

Классификация гидроэнергетических ресурсов осуществляется по гидроэнергетическому потенциалу. Существуют три категории гидроэнергетического потенциала: теоретический (потенциальный, учитывающий полный поверхностный сток рек); технический (представляет часть теоретического потенциала, технически используемую с учетом колебаний стока в реках, наличия подходящих створов для сооружения ГЭС, а также потерь воды вследствие испарения, фильтрации); экономический потенциал (это часть технического потенциала, используемая в данных конкретных условиях места и времени, которую можно считать экономически оправданным).

К показателям позволяющим оценить гидроэнергетический потенциал регионов относятся водность рек и наличие значительных перепадов высот рельефа. Характер распределения гидроэнергетического потенциала по территории суши нашей планеты крайне неравномерный, что обусловлено размещением крупнейших речных систем мира. Значительная часть гидроэнергоресурсов мира (примерно 60%) приходится на восточное полушарие, превосходящее западное и по его удельному (на единицу площади) показателю общей гидроресурсной обеспеченности (соответственно 17 и 15 кВт/км<sup>2</sup>).

В течение длительного времени страны Северной Америки и Западной Европы, благодаря высокому уровню промышленного развития, опережали все другие страны по степени общего освоения гидроэнергоресурсов. Уже в середине 20-х гг. XX в. гидропотенциал был освоен в Западной Европе приблизительно на 6-7 %, и на 4-6 % в Северной Америке, располагавшей в этот период наибольшими гидроэнергетическими мощностями. По прошествии, более половины века, данные показатели для Западной Европы достигли 60 %, для Северной Америки – более 35 %. В середине 70-х гг. мощности ГЭС Западной Европы превосходили таковые показатели в любом другом регионе мира.

В развивающихся странах достаточно высокие темпы применения гидроэнергии в значимой мере обусловлены крайне низким исходным уровнем. При более чем 50-кратном увеличение за полвека установленных гидроэнергетических мощностей развивающиеся страны в уже середине 1970-х гг. XX в. в 4,5 раза отставали от развитых стран по общей мощности электростанций, а также выработке на них электроэнергии. В развитых странах гидропотенциал в середине 1970-х применялся на 45 %, в развивающихся странах – не более чем на 5-6 %. Для всех стан мира в целом этот показатель

составляет около 18 %. Очевидно, что в мире используется лишь малая часть всего гидроэнергетического потенциала.

Крупнейшими в мире запасами гидроэнергоресурсов обладает Китай, за которым следуют Россия, США, Канада, андские страны, Демократическая Республика Конго, Бразилия, скандинавские, альпийские, балканские страны и страны Юго-Восточной Азии. Мировые запасы гидроэнергетических ресурсов оцениваются специалистами почти в 10 трлн. кВт·ч, из которых в настоящее время используется лишь чуть более 1/5 части [46]. По масштабам экономического гидропотенциала крупные регионы планеты «выстраиваются» следующим образом: Зарубежная Азия (42 % мирового), Африка (21 %), Северная и Южная Америка (по 12-13 %), Зарубежная Европа (9 %), Австралия и Океания (3 %). Доля СНГ составляет примерно 11 %. По размерам экономического гидроэнергетического потенциала среди всех стран мира в первую пятерку входят Китай (1260 млрд кВт·ч), Россия (850 млрд), Бразилия (765 млрд), Канада (540 млрд) и Индия (500 млрд кВт·ч). Затем следуют Канада, ДР Конго, Таджикистан, Перу, Эфиопия, Норвегия, Турция, Япония.

В настоящее время самая высокая освоенность в Европе, свыше 70 %, где для строительства ГЭС практически использовано большинство имеющихся выгодных речных створов, а самая низкая в Африке, примерно 3 % (таблица 2).

Таблица 2 – Экономический гидроэнергопотенциал и освоенность по регионам мира

Регион, мир	Экономический гидроэнергопотенциал, млрд кВт·ч	В том числе освоенный ко всему потенциал, %
СНГ	1100	20
Зарубежная Европа*	710	75
Зарубежная Азия*	2670	14
Северная Америка	1600	38
Латинская Америка	1900	16
Австралия и Океания	200	18
Африка	1600	3
ВЕСЬ МИР	9780	21

Примечание: \*без стран СНГ

Степень использования гидроэнергетического потенциала в странах различна. Во Франции, в Швейцарии, Италии он использован почти полностью – на 96-98 %, в Японии – 90 %, в США и Канаде уже на 38- 40%, тогда как в Китае не более чем на 16 %, в Индии – на 15 %, в Перу – на 5 %, а в ДР Конго – на 1,5 %, в Азербайджане гидроэнергоресурсы использованы лишь на 10 %. В России экономический гидроэнергетический потенциал освоен пока только на 18% (в том числе в европейской части – 50 %, в Сибири – 19 и на Дальнем Востоке – 4 %).

Первые десять стран по доле ГЭС в общей выработке электроэнергии значимо отличаются от первой десятки стран по ее абсолютным размерам. В нее входят (в порядке убывания) Канада, США, Бразилия, Китай, Россия, Норвегия, Япония, Франция, Индия и Швеция. Самые крупные ГЭС современности

обладают мощностью в 5-6 млн кВт, а некоторые из них - 10-12 млн кВт (таблица 3).

В конце 1980-х гг. XX в. из числа 110 действовавших в мире гидроэлектростанций с установленной мощностью более чем 1 млн кВт примерно половина созданы в странах Запада, и преимущественно в США и Канаде, более 1/3 – в развивающихся странах. Однако в последнее время достаточно крупных русловых ГЭС в зарубежной Европе и в Северной Америке уже практически не строят, перейдя к строительству эффективных гидроаккумулятивных электростанций (ГАЭС), а также малых ГЭС и низконапорных. В большей степени это обусловлено тем, что многие страны зарубежной Европы использовали более чем 70 % своего эффективного гидроэнергетического потенциала (Япония – 3/4, США и Канада – свыше 1/2). Однако, дальнейшее освоение гидроэнергетического потенциала все еще остается одной из важнейших задач развития энергетики. В конце 1990-х гг. во всем мире в процессе строительства находились ГЭС общей установленной мощностью более 100 млн кВт. Однако 2/3 данных мощностей приходилось уже на страны Азии, а 1/6 – на страны Латинской Америки, где еще есть неиспользованные запасы гидроресурсов. Если иметь в виду отдельные страны, то конечно, это относится к КНР, где возводят ряд крупных ГЭС.

В настоящее время самыми крупными в мире являются ГЭС мощностью более 6000 МВт, к числу которых относятся: в Китае ГЭС «Санься» или «Три ущелья» (мощность 22500 МВт) и ГЭС «Силоду» (13860 МВт), ГЭС «Сянцзяба» (6448 МВт), ГЭС «Лунтань» (6426 МВт), ГЭС «Ночжаду» (5850); в Бразилии и Парагваи ГЭС «Итайпу» (14000 МВт, первой ГЭС в мире, которая произвела за год более 100 млрд кВт·ч); в Бразилии ГЭС «Тукуруи» (8370 МВт); в Венесуэле ГЭС «Гури» (10235 МВт); в США ГЭС «Гранд-Кули» (6809 МВт, самая крупная ГЭС в стране и 10-я по мощности в мире); в России Саяно-Шушенская ГЭС (6400 МВт) и Красноярская ГЭС (6000 МВт), в Пакистане ГЭС «Тарбела» (4888 МВт) (рисунок 11, таблица 3).

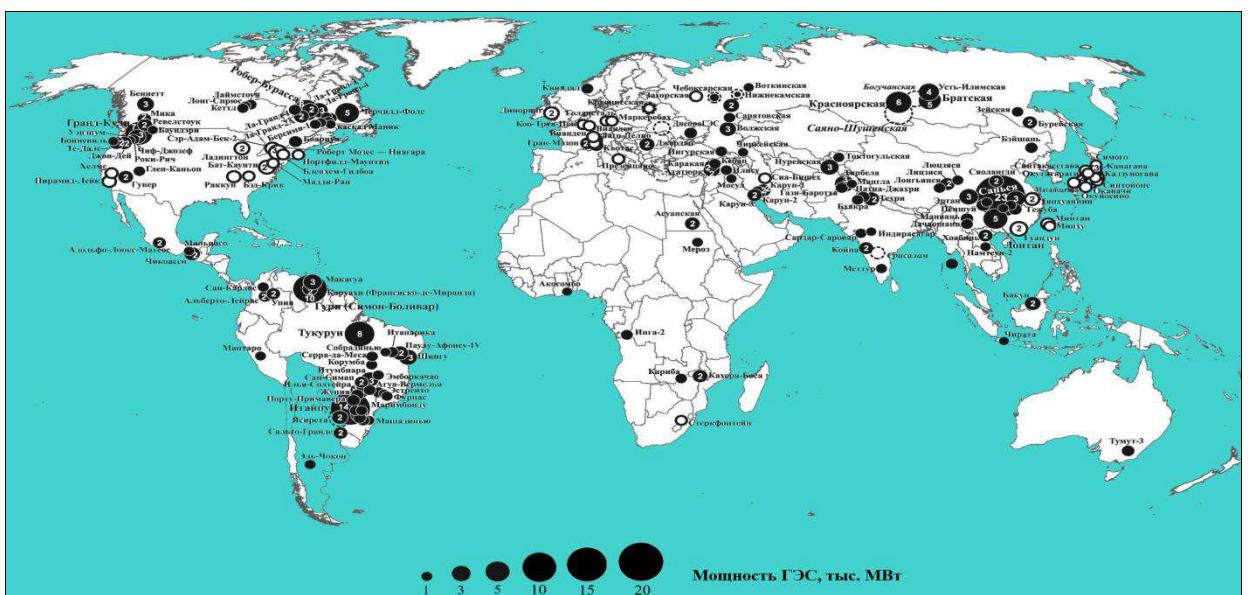


Рисунок 11 – Действующие ГЭС мира на 2020 г.

Таблица 3 – Перечень самых крупных гидроэлектростанций мира

Название ГЭС	Годы ввода в эксплуатацию	Проектная мощность, МВт	Страна
Санься (Три ущелья)	2003/2007/20012	22 500	Китай
Байхэтань (строящаяся)	2008-2021/2022	16 000	Китай
Итайпу	1984-2007	14 000	Бразилия – Парагвай
Силоду	2013-2014	13860	Китай
Белу-Монти (строящаяся)	2016-2020	11 233	Бразилия
Гури	1978-1986	10 235	Венесуэла
Удундэ (строящаяся)	2014-2020/2021	10 200	Китай
Тукуруи	1984/2007	8 370	Бразилия
Гранд-кули	1942/1980/1985	6 809	США
Сянцзяба	2012-2014	6 448	Китай
Лунтань	2007-2009	6 426	Китай
Саяно-Шушенская	1978-2014	6 400	Россия
Красноярская	1967-1971	6 000	Россия
Ночжаду	2012-2014	5 850	Китай
Тарбела	1977/2018/2023	4 888	Пакистан

Объем мировой торговли электроэнергией составляет приблизительно 500 млрд кВт·ч в год, или 3,9 % от ее общего производства. В число крупнейших экспортеров электроэнергии входят Франция, Канада, Парагвай, Германия, а в роль главных импортеров выполняют, в первую очередь, США, Германия, Италия, Бразилия, Швейцария.

Факторами, определяющими размещение гидроэлектростанции, принято считать всю совокупность условий необходимых для наиболее рационального выбора места ее размещения. К ним относятся сырьевой (запасы гидроресурсов); экономический (рентабельность) и потребительский (рынок сбыта электроэнергии) факторы. Вторичными условиями размещения: наличие инфраструктуры (дороги); доступ к энергосетям; квалифицированные специалисты [13]. Важными факторами, определяющими эффективность работы современной мощной ГЭС, являются: многоводность реки (или другого водотока), где размещена гидроэлектростанция, больший уклон реки (или другого водотока), где расположена гидроэлектростанции [16].

При оценке экономической эффективности сооружения ГЭС используют метод сравнительной эффективности, соответственно которому сопоставляют затраты, связанные с сооружением и последующей эксплуатацией гидростанции, с аналогичными затратами по альтернативному проекту, обеспечивающему одинаковый энергетический эффект. Обобщающей экономической характеристикой строительства ГЭС и альтернативного решения в соответствии с методикой эффективности капитальных вложений являются различного рода затраты [25]. Развитие большой гидроэнергетики возможно в тех случаях, когда существует

необходимость в большом централизованном энергопотреблении. Гидроэлектростанции обслуживаются нужды крупных отраслей промышленности, больших городов и городских агломераций.

## 2.3 Географические аспекты развития мировой гидроэнергетики

Гидроэнергетическая отрасль является составной частью топливно-энергетического комплекса, образуя в нем, так называемый «второй этаж», представляя одну из базовых отраслей ТЭК. Данная роль ее объясняется необходимостью электрификации разнообразных сфер человеческой деятельности. Именно поэтому уровень электрификации топливно-энергетического баланса мира, измеряемый количеством ПЭР (расходуемых на производство электроэнергии), постоянно повышается и в развитых странах уже достиг 2/5.

Гидроэнергоресурсы (один из видов ПЭР) рассматривают как запасы энергии текущей воды речных потоков и водоемов (расположенных выше уровня моря), а также энергии морских приливов. Существенную особенность в оценке гидроэнергоресурсов определяет то обстоятельство, что поверхностные воды являются важнейшей составляющей экологического баланса нашей планеты. Если все другие виды ПЭР применяются в первую очередь для выработки энергии, то гидравлические ресурсы необходимо оценивать с точки зрения возможности осуществления промышленного и общественного водоснабжения, развития рыбного хозяйства, ирrigации, судоходства и т. д.

Гидроэнергетические ресурсы оцениваются как наиболее экологичный источник энергии, его использование позволяет существенно уменьшать выбросы в атмосферу, сохранять запасы углеводородного топлива. Важной экономической особенностью гидроэнергоресурсов является их возобновляемость, не требующая дополнительных и объемных капиталовложений. Электроэнергия, которая вырабатывается на гидроэлектростанциях, в среднем почти в 4 раза дешевле электроэнергии, производимой на ТЭС, поэтому применению гидроэнергетических ресурсов придается особенное значение при размещении крупных электроемких производств. Отсутствие необходимости в топливе и достаточно простая технология выработки электроэнергии определяют то, что затраты труда на единицу мощности на ГЭС практически в 10 раз ниже, чем на ТЭС с учетом добычи и транспортирования топлива.

