

СОЗДАНИЕ ИНТЕРАКТИВНОЙ ГЕОИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ РАЗВИТИЯ АВТОНОМНОГО ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ В СЕВЕРНЫХ РЕГИОНАХ

Касина Валерия Игоревна
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого
(СПбПУ), Санкт-Петербург
v.casina@yandex.ru

РЕФЕРАТ

Научно-исследовательская работа содержит 30 с., 3 ч., 25 рис., 2 табл., 33 источника литературы.

ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ, ЭНЕРГОКОМПЛЕКСЫ, АРКТИКА, ВЕТРОЭНЕРГЕТИКА, ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ, ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ.

Основными проблемами энергоснабжения автономных северных регионов являются износ основных фондов, неразвитость энергетической системы, нерациональная структура генерирующих мощностей, высокая себестоимость генерации и транспортировки электроэнергии. В связи с тем, что большая часть изолированного энергоснабжения энергозависимо от дизельных электростанций, то эффективными являются гибридные энергокомплексы ВИЭ-ДЭС (возобновляемые источники энергии – дизельные электростанции), способствующие повышению надежности энергоснабжения потребителей и улучшению экологического состояния населенных пунктов за счет уменьшения отходов от привозных дизельных бочек. Объектом исследования является геоинформационная система (ГИС). Для достоверной оценки и учета природно-климатических факторов, влияющих на прогнозную выработку электроэнергии, определения температурных и силовых нагрузок при проектировании энергетических сооружений, оптимизацию состава оборудования и режимов работы, а также их последующую надежную эксплуатацию, разработано геоинформационное пространство, в которое загружаются данные через атрибуты программного комплекса для построения информационных карт. Сформированы и структурированы требования к базам данных территориальной природно-климатической, ресурсно-производительной, социально-экономической, экологической и другой необходимой информации для принятия проектных решений. ГИС ориентирована на использование информации, содержащейся в заложенных в неё базах данных, структурирование информации и интерпретирование ее в слои для вариантного сравнения и обоснования параметров энергетических установок на базе ВИЭ, повышения экологической и энергетической безопасности системы энергоснабжения удаленных автономных потребителей в северных регионах.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
НАУЧНЫЙ ЗАДЕЛ	5
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	28
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ	29

ВВЕДЕНИЕ

На сегодняшний день на мировом рынке происходят существенные изменения, которые связаны с ростом потребления энергии, необходимостью развития и повышением эффективности технологий и т.д. в энергетическом секторе. Мировая концепция Энергетической трилеммы фокусируется на трех основных векторах развития топливно-энергетического комплекса: энергобезопасность, доступность энергии и экологическая устойчивость. Получение энергии определяется не только экономическими показателями целесообразности, но и социальными, экологическими факторами развития человеческого общества и энергетической безопасностью. Но при этом, всегда будут выделяться обоснованно более жесткие требования к ее обеспечению для объектов и энергохозяйств, которые действуют на территориях в достаточно сложных условиях, в условиях экстремального проявления климата и инфраструктурной изоляции, иными, это территории автономного энергоснабжения в северных и арктических зонах РФ.

Особое внимание в проекте уделяется приоритетному направлению арктической стратегии России - развитию транспортного и энергетического сектора. Где в качестве механизмов реализации стратегии выступают Государственные программы, федеральные и ведомственные целевые программы, отраслевые стратегии, региональные и муниципальные программы, предусматривающие мероприятия, направленные на комплексное развитие региона, например, Указ Президента РФ от 26 октября 2020 г. № 645 "О Стратегии развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2035 года", «Генеральная схема размещения генерирующих объектов на территории России на перспективу до 2030 года».

Таким образом, ключевыми факторами, оказывающими влияние на социально-экономическое развитие арктической зоны Российской Федерации (АЗРФ), являются экстремальные природно-климатические условия. На данный момент, социально-экономическое состояние АЗРФ во многом характеризуется износом основных фондов, в особенности транспортной, промышленной и энергетической инфраструктуры и неразвитостью энергетической системы, нерациональной структурой генерирующих мощностей, высокой себестоимостью генерации и транспортировки электроэнергии. Основными задачами энергоснабжения автономных арктических регионов, согласно ПД, являются: повышение надежности энергоснабжения потребителей и снижение цен на электроэнергию. Одной из основополагающих и стратегических целей развития Северо-Западного Федерального округа (СЗРФ) является подготовка к экономическому использованию ресурсов арктической зоны, а также повышение энергообеспеченности децентрализованных потребителей в районах с дальним и сезонным завозом топлива в северных и арктических зонах.

В связи с тем, что большая часть изолированного энергоснабжения, которое преобладает в северных регионах, энергозависимо от дизельных электростанций, то наиболее эффективными являются гибридные энергокомплексы ВИЭ-ДЭС, способствующие повышению надежности энергоснабжения потребителей и улучшению экологического состояния отдельных населенных пунктов за счет уменьшения отходов от складирования привозных дизельных бочек и продуктов сгорания топлива. Объектом исследования является интерактивная геоинформационная система (ИГИС). Для достоверной оценки и учета природно-климатических факторов, влияющих на прогнозную выработку электроэнергии, определения температурных и силовых нагрузок при проектировании арктических энергетических сооружений, оптимизацию состава оборудования и режимов работы, а также их последующую надежную и эффективную эксплуатацию, разработано геоинформационное

пространство, в которое последовательно загружаются исходные данные через атрибуты программного комплекса для построения информационных карт регионов.

Цель проекта – определить стратегию создания интерактивной геоинформационной системы для проектирования энергокомплексов на базе ВИЭ с целью улучшения развития автономного энергоснабжения в северных регионах.

Задачи проекта:

1. Представить анализ современного состояния энергоснабжения, в том числе северных территорий РФ, определить направление развития в энергетическом секторе для данных территорий, а также определить основные проблемы и методы их решения;
2. Дать оценку изменений за счет модернизации существующих объектов генерации с помощью использования объектов на основе ВИЭ в автономных северных регионах РФ;
3. Определить значимость, актуальность и целесообразность использования цифровых технологий проектирования энергетических объектов в северных регионах.
4. Изучить рынок геоинформационных технологий, проанализировать базы данных и определить необходимые параметры для создания интерактивной геоинформационной системы.
5. Сформировать и структурировать требования к базам данных территориальной природно-климатической, ресурсно-производительной, социально-экономической, экологической и другой необходимой информации для принятия проектных решений сооружения арктических объектов.

Проект разработан с учетом постановления от 28.02.2018 №163 о Комитете Санкт-Петербурга по делам Арктики, который создан для проведения государственной политики в сфере развития научно-исследовательских, культурных, социально-экономических, экологических и других связей Санкт-Петербурга с регионами Арктической зоны РФ. Арктический регион является зоной стратегических национальных интересов Российской Федерации. Богатейшие природные ресурсы арктической зоны России, особое значение среди которых имеют углеводороды, обеспечивают формирование значительной доли национального дохода и общероссийского экспорта.

НАУЧНЫЙ ЗАДЕЛ

Арктический регион отличается от иных территорий РФ экстремальными природно-климатическими условиями, включающими в себя постоянный ледовый покров или дрейфующие льды в арктических морях, низкой плотностью населения (1-2 чел. на 10 км²), а также удаленностью от основных промышленных центров, высокой ресурсоемкостью и зависимостью хозяйственной деятельности и жизнеобеспечения населения от поставок топлива (северный завоз), продовольствия и товаров первой необходимости из других регионов РФ.

Численность населения, постоянно проживающего в арктических климатических условиях, составляет 517 млн. человек, что составляет около 7% от всего населения Земли. В России доля северян, проживающих в АЗРФ, составляет около 1,7%. Территории входящие в состав АЗРФ представлены на рисунке 1. В состав СЗФО входят 9 областей, из которых 4 региона входят в АЗРФ, что свидетельствует о значимости проекта в Санкт-Петербурге, центре округа и других регионах РФ [2].

Рисунок 1 – Арктическая зона РФ



В данный момент в мировой энергетике происходит энергопереход, который влияет не только на энергетическую сферу, но на экономику стран и мира, окружающую среду (по данным NREL, выработка 1 МВт ветровой энергии предотвращает выброс приблизительно 2600 тонн углекислого газа), общество и Землю в целом, так как прирост возобновляемой энергетики в глобальных масштабах позволит уменьшить стоимость электроэнергии, уменьшить загрязнение воздуха, улучшить благосостояние населения и увеличить доступность в электроэнергии. В РФ также существует энергопереход, который связан еще и с децентрализацией, преобладающей в северных регионах страны. Мощность мировой энергетике 7000 ГВт, из которых 5,5% - ВЭС, выработка- 25000 млрд.кВт.ч (7,1% - ВЭС). В России установленная мощность энергетике – 246,34 ГВт (0,08%-ВЭС), выработка -1080,6 млрд кВт.ч (0,03%-ВЭС). Выработка на объектах ВИЭ за 2019 год увеличилась примерно в 1,5 раза в сравнении с 2018 годом. Данный прирост в мощности и выработке объектах ВИЭ в РФ во многом связан с государственной политикой.

Согласно проведенному анализу энергетического состояния северных децентрализованных зон, 95% энергозависимо от ДЭС, количество которых составляет более 600 шт. В настоящее время в России в изолированных и труднодоступных местах

функционирует более 30 ЭК на базе ВИЭ (ВДЭС, СДЭС, ВЭС-СЭС-ДЭС) для автономного энергоснабжения удаленных потребителей, из которых 8 ВДЭС мощностью более 100 кВт. Суммарная выработка электрической энергии генерирующими объектами в изолированных и труднодоступных регионах около 1160 МВтч за год, установленная мощность - более 770 МВт. В изолированной системе энергоснабжения в суровых климатических условиях эксплуатируется 26 ВЭУ, суммарная установленная мощность которых 6,15 МВт.

Анализ состояния энергоснабжения изолированных территорий, проведенный на основе годовых отчетов регионов показал, что энергоснабжение автономных районов в северных регионах осуществляется преимущественно за счет дизельных электростанций, использование которых в удаленных северных регионах имеет ряд проблем, которые, в основном, связаны с удаленностью территорий и природно-климатическими условиями:

1. Очень низкая надежность энергоснабжения.
2. Устаревшее оборудование, обладающее высоким уровнем износа компонентов и элементов ДЭС, более 35 % оборудования имеет износ более 75%.
3. Очень высокий удельный расход дизельного топлива (ДТ).
4. Сложная транспортная логистика при доставке большого объема ДТ.
5. Значительные затраты бюджетов местных и региональных уровней на покрытие межтарифной разницы и постоянное увеличение субсидий.
6. Загрязнение окружающей среды за счет неправильной утилизации бочек для транспортировки ДТ.

Характеристика ДЭС СЗФО представлена в таблице 1. Стоимость завозимого ДТ в автономные регионы составляет 40-100 тыс. руб. за тонну, из которых 30% - 80% - транспортная составляющая, в связи с чем, по оценкам центра по эффективному использованию энергии (ЦЭНЭФ), федеральный бюджет ежегодно выделяет более 50 млрд. руб. для субсидирования тарифов на электроэнергию в данных регионах. В четырех регионах, а именно: в Магаданской области, Камчатском крае, НАО и Республике Саха доля расходов из бюджета региона составляет более 50%.