Как эффективное направление электроэнергетика способствует развитию ряда отраслей (цветная металлургия, лесоперерабатывающая промышленность и др.), а каждая ГЭС вносит вклад в экономическое развитие данного региона, в том числе решению экономических проблем, развитию производства, созданию рабочих мест и др.

Гидроэнергетика является одним из основных источников энергообеспечения большинства мировых стран. В настоящее во всем мире существует более 7300 ГЭС (суммарная мощность свыше 1000 ГВт) при общемировом техническом потенциале 3721 ГВт. В общем производстве

электрической энергии доля мировой гидроэнергии составляет примерно 16 %, в мировом топливном балансе более чем 6%. В ближайшие годы прогнозируется значительное увеличение производства электроэнергии (на 20-30 %) за счет строительства новых крупных и малых ГЭС общей мощностью 140 ГВт [28].

Согласно данным, опубликованным в докладе Международного агентства по возобновляемым источникам энергии, затраты на возобновляемые источники энергии в 2017 г. составляли 0,05 долл. США/кВт·ч, а гидроэлектроэнергия продолжает быть самым дешевым источником электроэнергии во всем мире. Глобальная средневзвешенная расчетная стоимость электроэнергии, установленная в 2017 г., не превышала 0,05 долл. США/кВт·ч от гидроэнергетики (для сравнения – стоимость электроэнергии от солнечной энергии – 0,10 долл. США/кВт·ч, от биоэнергетических и геотермальных источников – 0,07 долл. США/кВт·ч, от берегового ветра составляла 0,06 долл. США/кВт·ч).

Нормированная стоимость электроэнергии (LCOE или средняя расчетная себестоимость производства электроэнергии всего жизненного цикла ГЭС) существенно варьировалась в зависимости от региона мира. Расчет ее осуществляется обычно на 40-50 лет жизненного цикла. По данным за 2016-2017 гг. ее величина составляла 0,04 долл. США/кВт·ч в Азии; 0,05 долл. США/кВт·ч в Южной Америке; 0,06 долл. США/кВт·ч в Северной Америке; 0,07 долл. США в Евразии, на Ближнем Востоке, Африке; 0,10 долл. США/кВт·ч в Центральной Америке и Карибском бассейне и 0,12 долл. США/кВт·ч в Европе [46].

В материалах доклада подчеркивается, что электроэнергия, получаемая из возобновляемых источников, будет дешевле, таковой из ископаемого топлива, а к 2020 г. существующие технологии производства электроэнергии, используемые в настоящее время в целях коммерции, подпадут под ценовую политику с ископаемым топливом. Однако, несмотря на положительные результаты, развитие гидроэнергетики отстает от других возобновляемых источников энергии. К 2016 г. новые мощности по вводу в эксплуатацию возобновляемых источников энергии достигли 162 ГВт, в том числе солнечной энергии – 71 ГВт, энергии ветра – 51 ГВт, биоэнергетических источников – 9 ГВт, морской и геотермальной энергии – 1 ГВт. На долю гидроэнергетики пришлось более 36 ГВт [46].

Производство электроэнергии на ГЭС растет. Гидроэлектрические станции развиваются быстрее электростанций, работающих на нефти и урановом топливе (рисунок 12). Однако уровень развития гидроэнергетической отрасли на разных континентах и в разных странах значительно отличается.

В группу государств с преобладанием гидроэнергетики входят более 50 стран мира. В странах зарубежной Европы (таких как Норвегия, Албания, Хорватия, Швейцария, Латвия и др.) и зарубежной Азии (Республика Корея, Вьетнам, Шри-Ланка, Афганистан) их относительно не много. В Африке более 20 стран, и в некоторых из них (ДР Конго, Замбия, Мозамбик, Камерун, Конго, Намибия, Танзания) практически всю электроэнергию производят на ГЭС. В Латинской Америке гидроэнергетика определяющая во всех странах данного континента, исключение составляют Мексика, Аргентина, Куба. Из стран

Северной Америки в эту группу вошли Канада, из стран Океании – Новая Зеландия, из стран СНГ – Таджикистан, Киргизия и Грузия.

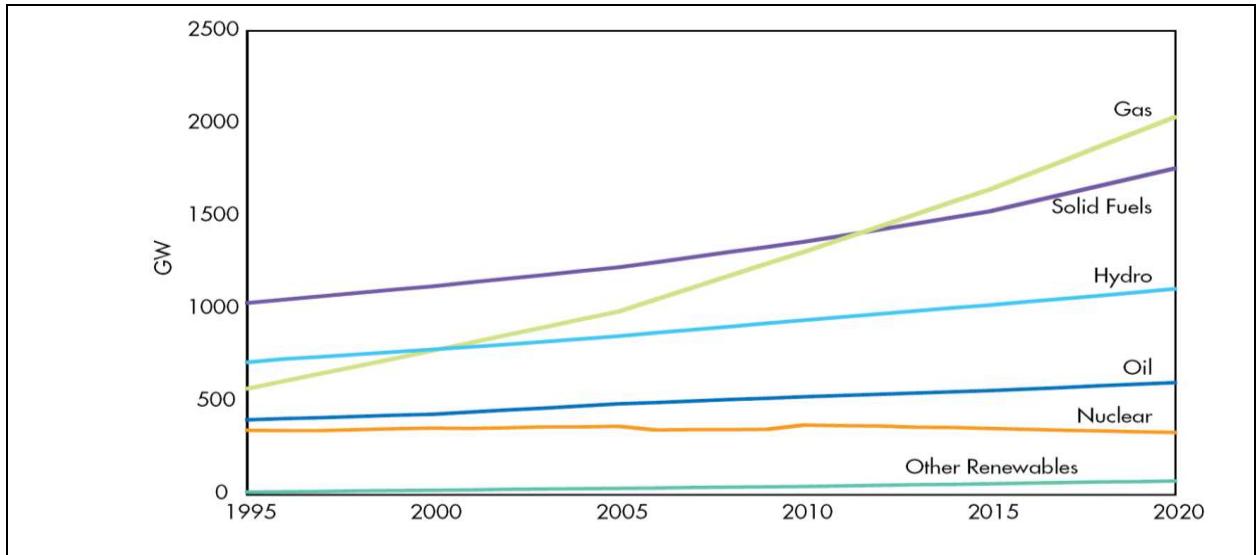


Рисунок 12 – Выработка мировой электроэнергии по типам электростанций за период 1995-2020 гг. (в ГВт) [55]

Согласно данным Международного энергетического агентства, мировое производство гидроэлектроэнергии достигло 2,7 млрд кВт·ч (19 % глобального производства электроэнергии). В последние годы к наиболее крупным производителям гидроэнергии (включая и ГАЭС) в абсолютных значениях относятся Китай, Бразилия, Канада, США, а замыкает пятерку лидеров наша страна (рисунок 13, 14).

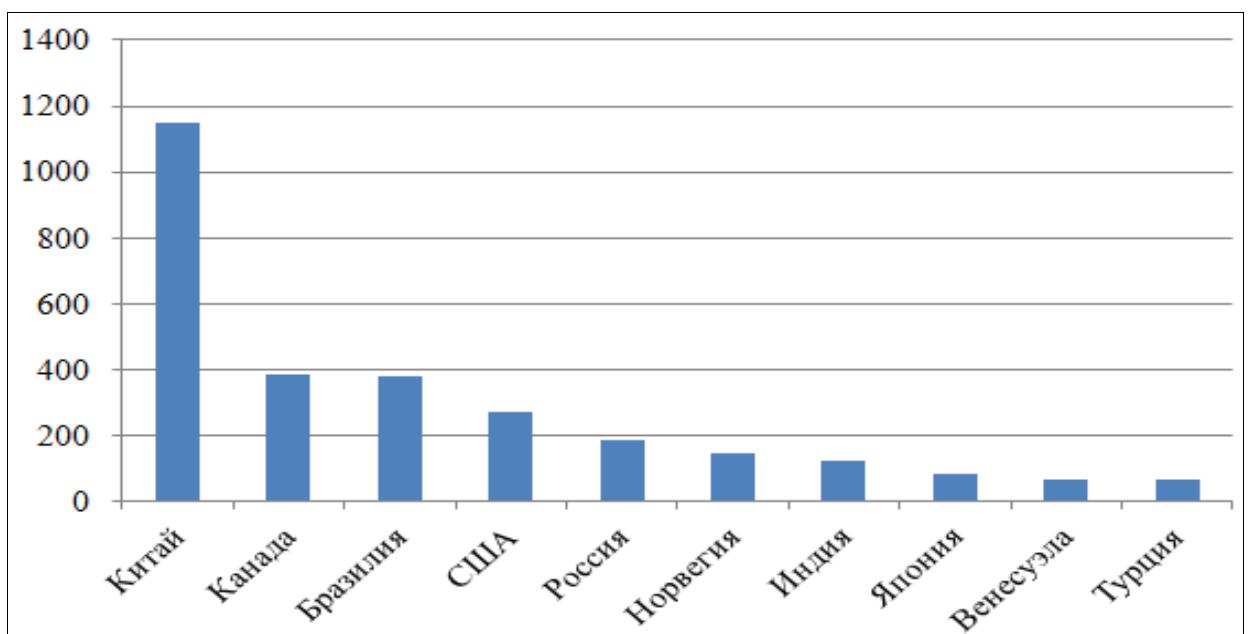


Рисунок 13 – Наиболее крупные мировые производители гидроэнергии в 2019 г. (млрд кВт·ч) [38]

При этом бесспорный лидер по выработке гидроэнергии на душу населения – это Исландия. Кроме нее, данный показатель достаточно высок в Норвегии (доля ГЭС в суммарной выработке – около 98 %), Новой Зеландии (75 %), а также Канаде и Швеции. В Парагвае 100 % производимой энергии вырабатывается на ГЭС. Примерно равна и доля потребления электроэнергии вырабатываемой ГЭС этих стран.

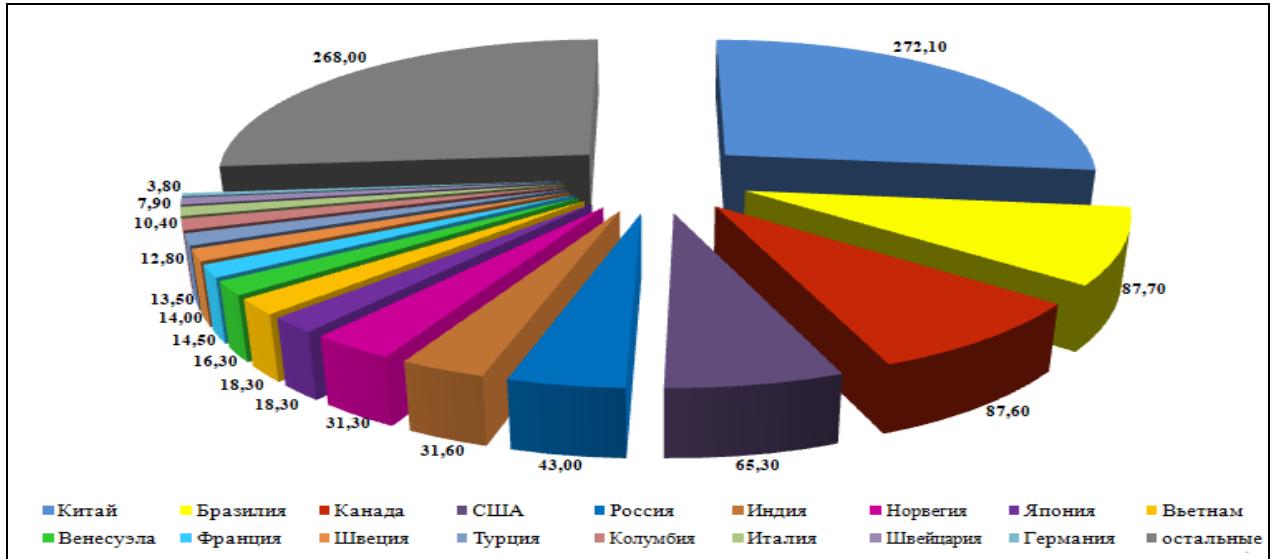


Рисунок 14 – Производство электроэнергии на ГЭС по странам в 2019 г. (млн т. н. э.) [55]

Из всех действующих на сегодняшний день гидроэлектростанций (мощностью более 1 млн кВт) свыше 1/2 находятся в промышленно развитых странах. Однако в развитых странах уже практически освоена большая часть экономически целесообразного гидроресурсов, например в Европе на 75 %, в Северной Америке – около 70 %, и их возможности для строительства новых крупных ГЭС практически исчерпаны. В то же время Азия (более 39 % мировых гидроэнергоресурсов) и Африка (22 %) и вносят в мировую выработку гидроэлектроэнергии лишь 5 % и 18 % соответственно. Южная Америка и Австралия вместе взятые, располагают только 15 % ресурсов, и дают не более 11 % производимой в мире гидроэлектроэнергии. Неосвоенные гидроэнергетические ресурсы таких стран как Африка, Азия и Южная Америка открывают достаточно широкие возможности для строительства новых крупных ГЭС, в то время как на других континентах, везде, где можно создать гидроэлектростанции, они уже стоят. Подтверждаются это тем фактом, что самые крупные ГЭС мира находятся именно в данных регионах мира. Так, в Китае на р. Янцзы построена крупнейшая ГЭС мира «Три ущелья», мощность которой - 22,4 ГВт (для сравнения, мощность крупнейшей российской Саяно-Шушенской ГЭС - 6,4 ГВт). Кроме этого, в КНР осуществляется строительство ГЭС «Байхэтань» и крупнейшего по мощности каскада ГЭС. Вторая по величине в мире - бразильско-парагвайская ГЭС «Итайпу» (мощность более 14 ГВт) стоит на р. Парана, а «тройку призеров» замыкает венесуэльская гидроэлектростанция им. Симона Боливара или «Гури» (мощность около 10,3 ГВт) на р. Карони.

Очевидно, что развитие гидроэнергетики характеризуется постоянным увеличением мощностей строящихся ГЭС и эффективным использованием местных гидроэнергоресурсов. Более чем за 50 лет в ряде регионов мира мощность ГЭС возросла в сотни раз, существенно увеличилось и потребление гидроэлектроэнергии (рисунок 15).

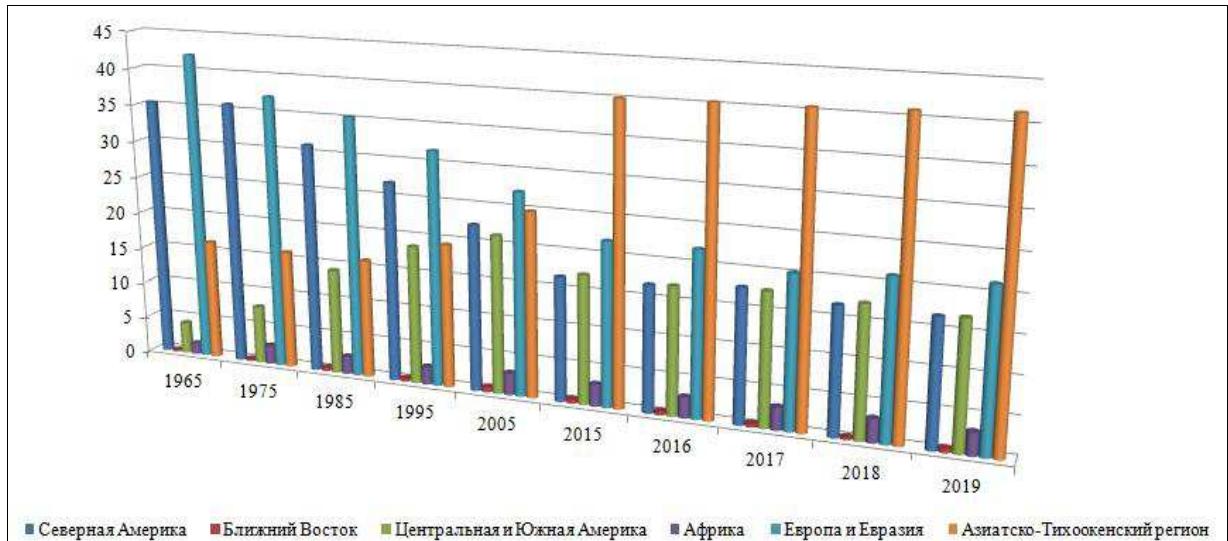


Рисунок 15 – Динамика потребления гидроэлектроэнергии по основным регионам мира за период 1964-2019 гг. (%) [55]

Сегодня мощность крупнейших в мире ГЭС достигает более двух десятков ГВт. При этом все эти достижения меркнут перед ГЭС «Гранд Инга». Данная ГЭС, предполагаемой мощностью 39 ГВт, планируется к созданию международным консорциумом на р. Конго в Демократической Республике Конго. Она будет оснащена 52 гидротурбинами (по 750 МВт). Предполагается создание плотины гидроэлектростанции высотой до 150 м. Строительство должно было начаться в 2018 г. В случае успеха проект «Гранд Инга» вдвое превзойдет «Три ущелья». Стоимость всего сооружения достигнет 80 млрд долл. Завершение строительства ГЭС запланировано на 2025 г.

На фоне успехов явных гидроэнергетики необходимо учитывать и негативное влияние, которое она оказывает на окружающую природную среду. Эти отрицательные моменты приобретают все больший вес в глазах общественности и могут кардинально сказаться на будущем данной отрасли. Так как строительство крупных ГЭС, сопряжено обычно с экологическими проблемами, в странах с высокими природоохранными стандартами это стало одним из препятствий для развития крупной гидрогенерации. Недостаточно еще изучен и вопрос, как можно нивелировать экологические последствия при выводе ГЭС из их эксплуатации, поскольку ни одну из крупнейших гидроэлектростанций еще не выводили из строя. Очевидно, этот процесс потребует больших финансовых затрат.

В последние десятилетия нового века происходит явственное «перемещение» гидроэнергетики в развивающиеся страны, где наиболее

значителен неосвоенный потенциал водных ресурсов, а экологические взгляды этих стран играют незначительную роль из-за отсутствия строгих экологических стандартов и достаточно невысокой политизированности в области экологии и рационального природопользования. Согласно прогнозам Международного энергетического агентства, в следующие два десятилетия до 80-85 % прироста гидроэнергетических мощностей придется на развивающиеся государства.

В последние десятилетия в мировой энергетике возобновляется интерес к малым ГЭС. Малая гидроэнергетика, являясь областью энергетического строительства уже переживает третий исторический виток своего развития. Данные ГЭС вырабатывают небольшое количество электроэнергии и основаны на гидроэнергетических установках мощностью, не превышающей 5 000 КВт. Общепринято для всех стран мира понятия малой ГЭС нет, и главной характеристикой таких станций является их установленная мощность, которая в различных странах существенно отличается.

Развивается малая гидроэнергетика достаточно быстрыми темпами, при этом, не требуя больших территорий, она максимально приближена к потребителю и быстро окупается. Мировой опыт показал, что освоение гидропотенциала небольших рек решает основные проблемы энергоснабжения мелких потребителей. Например, в КНР построено свыше 90 тыс. малых ГЭС, с установленной мощностью более 46 % от общей мощности. Они обеспечивают до 30 % всего энергопотребления в сельских районах. Мощность малых ГЭС в Японии достигает 6 % от общей мощности, в России – 2 %. В Австрии эксплуатируются 1900 малых ГЭС с суммарной годовой выработкой электроэнергии около 4000 ГВт·ч, что позволяет обеспечить электроэнергией более 1 млн домашних хозяйств. В США принята государственная программа развития малой гидроэнергетики, согласно которой до 2020 г. планируется ввести в эксплуатацию малые ГЭС суммарной мощностью 50 тыс. МВт, что обеспечит производство 200 млрд кВт·ч электроэнергии. При этом стоимость 1 кВт·ч электроэнергии, выработанной на малой ГЭС, составит не более 1,9-2,5 цента (на больших ГЭС – 3,2-5,6 цента, на АЭС – 2,7-3,9 цента). В России сегодня функционирует более 300 малых ГЭС (общая мощность 1 ГВт), в 2018 г. мощности малых ГЭС и микрогЭС увеличены до 2,3 ГВт. Так, малая гидроэнергетика постепенно заняла устойчивое положение во многих странах мира.

Гидроэнергетическая отрасль помимо производства электроэнергии решает целый ряд важнейших социально-экономических и природоохранных задач: создание систем промышленного и питьевого водоснабжения; организацию ирригационных систем для сельского хозяйства; регулирование стока рек, позволяющее бороться с паводками и наводнениями, обеспечивая безопасность населения; рыбоводство; развитие судоходства; рекреационное использование водохранилищ ГЭС. Создание территориально-производственных комплексов на основе крупных гидроэнергетических объектов с водохранилищами комплексного назначения обеспечило экономическое развитие малоосвоенных отдаленных регионов во многих странах. В таких малонаселенных необжитых регионах ГЭС, являясь промышленными объектами, решают долгосрочную стратегическую

задачу, формируя новую производственную и социальную инфраструктуру, обеспечивая электричеством и водоснабжением, создают условия для социально-экономического развития региона, улучшения условий производственной деятельности и жизни людей.

Гидроэнергетика является определяющей для деятельности и развития основных отраслей экономики страны. Введенная в эксплуатацию ГЭС дает импульс хозяйственному развитию территории, становится постоянно действующим фактором для региональной экономики (организовываются производства, развивается промышленность, создаются новые рабочие места и др.).

Гидроэнергетическая отрасль оказывает минимальное влияние на окружающую природную среду и поэтому является одним из самых чистых экологических источников энергии. Гидроэнергетика также является одним из самых дешевых видов энергии. В настоящее время производство электроэнергии за счет использования возобновляемых гидроэнергетических ресурсов относится к важнейшим природоохранным и ресурсосберегающим технологиям мира.

#### **2.4 Гидроэнергетическая отрасль как важнейшая составляющая электроэнергетики России**

Единая энергетическая система России (РАО «ЕЭС России») – крупнейшая российская энергетическая компаний, существующая с 1992 г. В настоящее время ЕЭС включает более 70 региональных энергосистем, объединенных в 7 крупных энергетических систем (ОЭС Центра и Юга, Средней Волги, Северо-Запада, Урала, Востока, Сибири). Все они соединены межсистемными высоковольтными линиями электропередачи и работают в параллельно (в синхронном режиме). В электроэнергетический комплекс ЕЭС России входит 846 электростанций (мощность каждой более 5 МВт). По данным ЭО ЕЭС на 1.06.2020 г. общая установленная мощность электростанций ЕЭС России достигла 246 342,45МВт (рисунок 18).

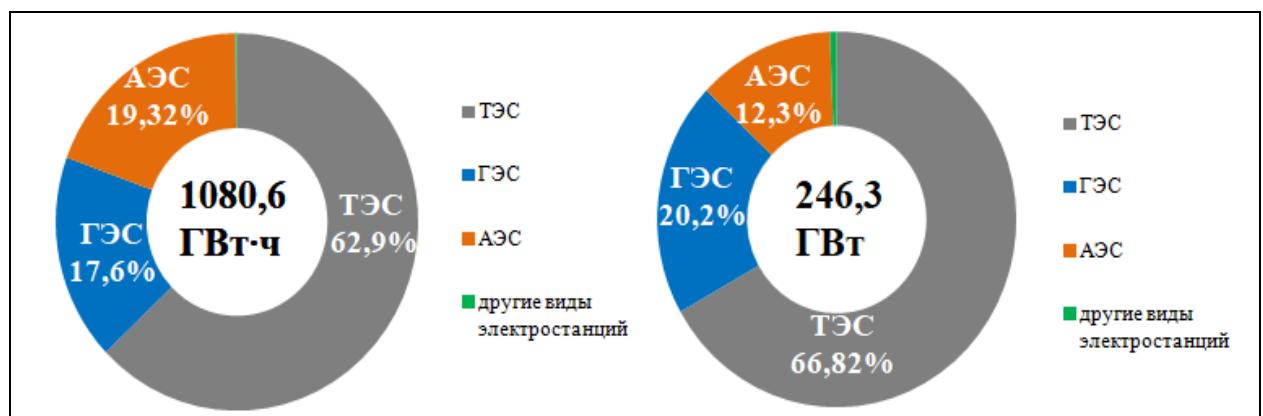


Рисунок 18 – Структура выработки электроэнергии и установленной мощности электростанций ЕЭС России (на 1.06.2020 г.)

Все станции ежегодно вырабатывают около одного триллиона кВт·ч электроэнергии. Сетевое хозяйство ЕЭС России насчитывает более 10,7 тыс. ЛЭП класса напряжения 110-1150 кВ. Управление электроэнергетическими режимами 7 ОЭС России, расположенных на территории 81 субъекта РФ осуществляют филиалы АО «СО ЕЭС» - объединенные и региональные диспетчерские управления соответственно (рисунок 19).

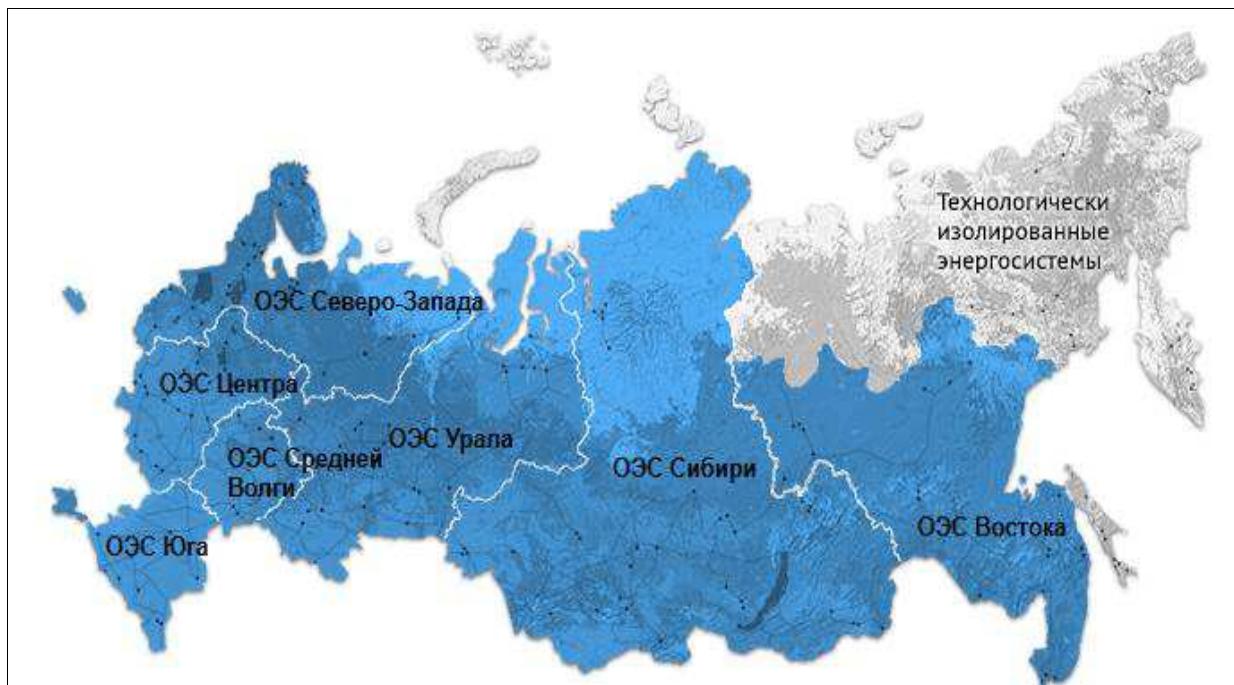


Рисунок 19 – Объединенные энергетические системы России [38]

Параллельно с ЕЭС России функционируют энергосистемы ряда стран зарубежья (Латвии, Литвы, Эстонии, Белоруссии, Украины, Грузии, Азербайджана, Казахстана, Монголии). Через энергосистему Казахстана параллельно с ЕЭС России работают энергосистемы Центральной Азии (Киргизии и Узбекистана). Обмен электроэнергией с ЭС Абхазии и передача электроэнергии в ЭС Южной Осетии осуществляется посредством линий переменного тока. От электросетей Российской Федерации электроэнергия передается в ЭС Норвегии, Финляндии, Китая (рисунок 20). Через устройство Выборгского преобразовательного комплекса совместно (несинхронно) с ЕЭС России действует энергосистема Финляндии, которая входит в общее энергообъединение энергетических систем Скандинавии НОРДЕЛ. Параллельно с ЭС Норвегии и Финляндии действуют генераторы ГЭС Ленинградской и Кольской энергосистем. АО «СО ЕЭС» - координатор параллельной работы энергосистем, который обеспечивает регулирование частоты в энергообъединении всех стран – участниц синхронной зоны.