Таблица 1-Характеристики ДЭС в СЗФО РФ

Субъект РФ	Кол-во ДЭС	Мощность, МВт	Выработка электроэнергии, тыс. кВт-ч	Объем завозимого топлива, тыс. Т	Затраты на завоз топлива, млн. Руб	Стоимость тонны дизельного топлива, руб	Себестоимость электроэнергии, руб./кВтч
Архангельская область	63	46	64440	7,6	523,8	68921,1	До 60
Ненецкий автономный округ	36	89	25000	11,12	560,5	50404,7	До 32
Мурманская область	150	3,8	8500	-	-	-	До 50
ИТОГО	249	~140	97940	>20	38762,4	>119325	До 60

В целях совершенствования системы государственного управления социально-экономическим развитием АЗРФ предусматривается оптимизация экономических механизмов «северного завоза» за счет использования возобновляемых источников энергии, реконструкции и модернизации энергетических установок, внедрения энергосберегающих материалов и технологий, а также повышение энергоэффективности, расширение использования возобновляемых источников энергии, обеспечение энергонезависимости удаленных малых населенных пунктов, разработка и реализация проектов в области энергосбережения и энергоэффективности,

в том числе в рамках международного сотрудничества.

Таким образом, эффективным решением проблем, связанных с энергоснабжением в АЗРФ является использование ВИЭ, которые позволят повысить энергетическую безопасность за счет повышения самообеспеченности «местными» топливно-энергетическими ресурсами, снизить потери энергии на транспортировку и распределение энергии за счет приближения объектов производства энергии и потребителей, повысить надежность энергоснабжения и снизить себестоимость электроэнергии у конечного потребителя за счет уменьшения объемов ДТ (северного завоза), повысить экологическую безопасность за счет снижения вредных выбросов в окружающую среду от работающих ДЭС и снижения объемов завоза дизельных бочек. Заместителем Председателя Правительства Российской Федерации Д.Н. Козаком утвержден «План мероприятий по модернизации неэффективной дизельной (мазутной, угольной) генерации в изолированных и труднодоступных территориях» (от 15.08.2019 № 7456п-П9, План мероприятий), на основе которого должны быть определены механизмы по повышению эффективности генерации в изолированных и труднодоступных территориях с использованием решений на базе распределённой генерации, в том числе на базе возобновляемых источников энергии, автономных гибридных энергосистем, систем накопления энергии и прочее. Целью Плана мероприятий является снижение стоимости выработки электрической энергии на труднодоступных и изолированных территориях и, соответственно, объемов межтерриториального и бюджетного субсидирования данного направления.

АЗРФ находится в зоне особенно высокого ветрового потенциала, что создает хорошие предпосылки для его эффективного использования. Технические ветроэнергетические ресурсы (ВЭР) России (без учета ресурсов на островах и оффшорной зоны Ледовитого океана) составляют 6.2×10^{15} кВт·ч /год, из которых значительная часть сконцентрирована в прибрежных северных зонах. Таким образом, применение ветродизельных энергокомплексов (ВДЭС) имеет хорошую перспективу внедрения в районах децентрализованного электроснабжения с достаточным ветроэнергетическим потенциалом в АЗРФ.

Изучен ветроэнергетический потенциал северных территорий, а также состояние существующих ДЭС, в результате чего установлено, что потенциальный рынок ВДЭС с ВЭУ 50 – 100 кВт в северных регионах составляет от 9000 до 18500 модулей для регионов со средней скоростью ветра более 4,5 м/с на высоте 10 м и стоимостью электроэнергии более 15-20 руб/кВт·ч (таблица 2). По оценке Мособлгидропроекта (ПАО «РусГидро») перспективный объем генерации под применение ВДЭС в изолированных энергосистемах с учетом ВЭР может составить 1-2 ГВт. При этом по оценкам РАВИ и WWEA, целесообразный объем мощности ВЭС в изолированных регионах ограничен и составляет от 1 до 5 ГВт в перспективе до 2030 года, и 10 ГВт в долгосрочной перспективе.

Таблица 2 – Модульные ВДЭС с ВЭУ 50-100 кВт

Регион	Количество модулей с ВЭУ 50-100 кВт, шт
Республика Саха	531-926
Архангельская область	71-147
Ханты-Мансийский автономный округ	13-27
Ненецкий автономный округ	168-442
Мурманская область	13-27
Камчатский край	542-1090
Ямало-Ненецкий автономный округ	672-1350
Чукотский автономный округ	171-421

В связи с особыми климатическими условиями в северных районах с преобладающих изолированных энергоснабжением необходимо при проектировании ЭК ВДЭС детально прорабатывать адаптационные мероприятия для бесперебойной и долговечной работы оборудования, осуществлять индивидуальный подход. При составлении технико-экономического обоснования (ТЭО) необходимо при экономическом анализе использовать дополнительно метод определения экономической эффективности капитальных вложений в сравнении с альтернативным способом покрытия спроса.

В работе предложено комплексное использование цифровых технологий для модернизации и проектирования объектов генерации в северных автономных районах, а именно, использование геоинформационных технологий. Геоинформационные системы (ГИС) – одна из ключевых составляющих интеллектуальных технологий в энергетике, которые помогают в решении задач, связанных с энергоэффективностью и энергосбережением, управлением активами и текущей деятельностью, в принятии инженерных и инвестиционных решений. Основные конструктивные показатели за счет применения геоинформационной системы: точность первичных данных за счет многослойности продукта и создания базы данных необходимых для проектирования и оценки эффективности энергокомплексов на базе возобновляемых источников энергии. Таким образом, ГИС должна представлять собой интеграционную платформу, объединяющую и предоставляющую данные, необходимые для анализа и принятия решений информацию, система создает структуру общего видения, необходима для аналитики. Основная задача для разработки проектов по модернизации существующих объектов генерации - создать геоинформационное пространство, способное хранить заложенные в него базы данных, структурировать информацию и интерпретировать ее в слои для определения необходимых показателей проекта, определения места строительства, проведения сравнительных характеристик и т.д. с помощью заложенных баз данных. Модель полезна для предпроектных решений за счет возможности сравнительного анализа и для ТЭО в связи с недостатком подобной информации и баз данных, необходимой для комплексного проектирования энергокомплексов в рассматриваемых арктических и северных территориях.

ГИС необходима для достоверной оценки и учета природно-климатических факторов, влияющих на прогнозную выработку электроэнергии, определения экстремальных и рабочих температурных и силовых нагрузок при проектировании арктических энергетических сооружений, оптимизацию состава оборудования и режимов работы, а также их последующую надежную и эффективную эксплуатацию.

Для моделирования объектов ВИЭ разрабатываемая система должна иметь динамическую, гибкую и масштабируемую структуру, которая использует пространственные и временные данные с высоким разрешением для оценки потенциального энергоснабжения и связанных с этим затрат.

Программное обеспечение ГИС можно разделить на два основных типа:

- 1) универсальные платформы гео-вычислений, такие как ArcGIS (ESRI 2019), Q-GIS (QGIS Development Team 2019) и SuperMap (SuperMap Software Co. 2019);
- 2) специализированные инструменты гео-вычислений, включая Landserf (Wood 2009), TauDEM (Tarboton 2005) и SoLIM (Чжу и др., 2018).

Также, программное обеспечение разработки ГИС можно разделить на три группы:

1. Системы с широкими возможностями, включающими ввод данных, хранение, сложные запросы, пространственный анализ, вывод данных. Такие системы имеют

собственные языки программирования, которые позволяют расширять данную систему функциями пользователей (ArcInfo).

2. Программные компоненты или библиотеки, которые содержат в себе ряд полезных функций (MapObjects, GeoConstructor).

3. Среда разработки ПО на различных языках программирования (Visual C++, Visual Basic, Delphi).

Для дальнейшего использования первичные исходные данные обрабатываются, чтобы исключить области, которые вряд ли будут освоены, такие как городские районы, федеральные охраняемые земли и береговые водные объекты. Для каждого вида ВИЭ сначала определяются участки, непригодные для использования, а потом для пригодных территорий уже выполняются расчеты.

ГИС обладает развитыми средствами обработки и анализа входящих данных с целью дальнейшей их реализации в вещественной форме. Схема аналитической работы ГИС следующая: на первом этапе производится “коллекционирование” как географической (цифровые карты, изображения), так и атрибутивной информации, после чего собранные данные являются наполнением двух баз данных (БД): первая БД хранит картографические данные, вторая же наполнена информацией описательного характера; на втором этапе система обработки пространственных данных обращается к базам данных для проведения обработки и анализа востребованной информации. При этом весь процесс контролируется системой управления БД (СУБД), с помощью которой можно осуществлять быстрый поиск табличной и статистической информации. [33]

Наборы геопро пространственных данных являются основополагающими при обосновании решений в области возобновляемых источников энергии и включают данные о потенциале возобновляемых источников энергии, атмосферные явления и связанные наборы данных, такие как дороги и инфраструктура, политические границы, рельеф и землепользование. Эти наборы данных целесообразно комбинировать для достижения максимальной информативности, так как они различаются по пространственному и временному разрешению, качеству и общей обоснованности применения.

Наборы данных о возобновляемых источниках энергии предоставляют информацию о наличии и интенсивности солнечной, ветровой, геотермальной, гидроэнергии, энергии волн, приливов и биомассы в данном географическом месте, при этом важно учитывать их изменчивость и временные характеристики.

Основные общедоступные базы данных по возобновляемым источникам энергии:

- IRENA Global Energy Atlas;
- веб-сайт Renewable Energy Explorer;
- Lawrence Berkeley National Laboratory MapRE;
- Danish Technical University Global Wind Atlas;
- World Bank Group Global Solar Atlas.

Размер наборов данных о возобновляемых источниках энергии, а также их формат может сильно различаться, но в большинстве случаев данные о ресурсах хранятся в форматах HDF, netCDF5, SAM CSV6 или EPW7.

Наиболее важными факторами или показателями, влияющими на качество данных, являются:

- 1) точность позиционирования (точность местоположения, с которой данные размещаются на карте);
- 2) точность атрибута (описание отображаемых объектов);
- 3) полнота данных;

- 4) своевременность данных (актуальность);
- 5) происхождение данных (как данные были собраны, преобразованы или обработаны);
- 6) доступность данных.

2). Сформирована структура баз данных геоинформационной информации (рисунок

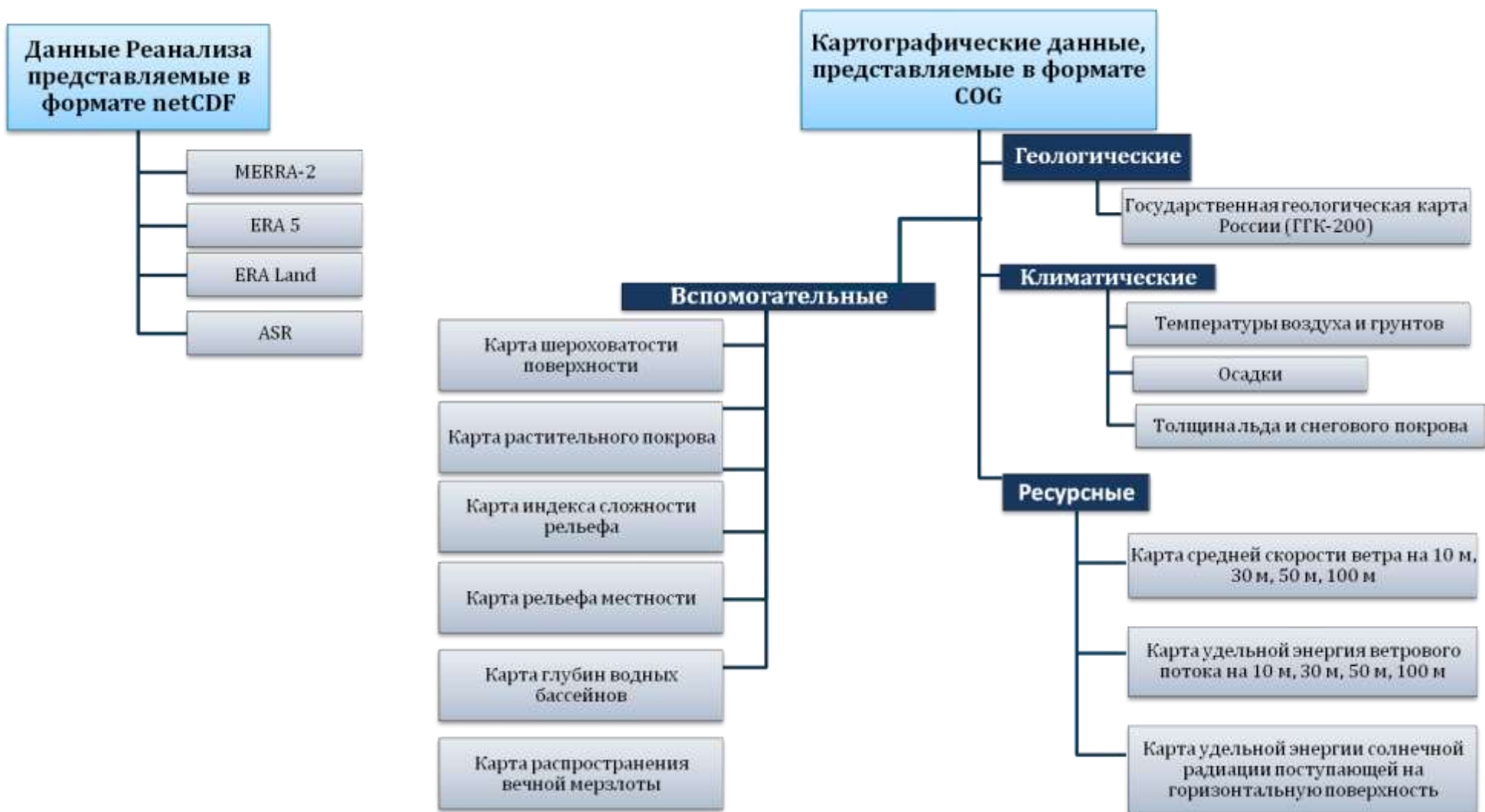


Рисунок 2 (начало) - Структура баз данных геоинформационной информации

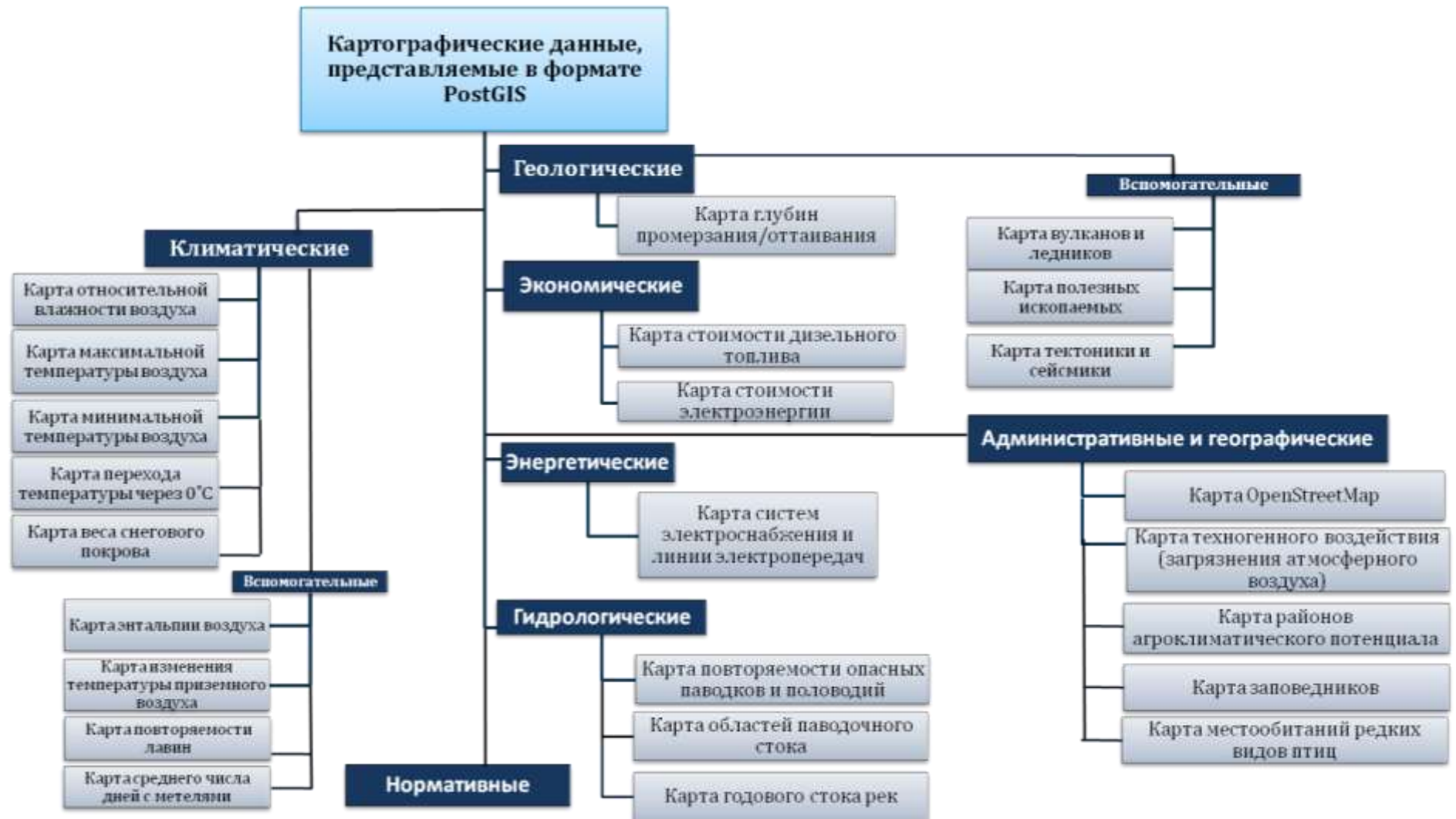


Рисунок 2 (продолжение) - Структура баз данных геоинформационной информации

В рамках исследований был проведен анализ существующего инструментария программных платформ WebGIS, представленный в таблице 2.

Таблица 2 – Рассматриваемый инструментарий

Категория инструментов	Программный продукт	Описание
Виртуальные глобусы	Google Maps, Google Earth, Virtual Earth, ArcGIS Explorer	Использование в качестве клиента как веб-браузер, так и отдельное приложение. <u>Плюсы:</u> имеют доступ по умолчанию к подложке – базе данных <u>Минусы:</u> подложку менять нельзя, следовательно, этим инструментам свойственны проблемы при работе с большими объемами пользовательских данных, настраиваемостью, элементарным анализом (обрезка, пересечение слоев данных).
Пользовательские ГИС	ArcGIS, Mapinfo, QGIS, gvSIG	Данная категория тесно связанная с веб-картографией. Пользовательские ГИС, с одной стороны, являются клиентом работающим с данными поставляемых картографическими веб-серверами, и с другой, в них осуществляется массовая подготовка и анализ данных перед публикацией их в веб.
Картографические веб-сервера	MapServer, GeoServer, OpenLayers и др	семейство продуктов свободного и проприетарного характера, предназначенных для быстрой публикации пользовательских данных в веб. Эти инструменты позволяют создать интерфейс необходимой сложности, интегрировать сервис с базой данных, поддерживающей классы пространственных данных (PostgreSQL, SQL Server, MySQL, ArcSDE). Главное отличие подобных систем от виртуальных глобусов <u>является полный контроль над программным обеспечением и самими данными.</u>

Аналитические методики картографических данных в ГИС мало чем отличаются от методик анализа информации на традиционных картах. Измерение количественных параметров объектов и их математическая обработка являются общепринятыми. Однако расчеты проводятся настолько быстро, что это позволяет за малые интервалы времени проверять огромное число предположений и гипотез и подбирать наиболее подходящие из них.

Выделяют семь ключевых аналитических подходов с использованием геопространственных данных для принятия решений при проектировании объектов ВИЭ: 1. Картирование и визуализация на ранних этапах. 2. Моделирование производительности генератора. 3. Анализ технического потенциала. 4. Моделирование кривой предложения. 5. Анализ экономического потенциала. 6. Моделирование расширения производственных мощностей. 7. Моделирование производственных затрат.

Сопоставление полученных данных через графический интерфейс информационной системы позволяет достоверно оценивать текущее состояние рассматриваемых регионов и принимать решение о целесообразности и эффективности применения технологий энергоснабжения на основе ВИЭ.

Одним из этапов создания цифровой модели в ГИС, это определение необходимого набора слоев пространства. Определены слои пространства, необходимые для проектирования ЭК ВДЭС в северных условиях:

1. Административный слой, содержит информацию о дорогах, административно-территориальном делении, включает данные о населении регионов, площади территорий и тд. Данный слой необходим для принятия предпроектных решений и целесообразности строительства ЭК в выбранном месте с учетом социального развития региона, так же для разработки логистической составляющей проекта, определения необходимых габаритов башни ВЭУ, способа транспортировки, для определения «северного завоза» и тп.
2. Экономический слой, хранит информацию о стоимости завоза дизельного топлива в северные регионы, основываясь на данные из открытых источников, годовых отчетов регионов об энергетическом состоянии и экономическом состоянии, а также включает данные о стоимости электроэнергии и себестоимости электроэнергии в арктических регионах. Слой необходим для экономического обоснования проекта ЭК ВДЭС в указанном регионе, с учетом текущей экономической ситуации.
3. Геологический слой, включает в себя информацию о типе почвы и глубине промерзания грунтов северных регионов, о шероховатости местности. Слой необходим для определения данных о почве и вечной мерзлоте для расчета фундамента и определения его параметров.
4. Энергетический слой, содержит информацию о системе энергоснабжения регионов, о действующих дизельных энергоустановках, их мощности, выработки и информацию о линиях электропередач. Слой необходим для оценки текущего состояния энергоснабжения выбранного региона, для принятия решений о модернизации изношенных ЭК, актуальности строительства новых ЭК в указанной точке, о возможности оптимизации энергоснабжения регионов.
5. Климатический слой, включает информацию о температуре, максимальные, минимальные, среднегодовые, среднесезонные значения, об осадках, и др. Необходим для принятия верных решений о выборе оборудования с учетом низких температур, для принятия решений о дополнительных мероприятиях по защите ЭК от обледенения, для определения потерь в выработке сложных климатических условий и тп.
6. Ресурсный слой, состоит из ветроэнергетических данных, скорости, мощности ветрового потока на высотах 10 м, 50 м, 100 м, а также о направлениях данных потоков. Слой необходим для разработки проектов ВЭС, определения выработки ЭК, оптимальности выбора места строительства, является одним из наиболее важных слоев в разрабатываемом ГИС-пространстве.