Рисунок 20 – Экспорт электроэнергии России в страны ближнего зарубежья

Показатель отношения капитализации к стоимости 1 кВт отечественной электроэнергии для потребителей сопоставим с крупнейшими мировыми аналогами. Сравнительная стоимость электроэнергии в субъектах РФ показывает, что стоимость электроэнергии для потребителей (населения) варьирует в пределах 0,8- 10,0 руб. за кВт·ч (рисунок 21).



Рисунок 21 – Тарифы на электроэнергию для населения в России на 2019 г.

ОЭС Сибири располагается на территории СФО и частично - ДФО. Операционная зона ОДУ Сибири охватывает 12 субъектов РФ. В ее состав

входят 10 региональных ЭС, в том числе и ЭС Красноярская. Режимом работы энергообъединения управляет филиал АО «СО ЕЭС» ОДУ Сибири. Площадь территории ОЭС Сибири достигает более 4944 тыс. км<sup>2</sup>, в расположенных на ней в городах и населенных пунктах проживает около 19 млн человек. Электроэнергетический комплекс данного объединения образуют 112 электростанции (установленная мощность 52 104,76 МВт согласно по данным на 01.01.2020). ОЭС Сибири граничит с ЭС Урала, Востока, Казахстана, Монголии и Китая и является одним из самых крупных энергообъединений ЕЭС России.

Гидроэнергетическая отрасль РФ является важнейшей составляющей электроэнергетики России, определяющей для деятельности и развития важнейших отраслей экономики нашей страны. Роль гидроэнергетики в экономике России отражена следующим рядом важнейших характеристик.

Гидроэнергетика является одним из самых дешевых видов энергии.

Одна из важных характеристик – это системная надежность гидроэлектростанций, которые обеспечивают 95 % резерва регулировочной мощности в энергосистеме, являются главным элементом ЭС России и сопредельных государств.

Гидротехнические сооружения ГЭС играют главную роль в борьбе с такими явлениями как паводки с целью защиты населения и объектов экономики страны от наводнений.

Фактор развития региональной экономики - введенная в эксплуатацию ГЭС дает импульс хозяйственному развитию территории (организовываются производства, развивается промышленность, создаются новые рабочие места и др.).

Гидроэлектростанции обеспечивают функционирование и развитие важных инфраструктурных объектов (железнодорожный транспорт и автотранспорт, судоходство, промышленное и коммунальное водоснабжение, сельское хозяйство, рекреация).

Выработка гидроэлектростанций (170 млрд кВт·ч/год, т. е. около 20 % электроэнергии) дает возможность ежегодно экономить до 50-55 млн тонн условного топлива, определяя высокую энергоэффективность ГЭС.

Использование ГАЭС позволяет аккумулировать электроэнергию в объемах, которые необходимы для регулирования режима работы ЭС, в том числе создавая необходимые условия для функционирования ВИЭ (с нестабильной генерацией).

Гидроэнергетическая отрасль характеризуется наименьшей величиной удельных выбросов CO<sub>2</sub>, создавая потенциал декарбонизации экономики нашей страны.

К числу важных характеристик относят также и экологичность, поскольку гидроэнергетика оказывает минимальное влияние на окружающую природную среду, являясь одним из самых чистых экологических источников энергии. В настоящее время производство электроэнергии за счет использования возобновляемых гидроэнергетических ресурсов относится к важнейшим природоохранным и ресурсосберегающим технологиям.

Наша страна располагает большими гидроэнергетическими ресурсами, обусловливающими возможности развития отечественной гидроэнергетики. В целом на всей территории России находится примерно 9 % мировых запасов гидроэнергоресурсов. В 2019 году по общему уровню обеспеченности мировыми гидроэнергетическими ресурсами наша страна вышла на третье место в мире, после Китая и США, обогнав Бразилию, Канаду и Индию (таблица 4) [23].

Таблица 4 – Гидроэнергетические ресурсы мира (2019 г.)

Страны	Экономический гидроэнергетический потенциал, млрд кВт·ч	Технический гидроэнергетический потенциал, млрд кВт·ч	Валовый гидроэнергетический потенциал, млрд кВт·ч	Выработка действующих ГЭС, млрд кВт·ч	Освоение технических гидроэнергетических ресурсов, %
Китай	1753	2500	6083	911,64	17
США	376	~528,5	4488	269	51
Россия	852	1670	2900	183,3	10
Бразилия	763,5	1250	~2282	391	31
Канада	~536	~981	2250	~353	36
Индия	нет данных	660	2191,5	114	17

Теоретический (валовой) гидроэнергетический потенциал России оценивается в 2900 млрд кВт·ч годовой выработки электроэнергии. При этом, почти 2400 млрд кВт·ч (83 % от общего валового потенциала) приходится на потенциал всех крупных и средних рек страны, определяющих существенный объем гидроэнергоресурсов, на котором основывается строительство ГЭС. Экономический гидроэнергетический потенциал страны составляет 852 млрд кВт·ч в год, а технический гидроэнергетический потенциал пригодный к использованию - 1670 млрд кВт·ч годовой выработки, т. е. освоение технических гидроэнергетических ресурсов соответствует 10 % (рисунок 22) [21].

Экономический гидроэнергетический потенциал с позиции учета всех необходимых условий хозяйственного освоения территорий, природоохраных факторов и экономической целесообразности, определен в 1960 г. в размере 850 млрд кВт·ч годовой выработки в целом по Российской Федерации.

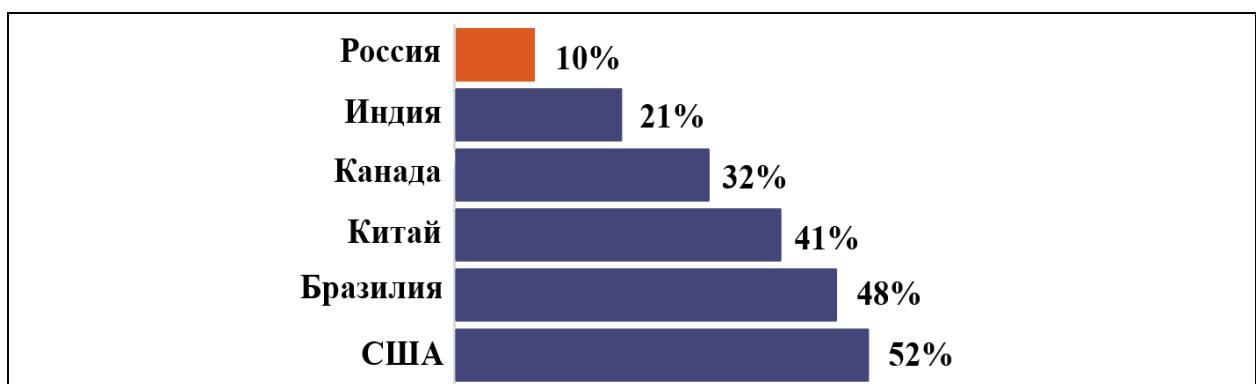


Рисунок 22 – Освоение технического гидропотенциала ряда стран мира в 2019 г., %

Размещение на российской территории экономически целесообразных к освоению гидроресурсов крайне неравномерно (75 % от общего гидроэнергетического потенциала находится в Сибири и Дальнем Востоке, 25 % - в Европейской части страны (рисунок 23). Из потенциала последней 40 % определяли районы Севера страны и Северного Кавказа, 30 % - Поволжье. Степень освоения гидропотенциала по стране достигла 23,4 %, в том числе в регионах Европейской части страны - 46,6 %, в Сибири - 20 %, на Дальнем Востоке не более - 4 % [5].

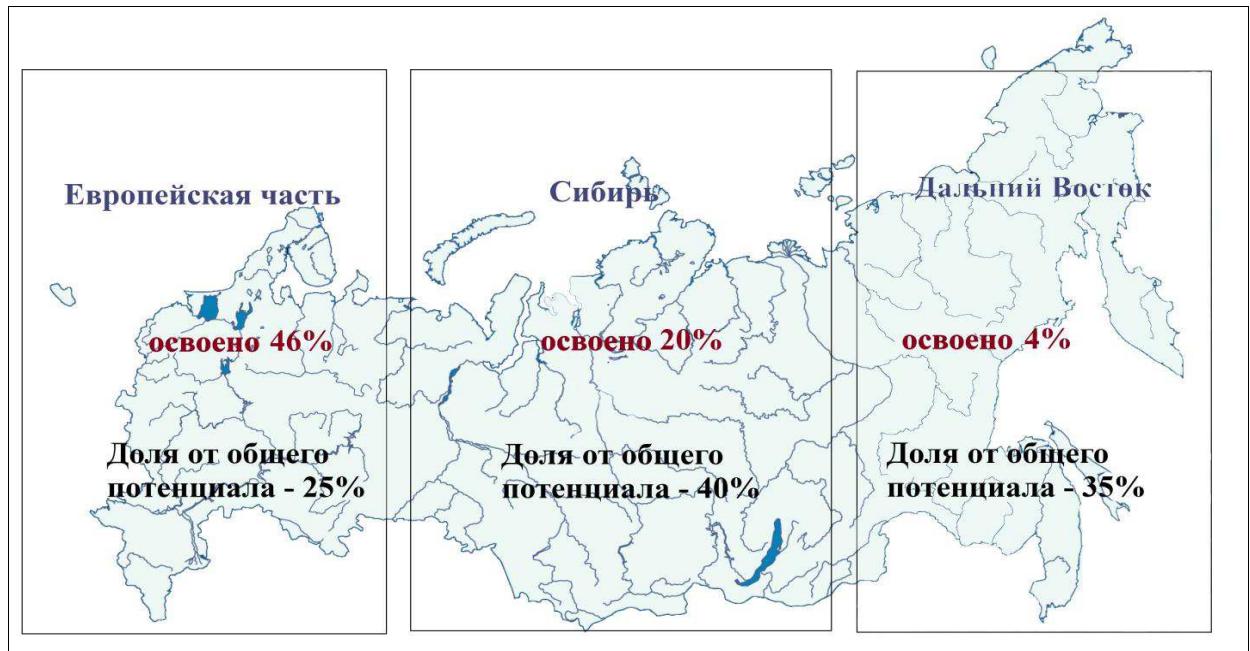


Рисунок 23 – Карта-схема экономического гидропотенциала России, 1960 г.

В начале 2000 г. экономический потенциал водных ресурсов России оценен в 852 млрд кВт·ч. [31] Наибольший экономический гидропотенциал сосредоточен в Восточно-Сибирском регионе (350 млрд кВт·ч), Дальневосточном (294 млрд кВт·ч) и Западно-Сибирском (77 млрд кВт·ч) (таблица 5). В 2019 г. степень освоения всего гидропотенциала по стране составила 23,4 %, в т. ч. в регионах Сибири - 59,2 %, на Дальнем Востоке – 9,5 % (рисунок 24).

Таблица 5 – Распределение общего гидроэнергетического потенциала по экономическим районам России [31]

Экономические районы	Экономический гидропотенциал, млрд кВт·ч	Освоенный гидропотенциал, млрд кВт·ч	Степень освоения гидропотенциала, %
Северо-Западный	6	3,6	60
Северный	37	9,3	25
Центральный	6	1,5	25
Волго-Вятский	7	4,8	68
Поволжский	41	30,5	74
Северо-Кавказский	25	8,5	34
Уральский	9	4,4	49
Западно-Сибирский	77	1,7	2

## Окончание таблицы 5

Экономические районы	Экономический гидропотенциал, млрд кВт·ч	Освоенный гидропотенциал, млрд кВт·ч	Степень освоения гидропотенциала, %
Восточно-Сибирский	350	116,6	33
Дальневосточный	294	19	6
Всего по России, в т.ч.	852	199,9	23,4

Российская Федерация по общей мощности электростанций в мире занимает одну из лидирующих позиций. Она располагает 440 тепловыми и гидравлическими электростанциями мощностью более 130 млн кВт и 44 млн кВт, соответственно, 10 атомными электростанциями мощностью около 22 млн кВт.

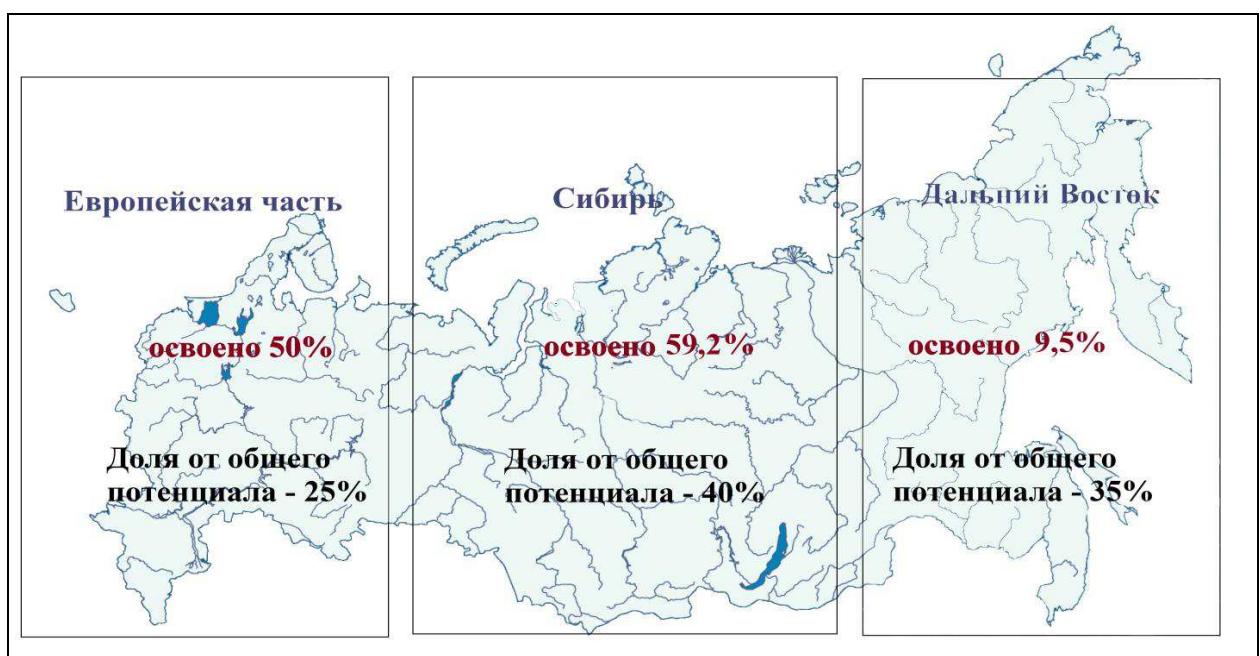


Рисунок 24 – Карта-схема экономического гидропотенциала России, 2019 г.