При использовании разработанной информационно-аналитической системы пользователь самостоятельно определяет целевую функцию и весовые коэффициенты (формула 1).

$$O = \int (a_1, a_2, a_n) \cdot b_n, \quad (1)$$

где a_1, a_2, a_n – параметры слоев, в указанной точке результирующего слоя, необходимые для расчета (климатические, ветроэнергетические, шероховатости поверхности и др.), b_n – коэффициент, учитывающий параметры энергетической установки, рынок ветродизельных модулей, и время.

Результирующий эффект ГИС – включает все созданные слои с помощью заложенных баз данных (рисунок 3), но в зависимости от запрошенных параметров, визуализирует и выдает данные, необходимые для расчета или принятия решения определенного формата, например, если вместо целевого параметра использовать выработку ветроэнергетической установки, то она будет рассчитана в соответствии с формулой 2.

$$W_{WPP} = (N_{WPP} - P) \cdot T \cdot K_{of} = (c_p \cdot \frac{\rho}{2} \cdot F_R \cdot v^3 - P) \cdot T \cdot K_{of}, \quad (2)$$

где W_{WPP} – выработка энергии ВЭУ, c_p – коэффициент использования энергии ветра, ρ – плотность воздуха, F_R – ометаемая площадь ВЭУ, v – скорость ветра, P – потери из-за особенностей арктического климата (обледенение), T – время работы, K_{of} – весовой коэффициент.

Выработка электроэнергии ВЭУ (W_{WPP}) в конкретной точке определяется согласно созданным слоям и зависит от соответствующих факторов, таких как ресурсы (скорость, мощность ветрового потока, направление), климатические характеристики (температура, влажность, осадки и т.д.), применимые параметры ВЭУ в зависимости от силовых нагрузок, логистических особенностей и существующей строительной инфраструктуры (доступность машин, механизмов, строительных материалов).

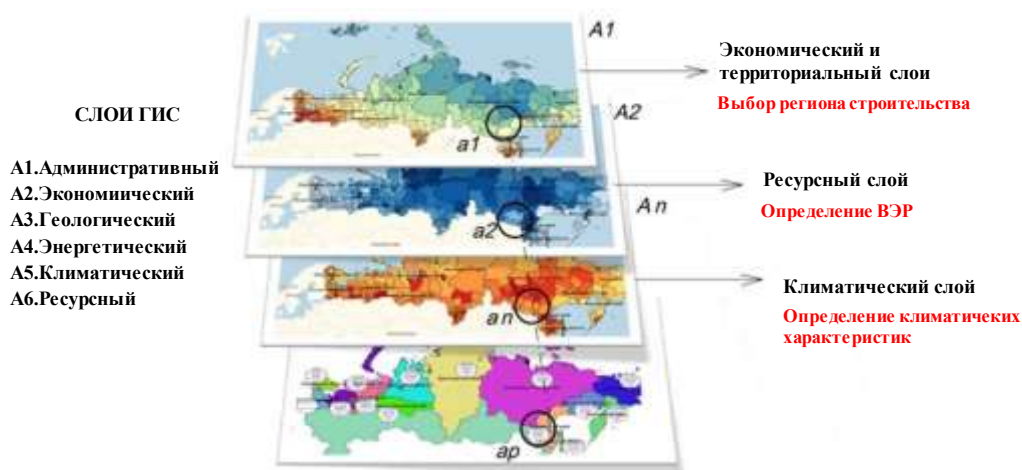


Рисунок 3 - Результирующий эффект многослойности геоинформационного пространства

На примере Камчатского края, входящего в Арктическую зону РФ, созданы административный, энергетический и ресурсный слои в ПК «QGIS» (рисунок 4).

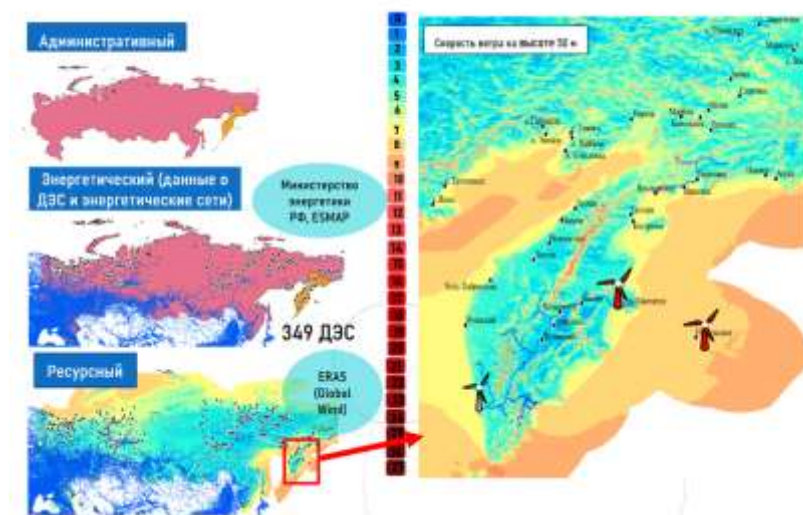


Рисунок 4 - Слой с данными ветра на высоте 50 м на территории Камчатки, с ДЭС и энергетическими сетями, созданный в QGIS с указанием баз данных

Основной целью создания ИГИС (интерактивной геоинформационной системы) является ускорение внедрения и повышение качества технико-экономического обоснования и проектирования энергетических объектов на возобновляемых источниках на территории Крайнего Севера и Арктической зоне РФ. При этом, оперативное и полное представление геоинформационных данных ИГИС о климате, географических условиях и локальных возобновляемых энергоресурсах значительно ускорит реализацию инфраструктурных проектов по всей территории, где есть необходимость в автономном энергоснабжении.

В ПК QGIS разработан алгоритм оцифровки и привязки растровых картографических баз для использования в интерактивной геоинформационной системе (рисунок 5).

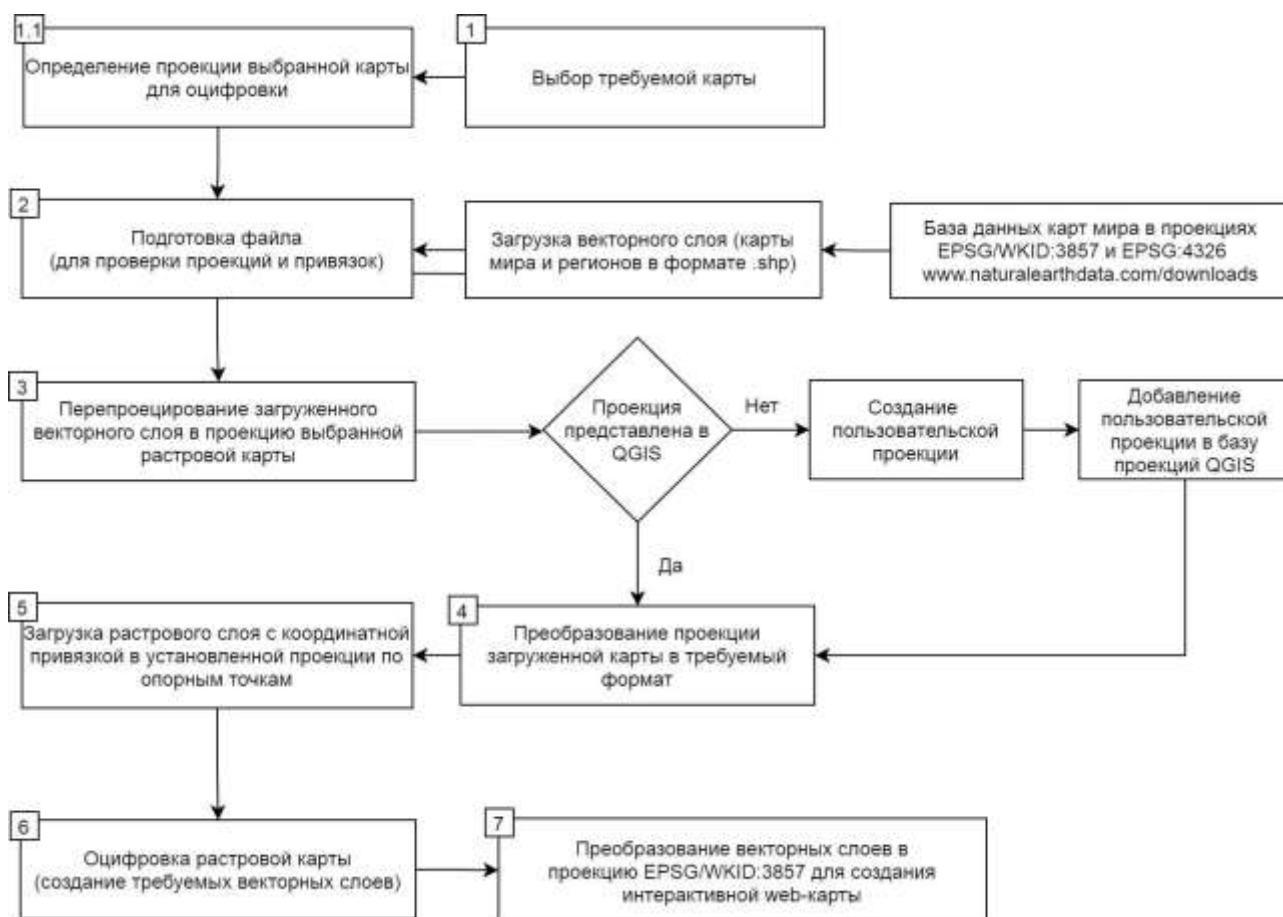


Рисунок 5 – Блок-схема методологии подготовки, оцифровки и привязки растровых картографических баз для использования в интерактивной геоинформационной системе

Для обеспечения хранения данных информационной базы в единой системе координат EPSG/WKID:385 (по умолчанию) реализована процедура «Перепроецирование» выполняющая преобразования из одной системы координат с использованием библиотеки PROJ.4. В качестве каталога predefined проекций подключен ресурс spatialreference.org.