Станции объединены между собой системными линиями электропередачи напряжением 220 кВ, их общая длина составляет 150 тыс. км. Приблизительно 80 % всех электростанций страны образуют Единую энергетическую систему России, основу которой определяют крупные ГЭС, ТЭС, АЭС мощностью по несколько млн кВт. Однако, в дальнейшем основной вклад в производство электроэнергии будут вносить ТЭС, которые обеспечивают более 65 % общей выработки электроэнергии, на гидростанции приходится лишь 20 %, из-за недостатка средств на мощные ГЭС.

Мощность российских ГЭС составляет 51,2 млн кВт, что соответствует 20,6 % всей мощности электростанций страны. Выработка электроэнергии на ГЭС в Единой энергетической системе (ЕЭС) России в 2017 г. достигла 178,9 млрд кВт·ч, доля ГЭС в совокупной выработке электроэнергии электростанций ЕЭС России составила 17,07 % [23].

Сегодня на территории России функционируют 185 гидроэлектростанций, в том числе 14 ГЭС мощностью выше 1000 МВт (рисунок 25). Действует 102 гидроэлектростанции мощностью выше 10 МВт, а также две гидроаккумулирующие электростанции (Загорская ГАЭС и ГАЭС каскада Кубанских ГЭС) и Зеленчукская ГЭС-ГАЭС установленной мощностью 140 МВт. Из 5 самых мощных электростанций 4 ГЭС Ангаро-Енисейского каскада являются ведущими отечественной гидроэнергетики: Саяно-Шушенская (мощность 6,4 ГВт), Красноярская (6 ГВт), Братская (4,5 ГВт) и Усть-Илимская ГЭС (3,84 ГВт) и Богучанская ГЭС (3 ГВт) [35]. Волго-Камский каскад ГЭС (до 2,5 млн кВт) интенсивно использует энергию р. Волга и р. Кама.

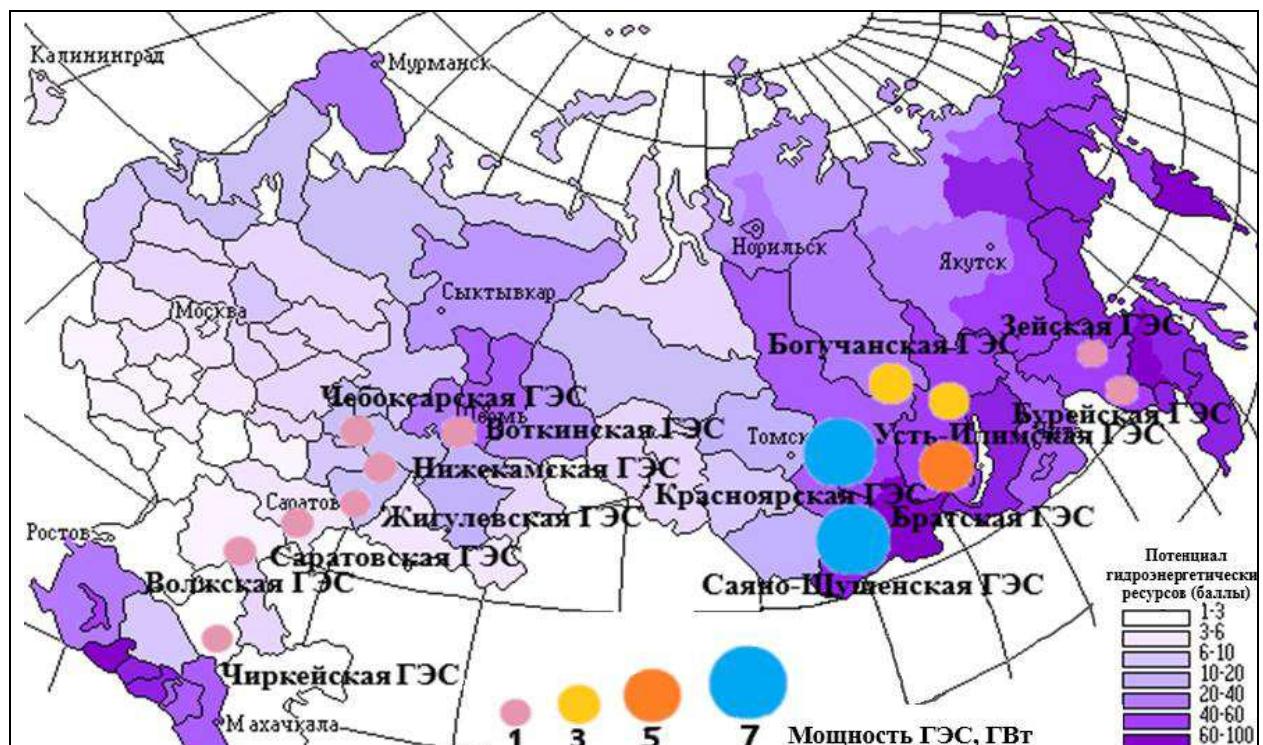


Рисунок 25 – Гидроэлектростанции России мощностью более 1000 МВт (2020 г.)

Доля ГЭС в установленной мощности российских электростанций в 2017 г. составила 19 % (рисунок 26). Гидроэлектростанции вырабатывали 17 % всей электроэнергии России, что составляет практически весь объем электроэнергии, выработанной на основе возобновимых источников энергии в нашей стране [7].

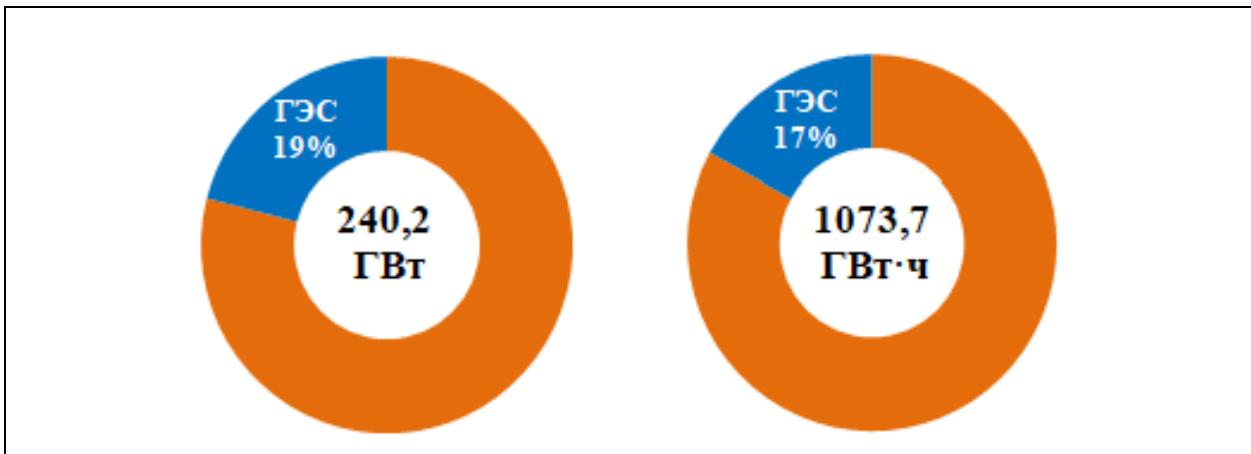


Рисунок 26 – Доля ГЭС в установленной мощности и выработке электростанций в России (2017 г.)

На 1.06.2020 г. доля ГЭС в установленной мощности российских электростанций составила 20,2 % г. (рисунок 27, 28). Гидроэлектростанции вырабатывали около 17,6 % от всей электроэнергии России.

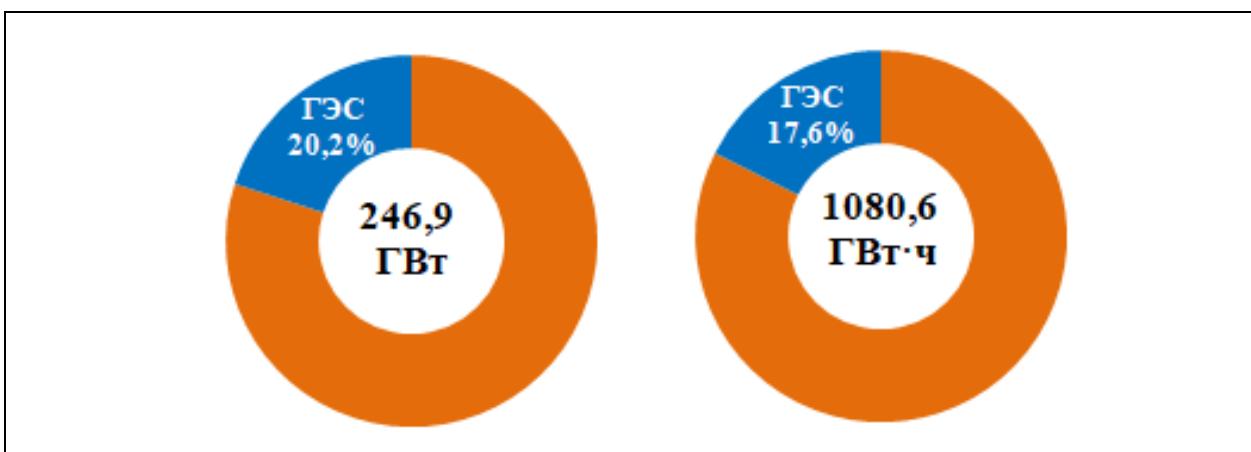


Рисунок 27 – Доля ГЭС в установленной мощности и выработке электростанций в России (2020 г.)

Основными показателями деятельности энергосистемы стали установленная мощность электростанций, выработка электроэнергии и потребление электроэнергии. Установленная мощность электростанции представляет собой сумму паспортных мощностей всех генераторов электростанции, которая может меняться в процессе реконструкции действующих генераторов или установки нового оборудования. На начало 2020 года установленная мощность Единой энергосистемы России составляла 246,342 тыс. МВт, при этом на долю ГЭС приходилось 49,3 тыс. МВт, что составило 17,6 % от общего производства электроэнергии. В общие показатели энергосистемы страны внесли свой вклад Зарагижская ГЭС и Зеленчукская ГЭС-ГАЭС, начавшие работу еще в 2016 г., а на высокие объемы выработки гидроэлектроэнергетики повлияла работа Богучанской ГЭС, Гоцатлинской ГЭС, введенных на полную мощь ранее – в 2015 г.

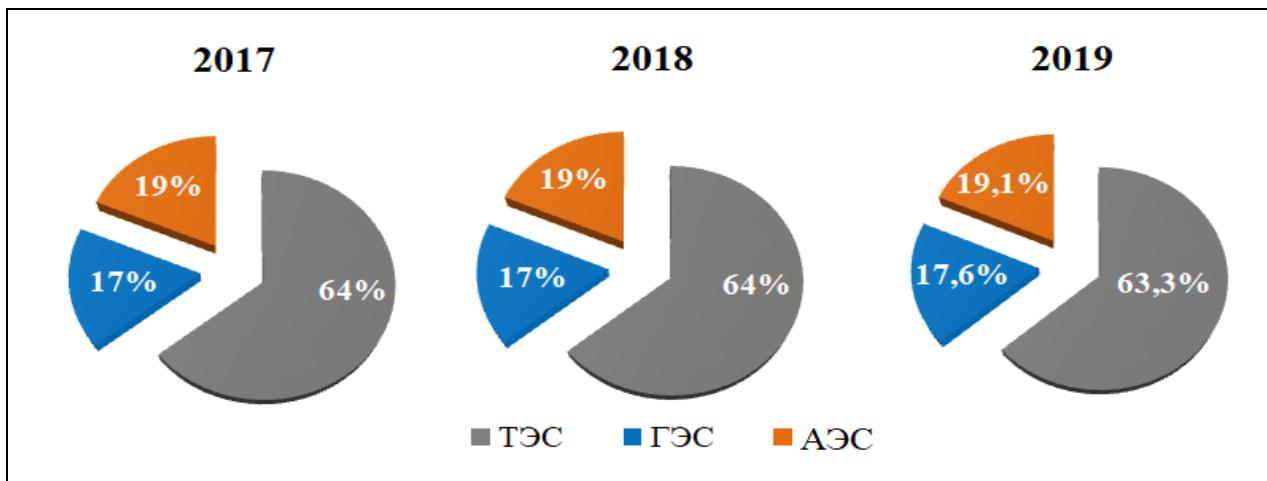


Рисунок 28 - Структура производства электроэнергии в России (2017-2019 гг.)

При анализе многолетней динамики (1985-2019 гг.) выработки гидроэлектроэнергии зарегистрированы резкие флюктуации [32] (рисунок 29). Очевидно, колебания были обусловлены рядом факторов, в том числе и естественной природы: маловодными периодами и недостаточным водостоком в период выработки электроэнергии.

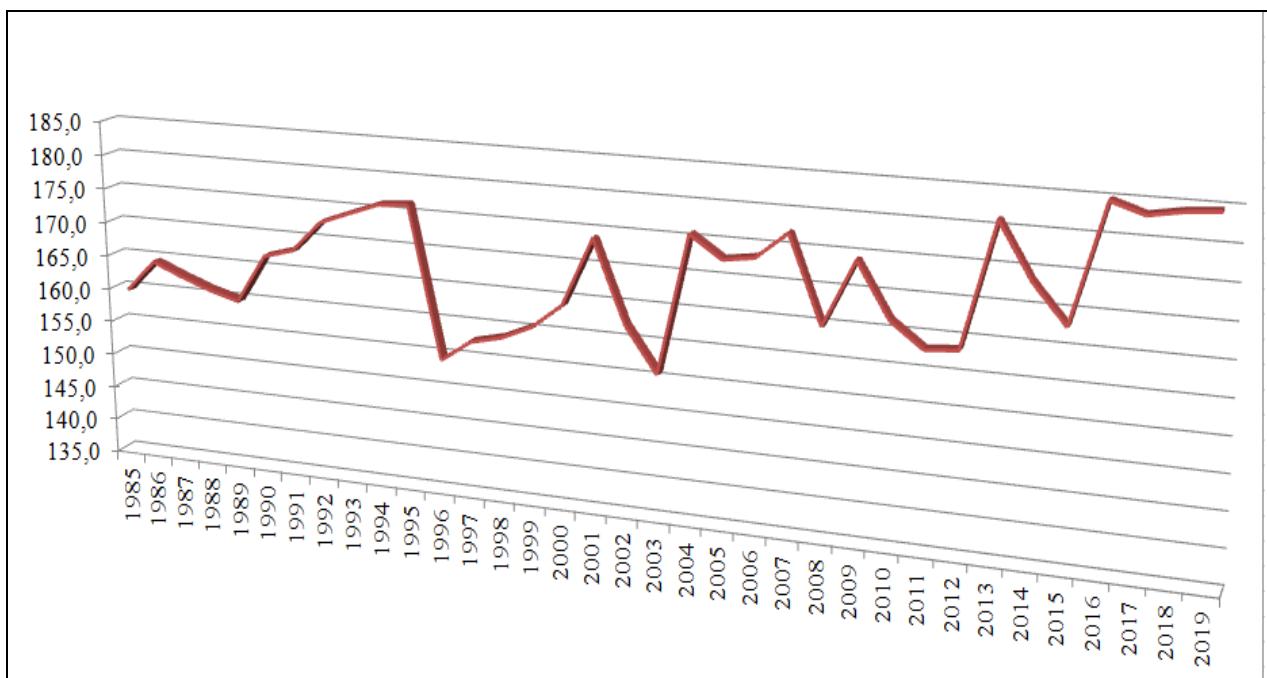


Рисунок 29 – Динамика выработки электроэнергии гидростанциями России в 1985-2019 гг. (ТВт·ч)

В целом по стране высоких показателей достигла гидроэнергетическая отрасль в Сибири, на Юге России и Дальнем Востоке, объем выработки электроэнергии которых возрос почти на 25%. Важно и то, что на Дальнем Востоке дополнительная энергия ГЭС позволила существенно сэкономить топливо на ТЭС [33].

Огромные гидроэнергетические ресурсы сосредоточены в Сибири, в основном на р. Ангара, Енисей, Нижняя Тунгуска и др. Природные условия дают

возможность получать здесь в значительных количествах дешевую электроэнергию на крупнейших ГЭС (каждая мощностью 4000-6000 МВт). Строительство станций с повышенной единичной мощностью характерная особенность гидроэнергетической отрасли в этой части страны. На базе дешевой электроэнергии здесь развивается электроемкая промышленность. Гидроэнергетика способствует развитию производительных сил северных районов Сибири.

Электроэнергетический комплекс объединения (ОЭС Сибири) образуют 112 электростанций (мощностью 52 104,76), из них на долю ГЭС приходится 25 301,60 МВт (48,56 %), согласно данным на 1.06.2020 г. (таблица 6). Гидроэлектростанции Сибири производят более 10 % объема выработки всех электростанций ЕЭС страны [23].

Свыше 50 % общей структуры генерирующей мощности составляют ГЭС с водохранилищами многолетнего регулирования и запасами до 30 млрд кВт·ч на период возможного длительного маловодья. Управление режимом ОЭС Сибири усложняют естественные многолетние колебания годового стока рек Ангаро-Енисейского бассейна, энергетический потенциал которого достигает 120 млрд кВт·ч, а также тот факт, что водность рек – это стихийное природное явление, не прогнозируемое даже в самом краткосрочном цикле.

Таблица 6 – Установленная мощность гидроэлектростанций ЕЭС и ОЭС России на 1.06.2020 г.

Энергообъединение	Всего, МВт	ГЭС, МВт	Доля ГЭС от всех электростанций
ОЭС Северо-Запада	24 472,11	2 947,24	12,04
ОЭС Центра	52 648,58	1800,07	3,42
ОЭС Средней Волги	27 493,88	7013,00	25,51
ОЭС Юга	24 857,73	6 289,69	25,30
ОЭС Урала	53 696,44	1901,19	3,54
ОЭС Сибири	52 104,76	25 301,60	48,56
ОЭС Востока	11 068,95	4 617,50	41,72
ЕЭС России	246 342,45	49870,29	20,24

Нормальный режим работы ОЭС Сибири обуславливается перетоками мощности в размере около 2 млн кВт по общему транзиту Сибирь - Урал – Центр, что обеспечивает компенсацию годовой неравномерности энергоотдачи гидроэлектростанций за счет резервов ЕЭС, и делает возможным использование регулировочного диапазона ГЭС Сибири для регулирования нагрузки в российской ЕЭС.

В Сибири в последние годы эксплуатируется 15 ГЭС (рисунок 29). Пять крупнейших ГЭС характеризуются установленной мощностью 23737 МВт. Наиболее мощные ГЭС находится в Иркутской области (Братская, Усть-Илимская ГЭС) и в Красноярском крае (Красноярская ГЭС, Богучанская ГЭС).

На границе Красноярского края и Республики Хакасия размещается крупнейшая в России по установленной в 6400 МВт мощности Саяно-Шушенская ГЭС.

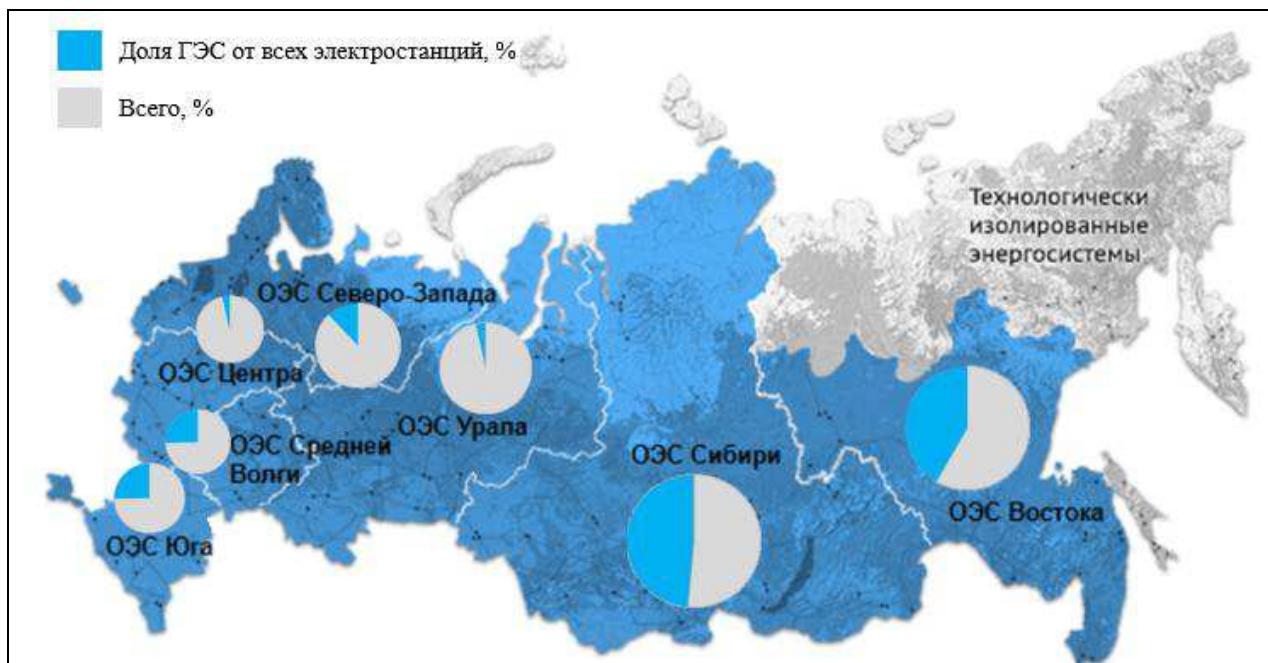


Рисунок 29 – Общая структура установленной мощности электростанций объединенных энергосистем и ЕЭС России на 1.06.2020 г., %

ГЭС имеют огромное значение для экономики регионов и в целом стран, обеспечив покрытие годового роста потребления электроэнергии. Красноярская ГЭС - крупнейший производитель электроэнергии в Красноярском крае, который обеспечивает свыше 30 % ее выработки в нашем регионе. Одним из главных потребителей электроэнергии ГЭС является Красноярский алюминиевый завод. Саяно-Шушенская ГЭС вырабатывает достаточно дешевую электроэнергию и является одним из самых мощных источником покрытия пиковых перепадов электроэнергии ЕЭС страны [14]. Данная ГЭС - основной источник энергоснабжения Саянского ТПК, включающего крупные алюминиевые заводы Хакасский, Саянский и Абаканвагонмаш, целый ряд предприятий легкой и пищевой промышленности, а также угольные разрезы и железные рудники. Гидроэнергетика в состоянии внести существенный вклад энергообеспечение ОЭС Сибири и страны. ГЭС Ангарского-Енисейского каскада, имеющие водохранилища многолетнего регулирования, играют решающую роль и в обеспечении бесперебойности энергоснабжения.

## 2.5 Крупные энергетические компании России

ПАО «РусГидро» (Публичное акционерное общество «Федеральная гидрогенерирующая компания – РусГидро») создано 26 декабря 2004 г. Компания является крупнейшей генерирующей компанией страны по установленной мощности в 38,7 ГВт (с учетом Холдинга РАО ЭС Востока и

Богучанской ГЭС), а также одной из крупнейших в мире среди гидрогенерирующих компаний-аналогов (рисунки 30, 31).

Группа «РусГидро» определяет порядка 16 % общей электроэнергии в России (в т. ч. 61 % от всей выработки ГЭС), является крупнейшим производителем электрической и тепловой энергии в Дальневосточном федеральном округе (90 % выработки электроэнергии). В структуру Группы «РусГидро» входят: 19 гидрогенерирующих филиалов (включающих 47 ГЭС и ГАЭС) в 17 регионах России, а также 3 ГеоЭС, плюс мощности ПАО «РАО Энергетические системы Востока». Всего Группа «РусГидро» контролирует более 90 объектов возобновляемой энергетики, в том числе, крупнейшую в России Саяно-Шушенскую ГЭС (6400 МВт), 9 станций Волжско-Камского каскада (общей установленной мощностью более 10150 МВт), Зейскую ГЭС (1330 МВт), Бурейскую ГЭС (2010 МВт). Производственные активы Группы «РусГидро» включают в себя: 411 объектов электrogенерации общей установленной мощностью 39,1 ГВт на всей территории Российской Федерации, линии электропередачи всех классов напряжения (в ДФО) – 104 тыс. км [24]



Рисунок 30 – Действующие и строящиеся ГЭС Группы РусГидро

Контролирующий акционер ПАО «РусГидро» - государство в лице Федерального агентства по управлению государственным имуществом (владеет 60,56 % акций), остальные акции (39,44 %) принадлежат миноритарным акционерам, в числе которых Банк ВТБ (ПАО), ПАО «Интер» [7].

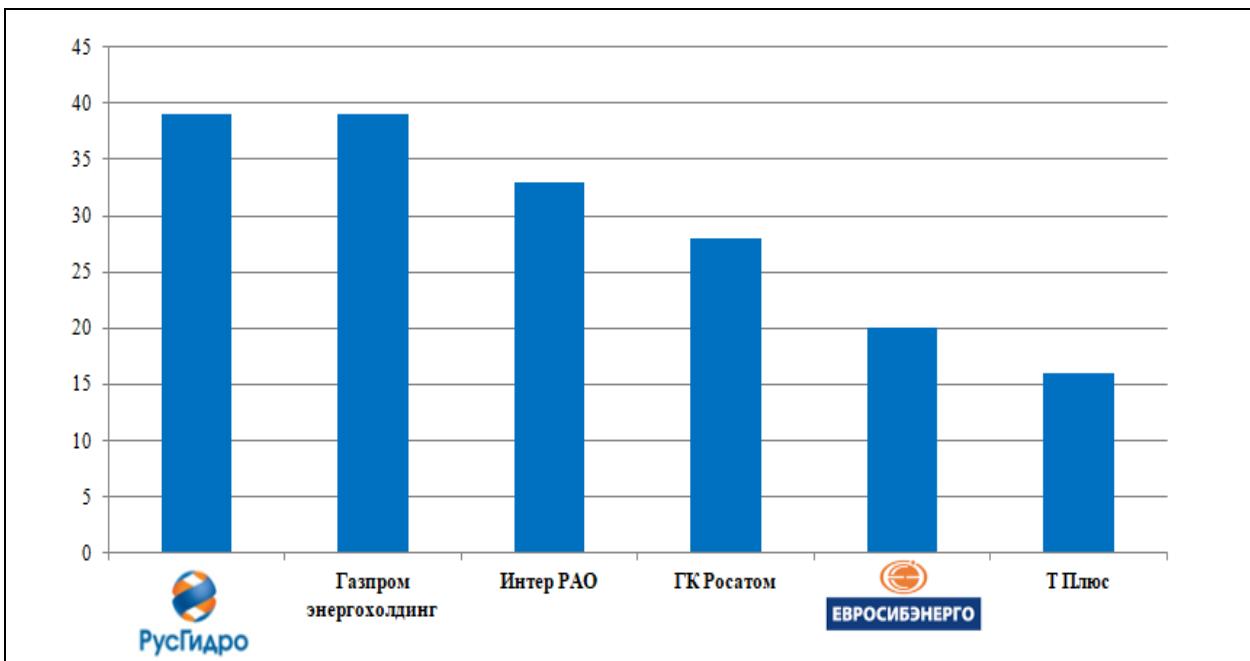


Рисунок 31 – Мощность (ГВт) компании ПАО «РусГидро»

Ключевые итоги деятельности Группы РусГидро в 2015-2019 гг. приведены в таблице 7.