Описание сделано на примере карты районирования территории Российской Федерации по климатическим характеристикам действующего СП 20.13330.2016 «Нагрузки и воздействия», содержащего общие технические требования по назначению нагрузок, воздействий и их сочетаний, учитываемых при расчетах зданий и сооружений по предельным состояниям первой и второй групп, в соответствии с положениями ГОСТ 27751 при строительстве новых, расширении, реконструкции и перевооружении действующих предприятий, зданий и сооружений разработана методология подготовки, оцифровки и привязки растровых картографических баз для использования в интерактивной геоинформационной системе.

Выбор требуемой карты основан на определенных ранее ключевых слоях пространства, необходимых для создания ГИС.

1. Выбор требуемой карты. На первом этапе для оцифровки была выбрана карта районирования территории Российской Федерации по нормативным значениям минимальной температуры воздуха из действующего СП 20.13330.2016 «Нагрузки и воздействия» (рисунок 6)

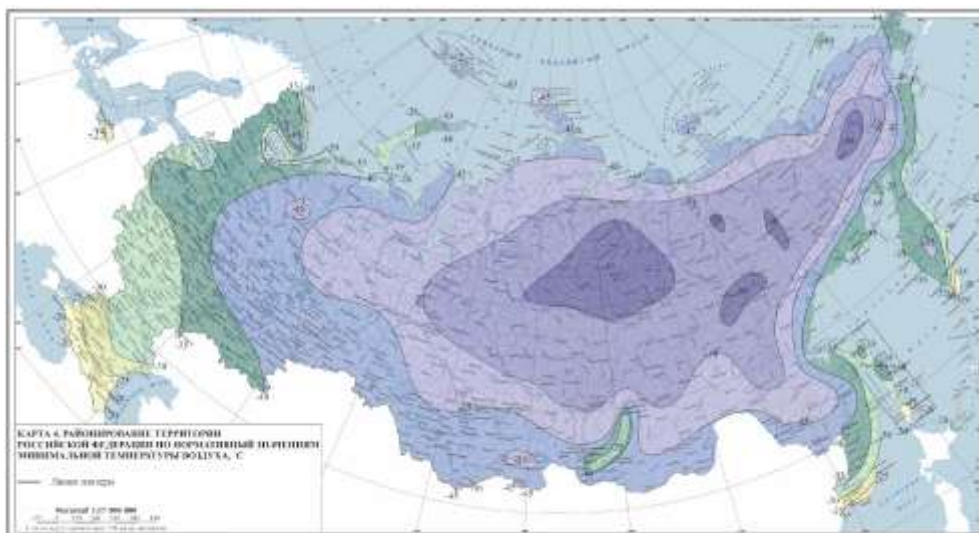


Рисунок 6 - Карта районирования территории Российской Федерации по нормативным значениям минимальной температуры воздуха, °С

Определение проекции выбранной карты для оцифровки. Проекция выбранной для оцифровки карты из СП 20.13330.2016 «Нагрузки и воздействия» – коническая проекция Красовского.

Подготовка файла необходима для проверки проекций и привязок растрового слоя. Для этого из базы данных карт мира в проекциях EPSG/WKID:3857 и EPSG:4326 выполнена загрузка векторного слоя в формате .shp (рисунки 7 и 8).



Рисунок 7 - Базы данных карт мира



Рисунок .8 - Загруженные и отредактированные в QGIS векторные слои карты мира и регионов

2. Перепроецирование загруженного векторного слоя в проекцию выбранной растровой карты. Если загруженный векторный слой имеет проекцию, отличную от требуемой, то необходимо выполнить перепроецирование векторного слоя. При этом, если в QGIS не представлена требуемая проекция, ее необходимо создать и добавить в базу проекций.

Загруженный векторный слой имеет проекцию EPSG/WKID:3857.

Так как в базе проекций QGIS нет требуемой проекции, то она была создана и добавлена в базу проекций с помощью следующего кода (рисунок 9):

```
+proj=eqdc +lat_0=54 +lon_0=100 +lat_1=49 +lat_2=68.5 +x_0=0 +y_0=0
+ellps=krass +towgs84=23.92,-141.27,-80.9,-0,0.35,0.82,-0.12 +units=m +no_defs
```



Рисунок 9 – Определение пользовательской системы координат

3. Далее выполнено преобразование проекции загруженной карты в требуемый формат.

4. Загрузка растрового слоя с координатной привязкой в установленной проекции по опорным точкам. Загрузка растрового слоя выполнена через привязку растрового изображения по характерным точкам, которые привязывают растр к загруженному ранее векторному слою в проекции Красовского (рисунок 10). Выполнить корректировку привязанных точек можно через дополнительно загружаемый модуль «freehand raster georeferencer».

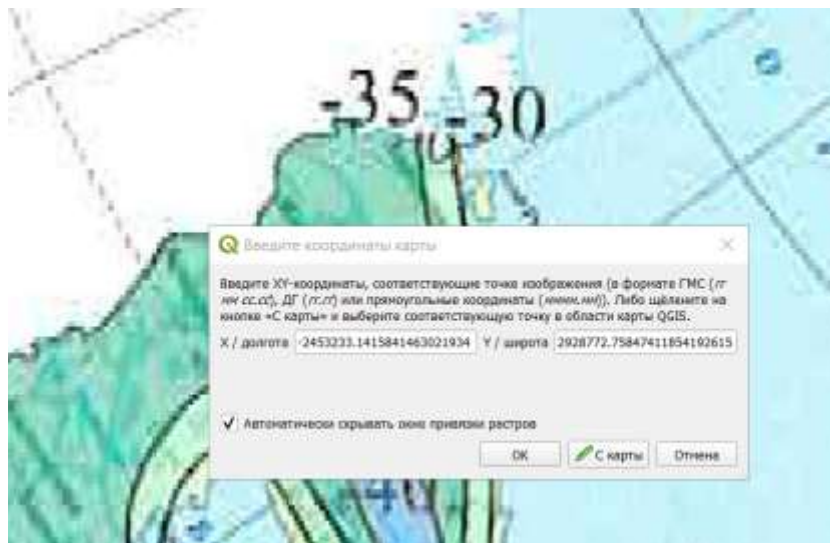


Рисунок 10 – Привязка растрового слоя с использованием функции «С карты»

После привязки растрового изображения и указания параметров трансформации выполнена автоматическая привязка растрового слоя (рисунок 11). Для уменьшения погрешности привязки потребовалось указание большего количества характерных точек.



Рисунок 11 – Результат привязки растрового слоя в проекции Красовского

5. Оцифровка растровой карты выполнена путем создания требуемых векторных слоев. После создания нового шейп-файла выполнено добавление полигонов (обрисовка) с помощью команды «полигон», при этом каждый диапазон температур располагается на новом слое, исключая наложение слоев друг на друга с помощью инструментов редактирования (рисунок 12).

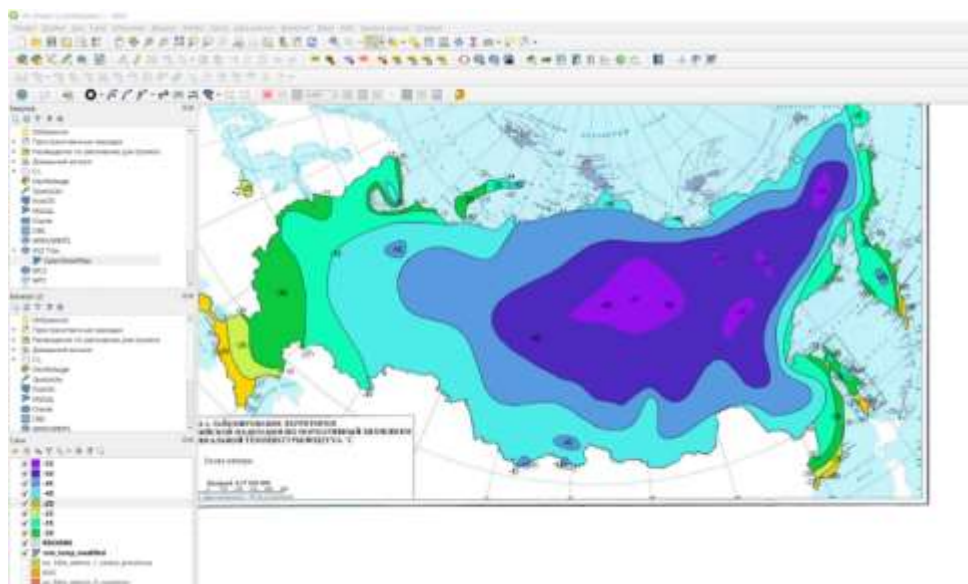


Рисунок 12 – Результат оцифровки растровой карты

6. Преобразование векторных слоев в проекцию EPSG/WKID:3857 для создания интерактивной web-карты. Выполнено изменение проекции на используемую в Google картах EPSG/WKID:3857 (принята как базовая). Таким образом, все созданные ранее слои изменили свою проекцию на заданную (рисунок 13).

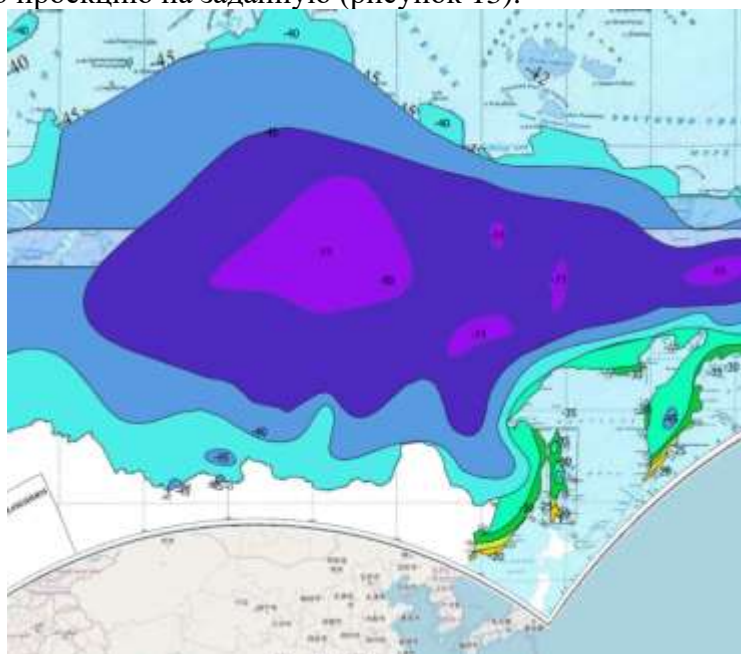


Рисунок 13 – Результат преобразования векторных слоев в проекцию EPSG/WKID:3857

Также в работе, выполнена привязка растровых карт в проекции Альберса (коническая равновеликая) на примере карты «Особо охраняемые природные территории федерального значения России» (рисунок 16). Код проекции представлен на рисунке 15.