Таблица 7 – Объем выработки электроэнергии ГЭС Группы «РусГидро» (2015-2019 гг.)

Наименование показателя	2015	2017	Рост, %	2019	Рост, %
Выработка, млн Вт·ч	127 342	138 810	+9,0 %	140 249	+1,1 %
В т.ч. ГЭС	96156	108 946	+14,5 %	109 258	+0,3 %

Показатель отношения капитализации к стоимости 1 кВт электроэнергии для потребителей Группы «РусГидро» практически сопоставим с крупнейшими мировыми аналогами. Это говорит об адекватной оценке рынком стоимости РусГидро в рамках текущей стоимости электроэнергии в России. В случае роста стоимости электроэнергии до уровня зарубежных стран рыночная стоимости «РусГидро» может существенно возрасти. Анализ стоимости электроэнергии в разных странах показывает, что стоимость электроэнергии для потребителей в России существенно ниже, чем в других странах и это является естественным ограничением для роста финансовых показателей компании и соответственно ее стоимости (рисунок 32).

Отечественная энергетическая компания ПАО «РусГидро», владелец большинства российских ГЭС гидроэлектростанций страны, приняла и реализует в рамках Стратегии развития группы компаний на период до 2025 г. программу увеличения мощностей ГЭС и комплексной модернизации генерирующих объектов [7, 23]. Так, за период 2015-2017 гг. ввод мощности Группа «РусГидро» составил 661,55 МВт и 675,66 Гкал·час, все указанные мощности были введены на территории ДФО (компания практически

полностью обеспечивает энергоснабжение Дальнего Востока (ДФО без учета Бурятии и Забайкальского края).

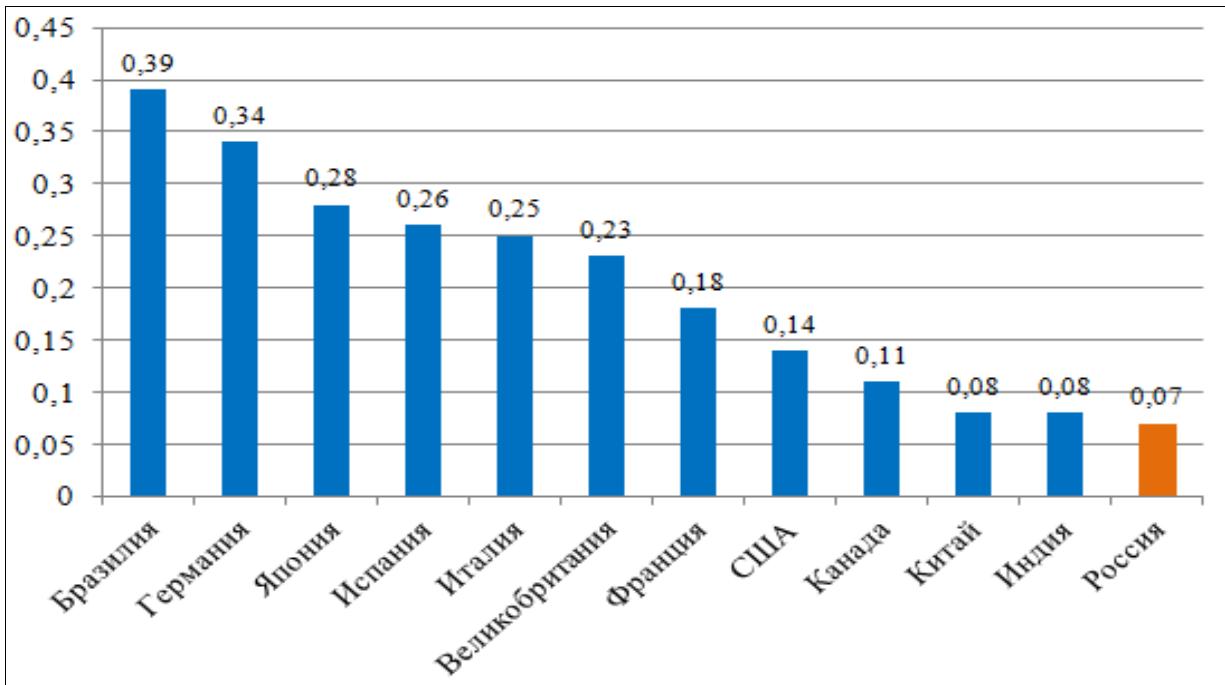


Рисунок 32 – Стоимость электроэнергии для потребителей в 2019 г. (долл. за 1 кВт·ч) [45]

В течение последних лет интенсивно «РусГидро» велись работы на объектах нового строительства. В 2015-2016 гг. введены в эксплуатацию Гоцатлинская ГЭС (100 МВт, Республика Дагестан), Зеленчукская ГЭС-ГАЭС (140 МВт, Карачаево-Черкесия), Зарагижская ГЭС (30,6 МВт, Кабардино-Балкарская Республика), завершено восстановление Саяно-Шушенской ГЭС (Красноярский край, Хакасия) и строительство Богучанской ГЭС (Красноярский край). На 2020 гг. запланирован ввод 3-го гидроагрегата Усть-Среднеканской ГЭС (142,5 МВт, Магаданская область), Зарамагской ГЭС-1 (342 МВт, Северная Осетия), завершение реализации проектов малых ГЭС на Северном Кавказе – Усть-Джегутинской (5,6 МВт), Верхнебалкарской (10 МВт), Барсучковской (5,1 МВт). В Амурской области созданы крупнейшая на Дальнем Востоке Бурейская ГЭС (2010 МВт) и Зейская ГЭС (1330 МВт). Помимо выработки электроэнергии, эти гидроэлектростанции играют важную роль в борьбе с наводнениями. Дальний Восток является приоритетным для РусГидро регионом, здесь сосредоточено большинство строящихся компаний объектов. В 2019 г. здесь введена в эксплуатацию Нижне-Бурейская ГЭС.

К 2020 г. компания модернизировала семь гидроагрегатов общей мощностью 593 МВт на пяти гидроэлектростанциях (Саратовской ГЭС, Волжской ГЭС, Воткинской ГЭС, Новосибирской ГЭС, Чебоксарской ГЭС). Завершены работы по замене очередного гидроагрегата на Рыбинской ГЭС, монтаж первого нового гидроагрегата на Нижегородской ГЭС, работы по модернизации электротехнического оборудования на Нижегородской ГЭС,

Загорской ГАЭС, Чебоксарской ГЭС, Воткинской ГЭС. В 2019 г. окончена ремонтная кампания гидроэлектростанций Вилюйского каскада. В рамках масштабной для российской энергетики Программы комплексной модернизации заменено более 60 гидротурбин, 36 генераторов, 58 трансформаторов и др. В результате общая мощность модернизируемых ГЭС возросла более чем на 427 МВт.

АО «ЕвроСибЭнерго» (Акционерное общество «ЕвроСибЭнерго») – российская энергетическая компания, крупнейший частный производитель электроэнергии в России и один из крупнейших мировых производителей гидроэлектроэнергии. Является вторым по величине активом En+ Group после «Русала». Основана в 2001 г. АО «ЕвроСибЭнерго» управляет ведущими энергопредприятиями России и обслуживает более 15 млн потребителей. Под управлением компании находятся 18 электростанций суммарной установленной электрической мощностью 19,5 ГВт. Компания производит около 80 млрд кВт·ч в год, что составляет примерно 9 % производства электроэнергии в России, свыше 3/4 энергии производится на ГЭС. АО «ЕвроСибЭнерго» является одним из основных производителем энергии в Сибири. Именно здесь расположены основные активы, где прогнозируется рост спроса на электроэнергию, связанный с реализацией новых энергоемких проектов в промышленности. Более 15 ГВт мощностей компании приходится на крупные российские ГЭС, расположенные на сибирских реках Ангара и Енисей. В управлении ОАО «ЕвроСибЭнерго» находятся группа компаний «Волгаэнерго», пакеты акций ОАО «Красноярская ГЭС», ПАО «Иркутскэнерго» и других российских энергокомпаний. ПАО «Красноярская ГЭС» входит в десятку самых крупных ГЭС мира, занимая второе место в стране. Установленная мощность 12 гидроагрегатов – 6 тыс. МВт. Среднегодовая выработка составляет 18,4 миллиардов кВт·ч. ПАО «Иркутскэнерго» контролирует три станции (Усть-Илимскую ГЭС, Братскую ГЭС, Иркутскую ГЭС). Установленная мощность ЭС достигает 12,88 тыс. МВт, в том числе мощность ГЭС – 9 тыс. МВт, ТЭС – 3,88 тыс. МВт. Под управлением компании находится также Ондская ГЭС (расположена на р. Онда в Карелии, входит в Выгский каскад ГЭС.)

Группа «Интер РАО» представляет собой достаточно крупную отечественную энергетическую компанию, которая управляет активами в нашей стране, а также в странах Европы и СНГ. В сфере деятельности данной компании - производство и сбыт электрической и тепловой энергии, международный энергетический трейдинг, проектирование и строительство ЭО. «Интер РАО» является единственным российским оператором экспорт-импорта электроэнергии. География поставок включает Финляндию, Белоруссию, Литву, Украину, Грузию, Азербайджан, Южную Осетию, Казахстан, Китай и Монголию. Образовано в 1997 г. как дочернее предприятие РАО «ЕЭС России», первоначальная специализация - международная торговля электроэнергией. С 2002 г. компания начала приступила к экспорту электроэнергии из страны, в 2003 г. стала основным отечественным оператором экспорта. В настоящее время под ее контролем

находится ряд энергетических компаний за рубежом, включая 10 ГЭС (в том числе 5 малых ГЭС). «Интер РАО» стала соучредителем Сангудинской ГЭС-1 в Таджикистане, а также контролирует производственные зарубежные активы: Храми ГЭС-1 (Храм ГЭС I) им. С. Орджоникидзе - гидроэлектростанции на реке Храми (Грузия), входящая в состав Храмского каскада и являющаяся его верхней ступенью (первый гидроагрегат ГЭС пущен в 1947 г.); Храми ГЭС-2 (Храм ГЭС II) - гидроэлектростанция на реке Храми, Грузия, в составе Храмского каскада является нижней ступенью (первый гидроагрегат ГЭС пущен в 1962 г.).

## [Глава 3 - изъята ]

### 4 Преимущества и недостатки гидроэнергетической отрасли

Гидроэнергетическая отрасль РФ помимо производства электроэнергии решает целый ряд значимых социально-экономических и природоохраных задач (создание систем питьевого, промышленного водоснабжения; ирригационных систем; регулирование стока рек для борьбы с наводнениями и обеспечения безопасности населения; рыбоводство; развитие судоходства; рекреационное использование водохранилищ ГЭС [18]. Создание территориально-производственных комплексов на основе крупных гидроэнергетических объектов с водохранилищами комплексного назначения обеспечило экономическое развитие малоосвоенных отдаленных регионов во многих странах. В таких малонаселенных необжитых регионах ГЭС, являясь промышленными объектами, решают долгосрочную стратегическую задачу, формируя новую производственную и социальную инфраструктуру, обеспечивая электричеством и водоснабжением, создают условия для социально-экономического развития региона, улучшения условий производственной деятельности и жизни населения.

При рассмотрении влияния гидроэнергетических объектов на окружающую природную среду принято выделять основные периоды: строительства и эксплуатации. Первый период относительно короткий, в течение которого в районе строительства нарушается естественный природный ландшафт. В связи с прокладкой дорог, возведением промышленной базы и поселка ГЭС резко повышается уровень шумового воздействия. Вода, используемая при строительных работах, возвращается в зарегулируемую реку с механическими примесями (частицами глины, песка и др.). Происходит также загрязнение воды коммунально-бытовыми стоками строительного поселка. С созданием водохранилищ связано также изъятие земель, вырубка лесов на прилегающей территории, недостаточная лесосводка и лесоочистка, деградация ландшафтов и наземных экосистем, нарушение гидрологического режима рек, структуры, свойств и видового состава биотической составляющей речных экосистем, иженерно-геологические изменения, профессиональные опасности строительного производства, а также значительные сроки строительства объекта и аварийные ситуации.

На основании анализа последствий эксплуатаций ГЭС весь спектр неблагоприятных воздействий гидротехнического строительства на окружающую природную среду можно разделить на две основные группы: отрицательные воздействия, с которыми связан риск возникновения различного рода убытков, включая и упущеные возможности; противоречивые воздействия и последствия, эффект которых может быть оценен не однозначно, при этом неправильное ограничение может вызвать еще более тяжелые последствия для окружающей среды, чем отсутствие каких либо ограничений [43]. Нежелательные эффекты при эксплуатации гидроэнергетических объектов включают: отчуждение земель, изменение ландшафтов, развитие процессов деградации почв, гидрогеологические и климатические изменения, изменения

гидрологического режима и режима наносов, аккумуляция загрязнителей и изменение качества воды в водохранилищах, деградация существующих наземных и водных экосистем, профессиональные опасности эксплуатации ГЭС, снижение надежности и эффективности гидротехнического сооружения по истечении времени (старение), отказы в работе и аварии, неуправляемое развитие народнохозяйственного комплекса на базе гидроэнергетических объектов.

ГЭС оказывают определенной влияние на окружающую природную среду, и это влияние является локальным. Сооружение же каскадов крупных водохранилищ и другие крупные водохозяйственные мероприятия могут существенно изменить природные условия в региональном масштабе.

В настоящее время в России все более значимыми становятся задачи охраны окружающей природной среды при реконструкции и техническом перевооружении действующих ГЭС, при совершенствовании управления режимами работы гидроэлектростанций многоцелевого назначения, освоении гидроресурсов малых рек, а также управлении паводками с целью снижения опасного наводнений. Тесная взаимосвязь между условиями функционирования гидроэлектростанций и их возможным неблагоприятным влиянием на окружающую среду определяет необходимость комплексного подхода к решению как технических, так и природоохранных вопросов.

## [Глава 5 - изъята ]

### **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Гидроэнергетика является одной из базовых отраслей ТЭК, важнейшего для экономики любой страны мира. Роль ее объясняется необходимостью электрификации самых разных сфер человеческой деятельности и определяется, ее эффективностью, безопасностью и экологичностью. Поэтому и уровень электрификации топливно-энергетического баланса мира, который измеряется количеством ПЭР, расходуемых на производство электроэнергии, все время возрастает и в развитых странах уже превысил 2/5.