Albers-Siberia

Projection: Albers Equal-Area Conic

Units: Meters

Spheroid: Krasovsky

Central meridian: 105

Standart Parallel 1: 52

Standart Parallel 2: 64

Reference Latitude: 0

False Easting: 18500000

False Northing: 0

```
PROJ.4: +proj=aea +lat_1=52 +lat_2=64 +lat_0=0  
+lon_0=105 +x_0=18500000 +y_0=0 +ellps=krass  
+units=m +towgs84=28,-130,-95,0,0,0,0 +no_defs
```

```
MapInfo: "Albers-Siberia", 9, 1001, 7, 105, 0, 64, 52,  
18500000, 0
```

Рисунок 15 – Код описания проекции Альберса

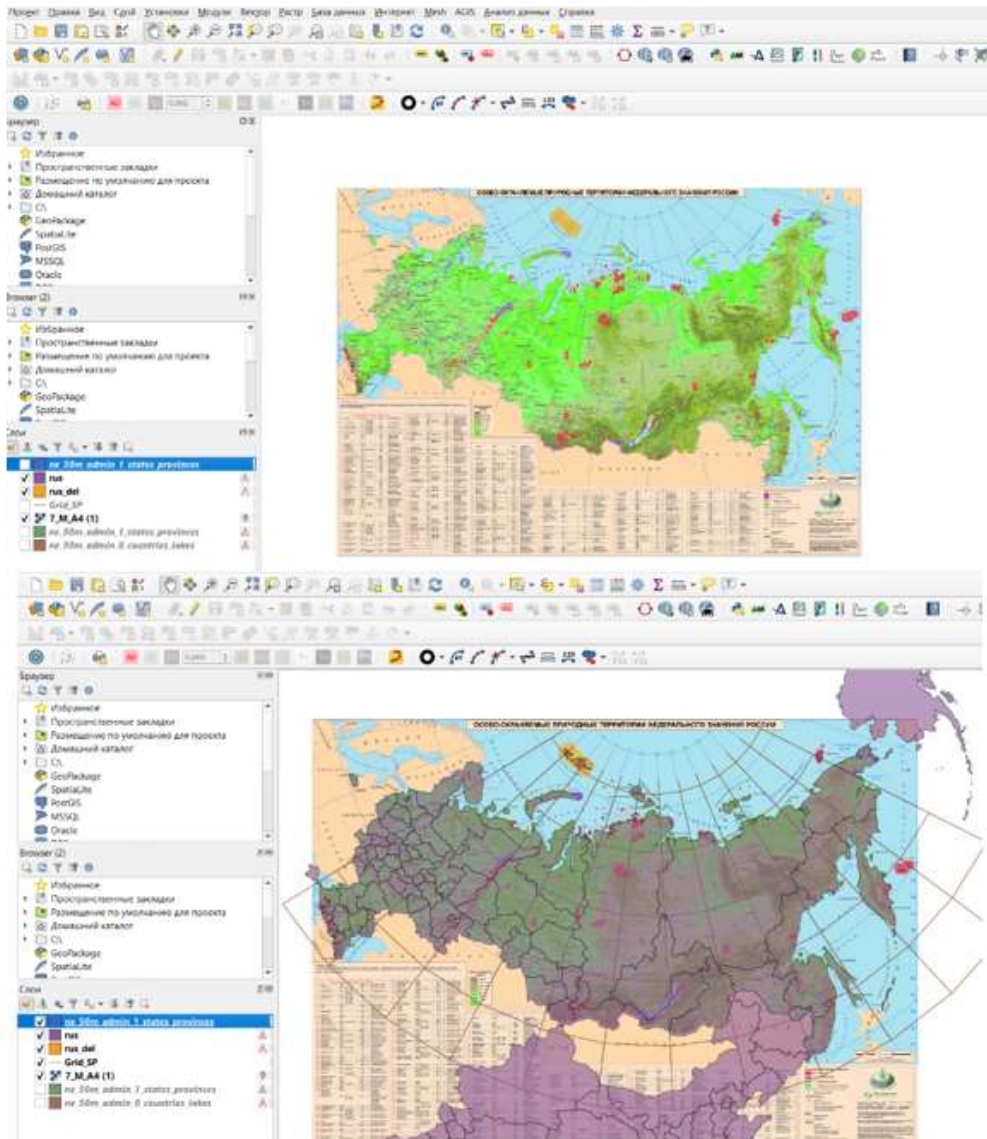


Рисунок 16 – Привязанная растровая карта в проекции Альберса

Разработанные (оцифрованные) карты для интерактивной геоинформационной системы «Арктика»

В работе выполнена оцифровка следующих растровых карт в проекции Альберса:

- Карта гололедно-изморозевых отложений (рисунок 17);
- Карта годового количества осадков (рисунок 17)
- Карта среднего количества дней с метелями (рисунок 18)
- Карта районирования территории РФ по толщине стенки гололеда, состоящая из четырех фрагментных карт (рисунок 18).

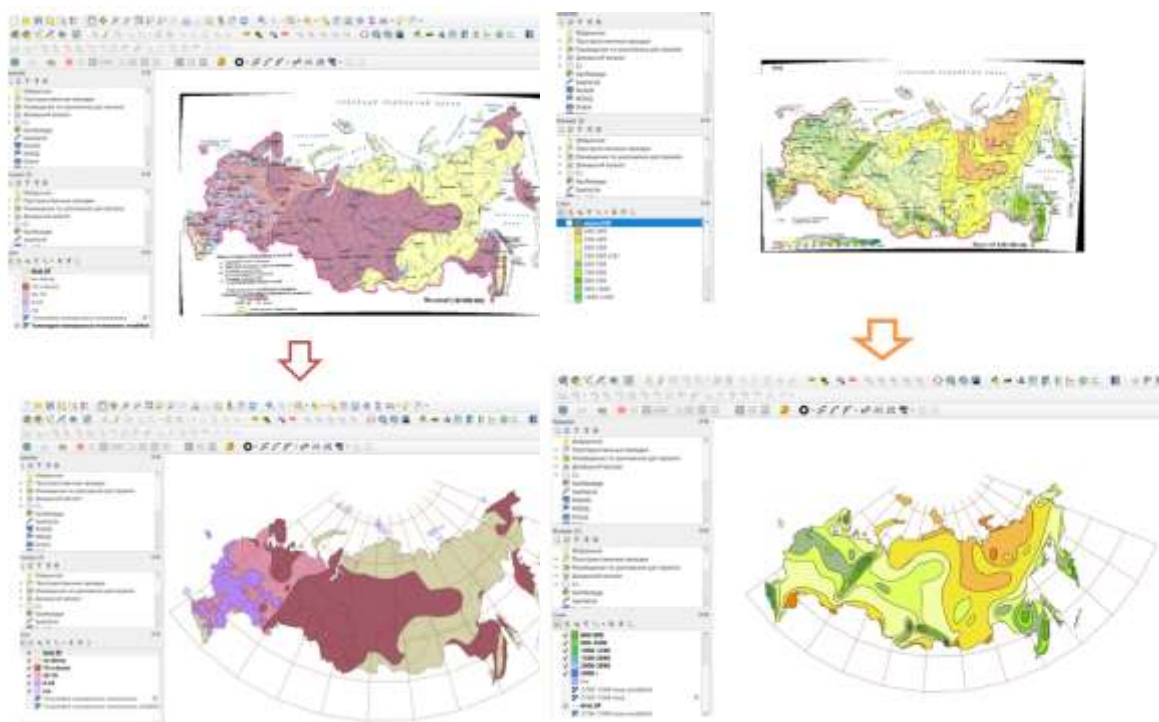


Рисунок 17 –Оцифрованная карта гололедно-изморозевых отложений, оцифрованная карта годового количества осадков (читать слева направо)

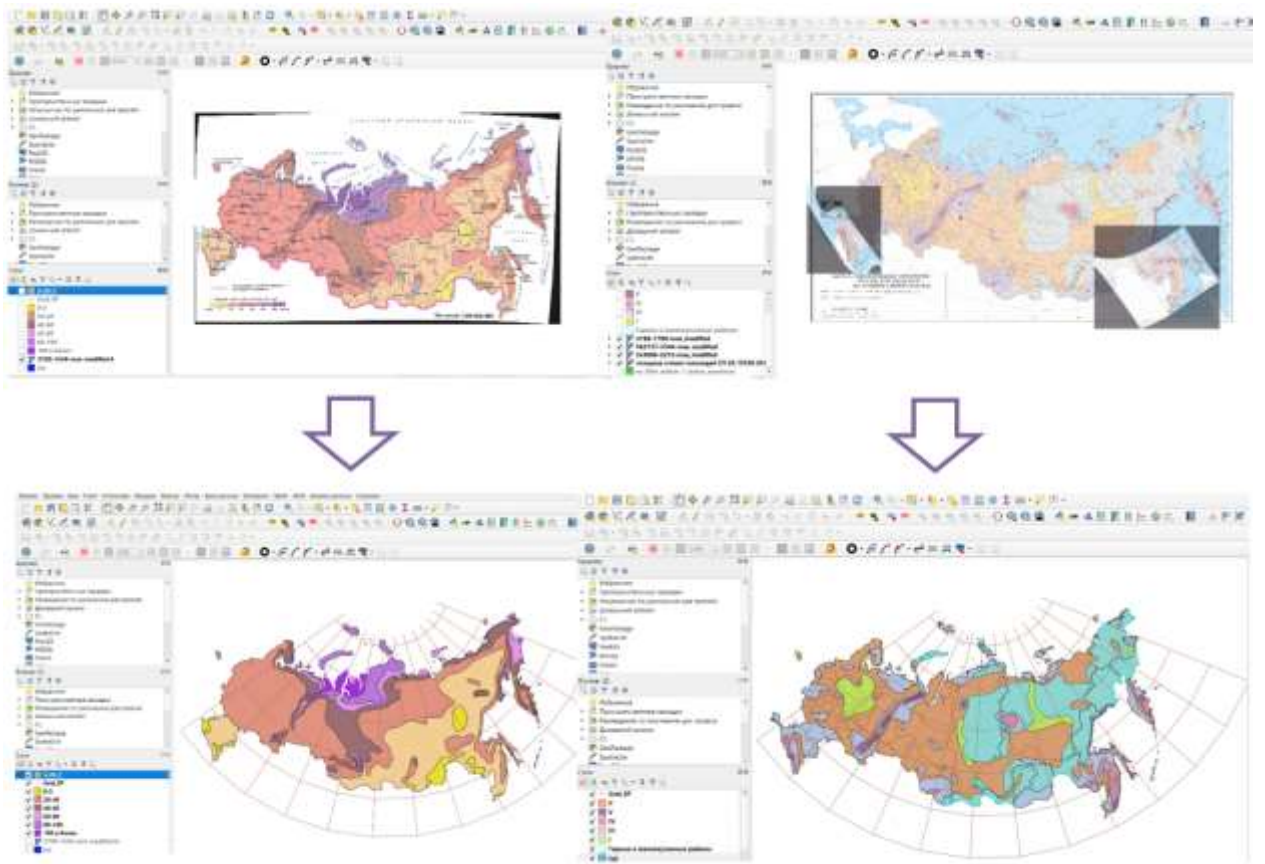


Рисунок 18 –Оцифрованная карта среднего количества дней с метелями, оцифрованная карта районирования территории РФ по толщине стенки гололеда (читать слева направо)

В работе разработан способ точной привязки растровой карты с помощью картографической сетки GeoJSON - формата представления различных структур географических данных (рисунок 19). Сетка представляет сеть параллелей и меридианов на карте с координатной привязкой характерных точек пересечения.

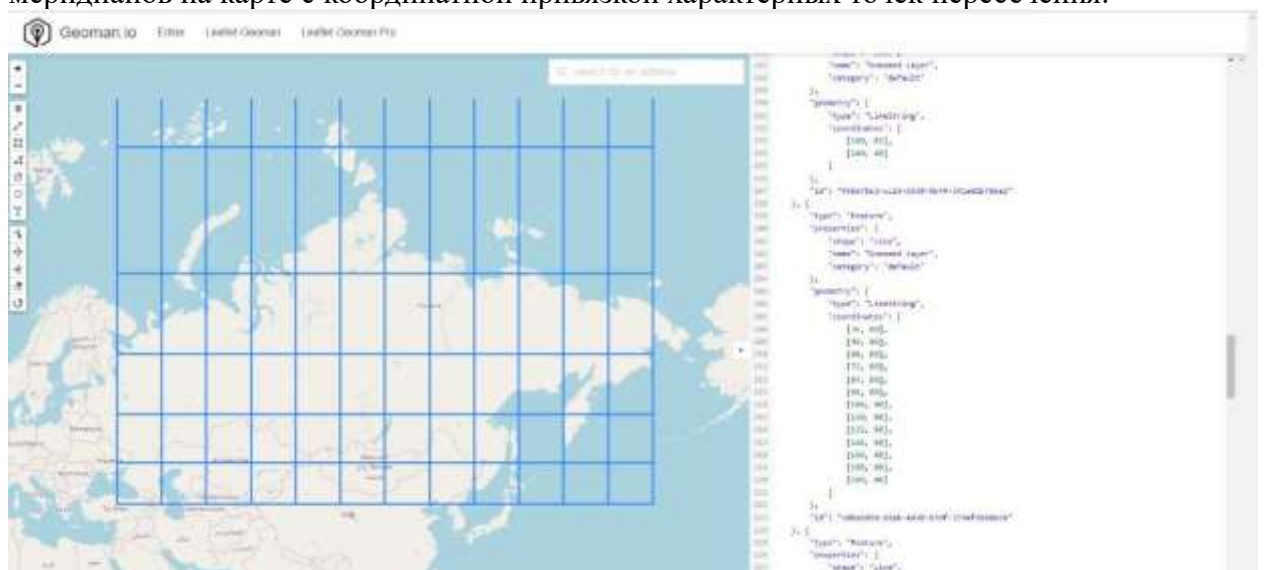


Рисунок 19 – Создание картографической сетки GeoJSON в редакторе Geoman.io

При импорте разработанной сетки GeoJSON в ПК QGIS присваивается проекция

проекта (рисунок 20), сетка автоматически трансформируется за счет координатной привязки.

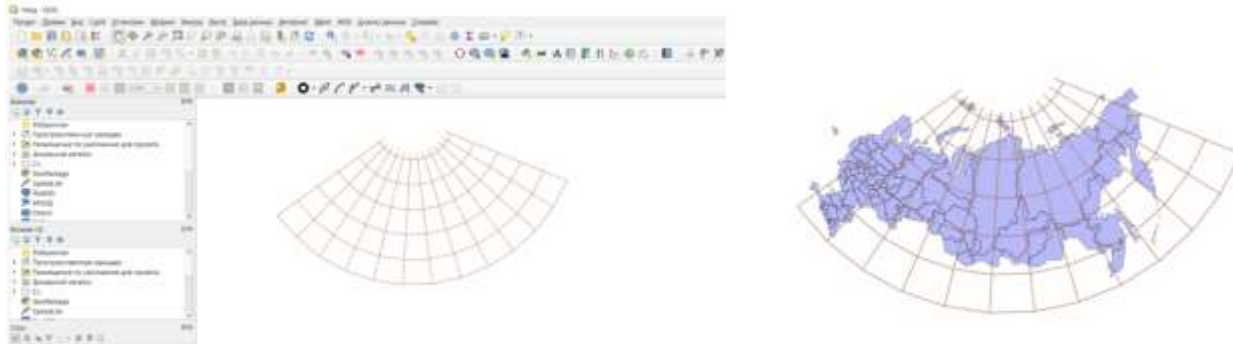


Рисунок 20 – Трансформация картографической сетки GeoJSON в проекцию проекта (проекция Альберса)

Точность привязки растровых карт, имеющих картографическую сетку, осуществляется по разработанному алгоритму (последовательность представлена на рисунке 21 - рисунке 23 на примере привязки растровой карты максимальных температур воздуха из СП 20.13330.2016). При добавлении изображения карты в проект в ПК QGIS, необходимо привязать пересечения параллелей и меридианов к проекции проекта, см. рисунок 21 – 23.



Рисунок 21– Добавление растровой карты в проект



Рисунок 22 – Добавление привязки к растру

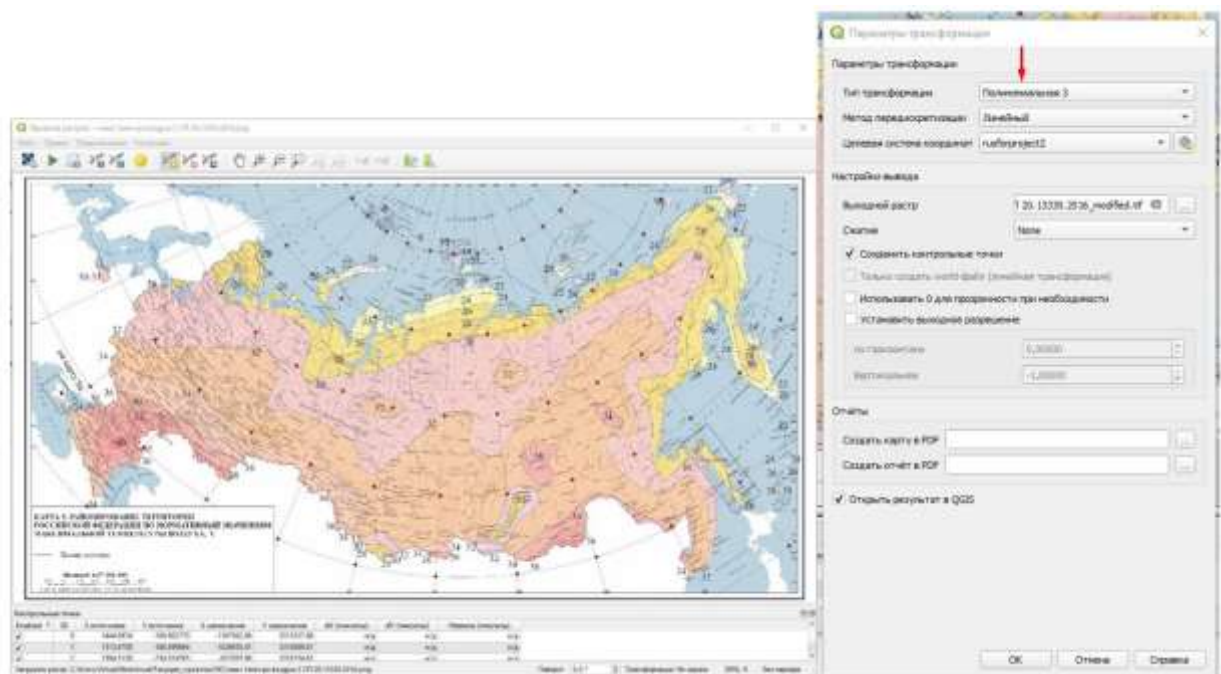


Рисунок 23 – Параметры трансформации при привязке растра

При настройке параметров трансформации растровой карты для оцифровки необходимо установить следующие характеристики: Тип трансформации «Полиномиальная 3», Метод передискретизации «Линейный», Целевая система координат- необходимая в проекте. Контрольные точки – углы «квадратов» сетки.

При настройке свойств слоя необходимо в параметрах интерполяции установить «Ближайший сосед» при увеличении и уменьшении (рисунок 24).

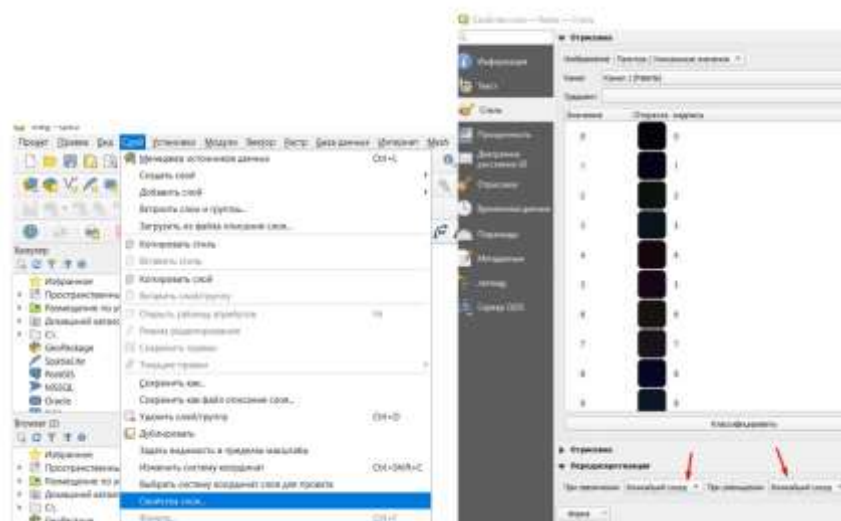


Рисунок 24 – Свойства слоя

Таким образом, если растровая карта содержит картографическую сетку, то для точной привязки следует использовать разработанный алгоритм с запроецированной сеткой GeoJSON. При отсутствии картографической сетки, следует осуществлять привязку по характерных точкам, таким как границы районов, города и тд к подложке – загруженная карта в требуемой проекции.

На рисунке 25 приведен пример отображения слоев в разрабатываемой web-ГИС.