По обеспеченности мировыми гидроэнергоресурсами Россия занимает третье место после Китая и США. Экономический потенциал водных ресурсов страны оценен в 2019 г. в 852 млрд кВт·ч, степень освоения гидропотенциала - 23,4 %.

В 2020 г. установленная мощность ЕЭС России составила 246 342,45 МВт, на долю ГЭС приходилось 17,6 % от общего производства электроэнергии.

Огромные гидроэнергетические ресурсы сосредоточены в Сибири, где эксплуатируется 15 ГЭС (48,71 % от мощности всех ЭС Сибири и 52% от выработки электроэнергии). На базе дешевой электроэнергии здесь развивается электроемкая промышленность. Гидроэнергетика содействует развитию производительных сил северных районов.

Характер размещения ГЭС определяет ряд факторов: сырьевой; экономический и потребительский. Вторичными условиями размещения являются наличие инфраструктуры, доступ к энергосетям, квалифицированные специалисты.

Потенциал развития гидроэнергетики в России колossalный - неосвоенными остаются 80 % гидроэнергоресурсов. Их дальнейшее рациональное использование, является одной из необходимых составляющих экономического роста России и обеспечения глобальной энергетической безопасности.

Гидроэнергетика в новом тысячелетии может стать структурным лидером в развитии энергетики России как наиболее развитая, экологически безопасная и инвестиционно привлекательная отрасль.

## **СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1. Авакян, А. Б. Водохранилища : учебное пособие / А. Б. Авакян, В. П. Салтанкин, В. А. Шарапов. – Москва : Мысль, 1987. – 326 с.
2. Александровский, А. Ю. Гидроэнергетика: учебник для вузов / А. Ю. Александровский [и др.]; под ред. В. И. Обрезкова. – Москва : Энергоатомиздат, 1988. – 512 с.
3. Алексеева, А. И. Россия: социально-экономическая география: учеб.пособие / А. И. Алексеева, В. А. Колосова. – Москва : Новый хронограф, 2013. – С. 156-177.
4. Алисов, Н. В. Экономическая и социальная география мира (общий обзор): учебник / Н. В. Алисов, Б. С. Хорев. – Москва : Гардарика, 2000. – С. 12-26.
5. Андреев, А. С. Региональная экономика : учебник для вузов. / А. С. Андреев, Л. А. Борисова, Э. Е. Плучевская. – Санкт-Петербург : Питер, 2012. – 218 с.
6. Бабурин, В. Л. Экономическая и социальная география России. География отраслей народного хозяйства России : учебник для вузов. / В. Л. Бабурин, М. П. Ратанова. – Москва : Эдиториал УРСС, 2013. – 516 с.
7. Баженов, И. С. Гидроэнергетика: состояние, проблемы, перспективы развития / И. С. Баженов, В. Я. Ушаков // Энергетика: эффективность, надежность, безопасность. – 2015. – № 1. – С. 45-47.
8. Безруков, Л. А. Социально-экономические и экологические последствия сооружения ГЭС : учебное пособие / Л. А. Безруков, Л. М. Корытный. Москва : Наука, 2007. – 185 с.
9. Бондаренко, В. И. Энергетика: история, настоящее и будущее. Развитие теплоэнергетики и гидроэнергетики : в 5 т. / В. И. Бондаренко; под. науч. ред. И. Н. Карп, И. В. Плачков, Ю. А. Ландау, И. Я. Сигал. – Киев : Инт угольных энерготехнологий НАН Украины и Минтопливэнерго Украины, 2008. – Т.3. – 528 с.
10. Брызгалов, В. И. Гидроэлектростанции : учеб.пособие для вузов / В. И. Брызгалов. – Москва : Наука, 2010. – 188 с.
11. Васильев, О. Ф. Экологическое состояние Новосибирского водохранилища / О. Ф. Васильев, В. М. Савкин, С. Я. Двуреченская, С. Я. Тарабенко, П. А. Попов, А. Ш. Хабидов // Сибирский экологический журнал. – 2000. – № 2. – С. 149-163.
12. Видяпин, В. И. Экономическая география России: учебник для вузов / В. И. Видяпин, М. В. Степанов. – Москва : ИНФРА-М, 2014. – С. 262-271.
13. Видяпин, В.И. Региональная экономика : учеб.пособие / В. И. Видяпин, М. В. Степанов. – Москва : ИНФРА-М, 2013. – С. 78-92.
14. Вознесенский, А. Н. Энергетические ресурсы СССР : учеб.пособие / А. Н. Вознесенский, А. Б. Авакян, В. А. Баранов, Л. Б. Берштейн и др.; под ред. А. Н. Вознесенского. – Москва : Наука, 1967. – 596 с.

15. Вышегородцев, А. А. Красноярское водохранилище : учебное пособие / А. А. Вышегородцев, И. В. Ануфриева, О. А. Кузнецова. – Новосибирск : Наука, 2005. – 212 с.
16. Дальжинова, И. А. Последствия строительства Братского водохранилища / И. А. Дальжинова // Иркутский историко-экономический ежегодник : сб. науч. тр. / Байкальский гос.ун-т. – Иркутск, 2008. – С. 426-431
17. Ежегодник качества поверхностных вод РФ - Гидрохимический институт. – Краснодар, 2016. – 123 с.
18. Ежегодный информационный бюллетень Енисейского бассейнового водного управления о состоянии водных объектов бассейна р. Енисей за 2015 год. – Красноярск, 2016. – 159 с
19. Ильиных, И. И. Гидроэлектростанции : учеб.пособие / И. И. Ильиных. – Москва : Энергоиздат, 1982. – 192 с.
20. Интернет-энциклопедия «Википедия». Гидроэлектростанция [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/>.
21. Исянов, Л. М. Оценка воздействия на окружающую среду. Часть 1. Оценка воздействия источников на атмосферный воздух : учебное пособие / Л. М. Исянов, А. В. Левин. – Санкт-Петербург : Петербургский гос. технолог.ун-т растительных полимеров, 2011. – 74 с.
22. Канарайкин, А. Мировая гидроэнергетика: настоящее и будущее / А. Канарайкин // Энергетика и промышленность России. – 2012. – № 1. – С. 12–13.
23. Ковалёва, Н. В. Экологическое состояние Усть-Илимского водохранилища, / Н. В. Ковалёва, Н. А. Лигаёва // География и геэкология на службе науки и инновационного образования : сб. науч. тр. / Краснояр. гос. пед. ун-т им. В.П. Астафьева. – Красноярск, 2014. – С. 79-83.
24. Корпачев, В. П. Влияние водохранилищ ГЭС Ангаро-Енисейского региона на окружающую природную среду / В. П. Корпачев // Вестник КрасГАУ. – 2005. – № 8. – С. 90-96.
25. Корытный, Л. М. Водные ресурсы Ангаро-Енисейского района : учебное пособие / Л. М. Корытный, Л. А. Безруков. – Новосибирск : Наука, 1990. – 163 с.
26. Красногорская, Н. Н. Использование малой гидроэнергетики как экологичного и энергоэффективного альтернативного источника энергии / Н. Н. Красногорская, Э. В. Нафикова, Е. А. Белозерова, Ю. А. Тунакова, О. Н. Кузнецова // Вестник технол. ун-та. – 2015. – Т.18, № 18. – С. 234-236.
27. Кузнецова, О. А. Распределение биоценозов донных сообществ по грунтам глубоководного Красноярского водохранилища (по многолетним рядам, 1978-1997гг.) / О. А. Кузнецова, З. Г. Гольд // Сибирский экологический журнал. – 2002. – № 2. – С. 165-172.
28. Кузнецова, О. А. Структурно-функциональная организация зообентоса красноярского водохранилища (1978-1997 гг.) : дисс. ... канд. биолог.наук : 03. 00. 18 / Кузнецова Ольга Анатольевна. – Красноярск, 2000. – 167 с.

29. Кузнецова, О. А. Сукцессионные изменения донных сообществ глубоководного Красноярского водохранилища / О. А. Кузнецова // Вестник КрасГАУ. – 2011. – № 9. – С. 99-103.
30. Кузнецова, О. А. Хорология донных сообществ глубоководного водохранилища / О. А. Кузнецова // Вестник КрасГАУ. – 2012. – № 2. – С. 5-54.
31. Кузьбожев, Э. Н. Экономическая география и регионалистика (история, методы, состояние и перспективы размещения производительных сил) : учеб.пособие / Э. Н. Кузьбожев, И. А. Козьева, М. Г. Световцева. – Москва : Высшее образование, 2009. – С. 116-136.
32. Липец, Ю. Г. География мирового хозяйства : учеб.пособие для вузов / Ю. Г. Липец, – Москва : Владос, 2000. – С. 77-78.
33. Максаковский, В. П. Географическая картина мира : учеб.пособие / В. П. Максаковский. – Москва : Дрофа, 2008. – С. 86-93.
34. Морозова, Т. Г. Региональная экономика / Т. Г. Морозова, М. П. Победина, Г. Б. Поляк. – Москва : Банки и биржи, 1995. – 304 с.
35. Морозова, Т. Г. Экономическая география России : учеб пособие для вузов / Т. Г. Морозова. – Москва : Юнити-Дана, 2001. – С. 112-114
36. Непорожний, П. С. Гидроэнергетика и комплексное использование водных ресурсов СССР : учеб.пособие / П. С. Непорожний, Б. Л. Бабурин, Р. И. Бобров, Г. М. Ванштейн ; под ред. А. Д. Смирнов. – Москва : Энергия, 1970. – 312 с.
37. Никитин, В. М. Ангаро-Енисейский каскад ГЭС в условиях изменяющегося климата / В. М. Никитин, Т. В. Бережных, Е.Н. Осипчук // Энергетическая политика. – 2017. – № 4. – С. 62-71.
38. Официальный сайт «Системный оператор Единой энергетической системы России» [Электронный ресурс]: статистические данные. – Режим доступа: <https://www.so-ups.ru/>.
39. Официальный сайт «Министерство энергетики Российской Федерации» [Электронный ресурс]: статистические данные. – Режим доступа: <https://minenergo.gov.ru/>.
40. Официальный сайт ПАО «РусГидро» [Электронный ресурс]: статистические данные. – Режим доступа: <https://www.rushydro.ru>.
41. Официальный сайт «География» [Электронный ресурс]: статистические данные. – Режим доступа: <https://geo.1sept.ru>.
42. Официальный сайт «Энергетика» [Электронный ресурс]: статистические данные. – Режим доступа: <http://energetika.in.ua.ru>.
43. Официальный сайт АО «Евросибэнерго» [Электронный ресурс]: статистические данные. – Режим доступа: <https://www.eurosib.ru>.
44. Официальный сайт «Институт энергетической стратегии» [Электронный ресурс]: статистические данные. – Режим доступа: <http://www.energystrategy.ru>
45. Официальный сайт «Электроэнергетика» [Электронный ресурс]: статистические данные. – Режим доступа: <https://energybase.ru>.

46. Подковальников, С. В. Гидроэнергетика России: современные проблемы и перспективы / С. В. Подковальников, В. А. Савельев, Л. Ю. Чудинова // Энергия: экономика, техника, экология. – 2012. – № 10. – С. 2–9.
47. Регионы России. Социально-экономические показатели : Стат. сб. / Росстат. –Москва, 2014. – 900 с.
48. Родионова, И. А. Экономическая и социальная география мира : учебник для бакалавров / И. А. Родионова. – Москва : Юрайт, 2014. – С. 120-142.
49. Савкин, В. М. Водохранилища Сибири, водно-экологические и водно-хозяйственные последствия их создания / В. М. Савкин // Сибирский экологический журнал. – 2000. – Т. 7, № 2. – С. 109-121.
50. Санжиева Т. Е. Богучанская ГЭС: Завершение Ангарского каскада / Т. Е. Санжиева // Иркутский историко-экономический ежегодник. – 2005. – №3. – С. 90-91.
51. Угрюмов, Б. И. Проблемы качества воды в водохранилищах вследствие загрязнения древесной массой / Б. И. Угрюмов, К. И. Шилинко // Системы. Методы. Технологии : научный периодический журнал. – 2009. – № 2. – С. 111-112.
52. Управление Федеральной службы государственной статистики по Красноярскому краю, Республике Хакасия и Республике Тыва [Электронный ресурс]: статистические данные. – Красноярск, Красноярскстат, 2000 – 2016. Режим доступа: <http://krasstat.gks.ru/>
53. Федеральная служба государственной статистики РФ [Электронный ресурс]: статистические данные. – Режим доступа: <http://gks.ru/>.
54. Ясинский, В. А. Современное состояние и перспективы развития малой гидроэнергетики в странах СНГ / В. А. Ясинский, А. П. Мироненков, Т. Т. Сарсембеков // Евразийский Банк Развития. Отраслевой обзор. – 2011. – № 14. – С. 21–25.
55. BP Statistical Review of World Energy June 2019 [Electronic resource] : sci. Statistical International Journal. – Access mode: <https://www.bp.com>.
56. International Energy Agency [Electronic resource]: statistical information. – Access mode: <https://www.iea.org/>.
57. The United Nations Statistics Division [Electronic resource]: statistical information. – Access mode: <https://unstats.un.org/unsd/publications/>.
58. Hydro World International [Electronic resource]: statistical information. – New York, 2019. – Access mode: <https://www.hydroworld.com/>.
59. World Energy Outlook [Electronic resource]: statistical information. – Access mode: <https://www.iea.org/>.

Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение  
высшего образования  
**«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**  
Институт экологии и географии  
Кафедра географии

УТВЕРЖДАЮ  
Заведующий кафедрой  
 Г. Ю. Ямских  
подпись инициалы, фамилия  
«29» июня 2020 г.

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА**

**География и развитие гидроэнергетики России**

05.03.02 География

05.03.02.03 «Экономическая и социальная география»

Научный  
руководитель

  
29.09.20  
подпись, дата

док., канд. биол. наук  
должность, учебная степень

О. А. Кузнецова  
инициалы, фамилия

Выпускник

  
29.06.2020  
подпись, дата

Ю. П. Мамышева  
инициалы, фамилия

Нормоконтролер

  
28.06.20  
подпись, дата

В. О. Брунгардт  
инициалы, фамилия

Красноярск 2020