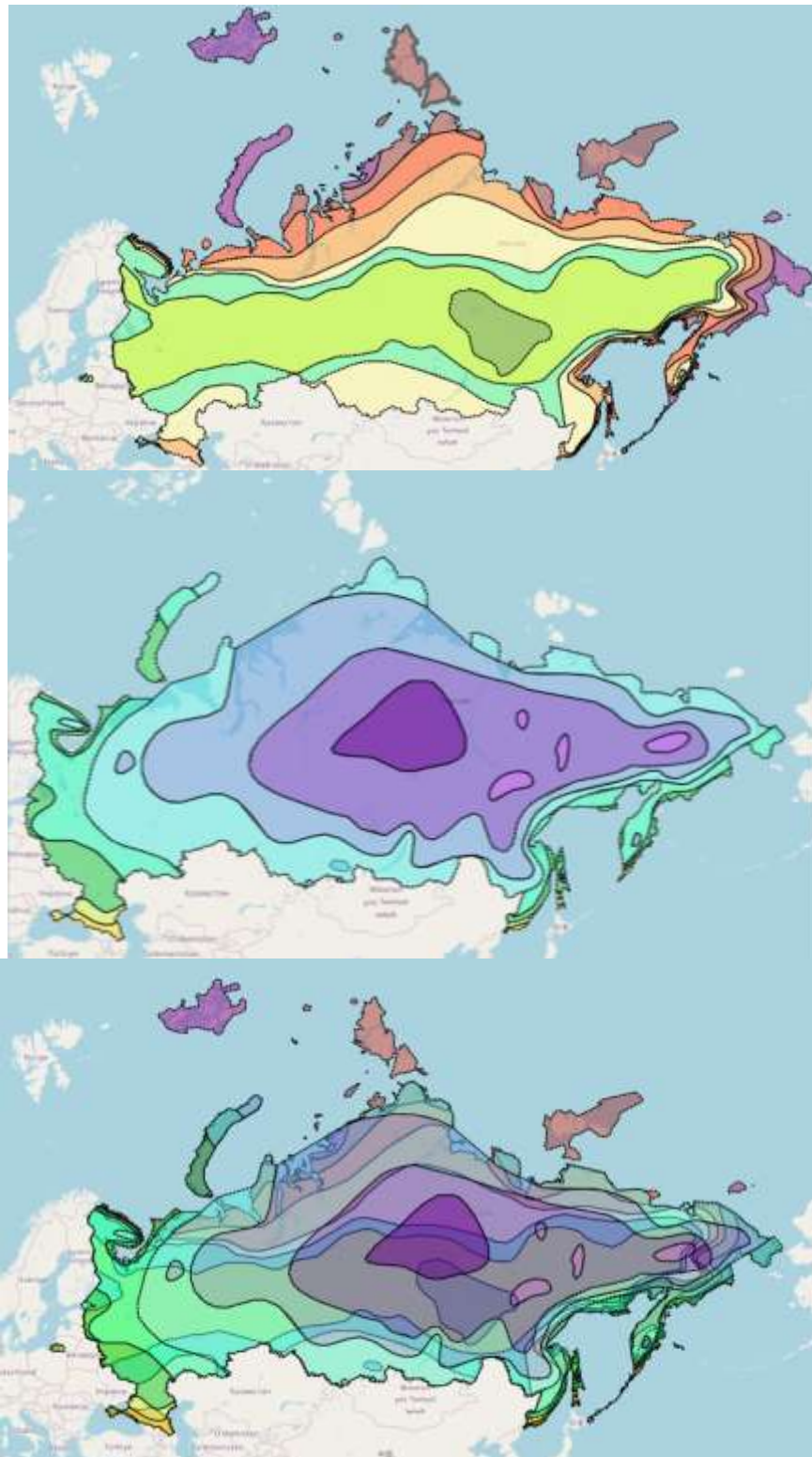


Рисунок 25 – Слои в разрабатываемой web-ГИС: слой ветроэнергетического потенциала; слой минимальной температуры; наложение слоев

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Данный проект способствует решению ряда задач в сфере энергоснабжения северных автономных регионов, включая экономический и экологический эффект от использования объектов возобновляемой энергетики. Наиболее эффективным решением глобальных экологических и климатических проблем является внедрение возобновляемых источников энергии. Стратегия развития автономного энергоснабжения на основе развития цифровых технологий в северных регионах заключается в проектировании преимущественно энергетических объектов ВИЭ-ДЭС с помощью разрабатываемой геоинформационной системы, которая позволяет интегрировать необходимые данные, определять параметры и экономическую эффективность проектов, проводить сравнительный анализ, а также позволяющий оценить экологический эффект. В проекте представлены следующие результаты:

1. Проведен анализ существующих геоинформационных систем на рынке программного обеспечения и выделены наиболее передовые и универсальные программные продукты, такие как ArcGIS и QGIS для создания цифровой модели.

2. Проанализированы базы данных и определены необходимые параметры для создания интерактивной геоинформационной системы, в том числе основные общедоступные базы данных по возобновляемым источникам энергии.

3. Сформированы и структурированы требования к информационно-аналитическим системам для принятия проектных решений сооружения арктических объектов: разрабатываемая система должна иметь динамическую, гибкую и масштабируемую структуру, базы данных, заложенные в геоинформационную систему, должны являться основополагающими и достаточными при обосновании генерирующего объекта с использованием ВИЭ; определены факторы и показатели, влияющие на качество данных :точность позиционирования; точность атрибута; полнота данных; своевременность данных (актуальность); происхождение данных; доступность данных.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Анализ нынешнего положения изолированных систем энергоснабжения с высокими затратами на энергию - [Электронный ресурс] URL: http://www.cenef.ru/file/Discussion_paper1.pdf
2. Лукин Ю. Ф. Арктическая энциклопедия: население Арктики - [Электронный ресурс] URL: <https://narfu.ru/university/library/books/1400.pdf>
3. Елистратов В.В. Возобновляемая энергетика. - СПб: Наука, 2016.
4. Стратегия развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2020 года – [Электронный ресурс] URL <http://static.government.ru/media/files/2RpSA3sctElhAGn4RN9dHrtzk0A3wZm8.pdf>
5. Основы государственной политики РФ в Арктике на период до 2020 года – [Электронный ресурс] URL <http://static.government.ru/media/files/A4qP6brLNI175I40U0K46x4SsKRHGfUO.pdf>
6. Перспективы глобального перехода к возобновляемой энергетике – [Электронный ресурс] URL: https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/1900916_GSR_2019_Perspectives_Russian.pdf
7. Касина В.И., Богун И.В. Стратегия развития использования возобновляемых источников энергии//Сборник материалов V Всероссийской конференции молодых ученых, специалистов, аспирантов и студентов. Саяногорск, Черемушки, 2018, стр. 456-464.
8. Касина В. И. Перспективы развития энергоснабжения изолированных территорий России// Неделя науки СПбПУ: материалы научного форума с международным участием. Инженерно-строительный институт, 2017, стр.318-321.
9. Касина В. И. Проблемы энергоснабжения изолированных территорий России и их решение с помощью ВИЭ// Энерго- и ресурсосбережение. Энергообеспечение. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии: Материалы Международной научно-практической конференции, Екатеринбург, 2017, стр.791-794.
10. Касина В.И. Использование геоинформационных систем при создании проектов в ветроэнергетике// Неделя науки СПбПУ: материалы научного форума с международным участием. Инженерно-строительный институт, 2018, стр.110-112.
11. Elistratov V.V., Bogun I.V., Kasina V.I. Optimization of Wind-Diesel Power Plants Parameters and Placement for Power Supply of Russia's Northern Regions Consumers 2019 16th Conference on Electrical Machines, Drives and Power Systems, ELMA 2019 – Proceedings, № 8771647. DOI: 10.1109/ELMA.2019.8771647
12. V.V Elistratov, I.V Bogun, V.I Kasina. Development of a Geoinformation System for the Design of Wind Power Facilities in the Russian Arctic Conditions. 4th International Scientific Conference “Arctic: History and Modernity”. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 302 (1), 2019, 012064. DOI:10.1088/1755-1315/302/1/012064
13. Power system rganizational structures for the renewable energy era- [электронный ресурс] URL: https://www.irena.org//media/Files/IRENA/Agency/Publication/2020/Jan/IRENA_Power_system_structures_2020.pdf
14. Постановление правительства РФ «О внесении изменений в перечень районов Крайнего Севера и приравненных к ним местностей с ограниченными сроками завоза грузов (продукции) от 6 декабря 2016 г. № 1305- [Электронный ресурс] URL: <https://legalacts.ru/doc/postanovlenie-pravitelstva-rf-ot-06122016-n-1305-o-vnesenii/>
15. Министерство энергетики – [Электронный ресурс] URL: <https://minenergo.gov.ru/node/16540>
16. Power system 29rganizational structures for the renewable energy era- [электронный

- ресурс] URL: https://www.irena.org//media/Files/IRENA/Agency/Publication/2020/Jan/IRENA_Power_system_structures_2020.pdf
17. Renewable capacity statistics 2019 – [электронный ресурс] URL: https://irena.org//media/files/irena/agency/publication/2019/mar/irena_re_capacity_statistics_2019.pdf
18. Макроэкономический обзор: Достигнет ли Россия мировых показателей по инвестициям в возобновляемую энергетику? – [электронный ресурс] URL: <https://investvitrina.ru/articles/makroekonomicheskii-obzor-dostignet-li-rossiya-mirovyh-pokazatelei-po-investitsiyam-v-vozobnovlyaemuu-energetiku-ecb5cc50-fe65-4ac4-b10a-46d15b3fdb9/>
19. Renewable power generation costs in 2018 – [электронный ресурс] URL: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/May/IRENA_Renewable-Power-Generations-Costs-in-2018.pdf
20. Перспективы глобального перехода к возобновляемой энергетике – [Электронный ресурс] URL: https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/1900916_GSR_2019_Perspectives-Russian.pdf
21. Отчет о функционировании ЕЭС России в 2019 году – [электронный ресурс] URL: https://www.so-cdu.ru/fileadmin/files/company/reports/disclosure/2020/ups_rep2019.pdf
22. Обзор российского ветроэнергетического рынка и рейтинг регионов России за 2019 год – [электронный ресурс] URL: <https://rawi.ru/windpower/market-report/report-2019/>
23. Стратегия развития АЗРФ и обеспечения национальной безопасности на период до 2020 года – [Электронный ресурс] URL: <http://static.government.ru/media/files/2rpsa3sctelhagn4rn9dhrtzk0a3wzm8.pdf>
24. Quantum GIS, Руководство пользователя - [Электронный ресурс] URL: <https://gisgeography.com/qgis-arcgis-differences/>.
25. Мыльников Д. Ю. Геоинформационные платформы - [Электронный ресурс] URL: https://www.politerm.com/articles/obzor_gis.pdf
26. Elistratov V.V. et al 2010 Climate factors of renewable energy sources (St. Petersburg: Science) p. 235.
27. Starkov A.N., Landberg L., Besroukikh P.P., Borisenko M.M. 2000 Russian Wind Atlas (Moscow: Mozhaysk-Terra) p. 560
28. Nikolaev V.G., Ganaga S.V., Kudryashov Yu.I. 2008 Nationalnyy kadastr vetroenergeticheskikh resoursov Rossii I metodicheskie osnovy ih opredeleniya (Moscow: Atmograf) p. 584
29. Suranjana S. et al 2012 The NCEP Climate Forecast System Reanalysis Bulletin of the American Meteorological Society, Vol. 91, pp. 1015–1057
30. Elistratov V.V., Kudryasheva I.G., Pilipets P.A. 2015 Energy efficient solutions of power supply in north regions Applied Mechanics and Materials. Vol. 725-726, pp. 1463-1469.
31. Methodology global wind atlas - [Электронный ресурс] URL: <https://globalwindatlas.info/about/method>
32. ENERGYDATA.INFO – [Электронный ресурс] URL: <https://energydata.info/>
33. А.Г. Рымаров, К.И. Лушин, В.В. Смирнов. геоинформационные системы для возобновляемых источников энергии. Учебное сетевое электронное издание/ НИУ МГСУ, 2015