

Санкт-Петербургский государственный университет

**ЭПОВА Екатерина Игоревна**  
**Выпускная квалификационная работа**  
**СОЗДАНИЕ ГЕОИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ**  
**«ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА И**  
**ЛЕНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ»**

Основная образовательная программа магистратуры  
«Геоинформационное картографирование»  
Профиль «Геоинформатика»

Научный руководитель: д.т.н.,  
профессор БАДЕНКО Владимир Львович

Рецензент: к.т.н., доцент СПбГПУ,  
ПАНФИЛОВ Александр Алексеевич

Санкт-Петербург  
2018

## Оглавление

ВВЕДЕНИЕ.....	4
ГЛАВА 1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ СОЗДАНИЯ ГЕОИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ «ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА И ЛЕНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ» .....	13
1.1    Анализ результатов исследований и опыта использования ГИС-технологий в области возобновляемой энергетики.....	13
1.2.    Проектирование концепции геоинформационной системы «Возобновляемые источники энергии Санкт-Петербурга и Ленинградской области» .....	20
ГЛАВА 2. МЕТОДИКА ОЦЕНКИ РЕСУРСОВ И ПОТЕНЦИАЛОВ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ НА ТЕРРИТОРИИ САНКТ- ПЕТЕРБУРГА И ЛЕНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ.....	26
2.1. Оценка ресурсов возобновляемых источников энергии на территории Санкт- Петербурга и Ленинградской области.....	26
2.1.1. Оценка ветроэнергетических ресурсов .....	31
2.1.2. Оценка солнечных ресурсов .....	35
2.1.3. Оценка гидроэнергетических ресурсов.....	38
2.2. Методики расчетов энергетического потенциала возобновляемых источников энергии.....	41
2.2.1. Ветроэнергетический потенциал .....	41
2.2.2. Потенциал солнечной энергии .....	45
2.2.3. Потенциал гидроэнергии малых рек .....	47
ГЛАВА 3. СТРУКТУРА ГЕОИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ «ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА И ЛЕНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ» И РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ .....	50
3.1.    Представление данных солнечных ресурсов Санкт-Петербурга и Ленинградской области в ГИС.....	53
3.2.    Представление данных ветрового ресурса в ГИС «Возобновляемые источники энергии Санкт-Петербурга и Ленинградской области».....	61
3.3.    Факторы ограничений и предпосылок для размещения установок ВИЭ .....	66

3.4 Алгоритм принятия решений. Апробация, применение и демонстрация единичного пакета.....	74
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	79
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	81
ПРИЛОЖЕНИЯ .....	88
Приложение 1. ....	88

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность темы исследования.** На сегодняшний день возобновляемые источники энергии (далее - ВИЭ) являются перспективным направлением развития мировой энергетики. Экономика переходит в новое «безресурсное состояние», характеризующееся снижением энергопотребления и взаимным проникновением «природного» и «технологического» компонентов.

На пленарном заседании форума «Российская энергетическая неделя» 4 октября 2017 г. президент страны В.В. Путин обозначил наиболее важные с точки зрения российской стороны тренды, которые будут определять общее энергетическое будущее всего человечества. По оценкам экспертов уже через 20 лет человечеству потребуется на 30% больше энергии, чем сегодня. Это связано с развитием мировой экономики, с ростом населения на планете, с повышением качества жизни и уровня потребления, особенно в развивающихся странах. На форуме было отмечено, что в настоящее время до 2 млрд. человек на планете еще не имеют полноценного доступа к источникам энергии. Большинство же членов энергетического сообщества сходятся во мнении, что в ближайшие 20-25 лет ведущую роль в энергодбалансе XXI века будут играть углеводороды, а ожидаемый рост будет наблюдаться в межтопливной конкуренции, и прежде всего традиционных и новых источников энергии. Президент отметил, что «практически все развитые страны взяли курс на развитие чистой энергетики, в том числе возобновляемых источников» ([www.tass.ru/ekonomika/4617725](http://www.tass.ru/ekonomika/4617725) Режим доступа: 12.05.2018).

Участники гайдаровского форума «Россия и мир: цели и ценности» (16-18 января 2018 г.) подчеркивали, что в настоящее время требуются новые технологические уклады, интеграция передовых технологий из разных сфер человеческой практики ([www.gaidarforum.ru/](http://www.gaidarforum.ru/)). Такие возможности, на наш взгляд, предоставляет интеграция знаний в области географии, наук о земле, информационных технологий, энергетики.

В Российской Федерации принята и реализуется российская государственная программа «Энергосбережение и повышение энергетической эффективности на период до 2020 года» (далее – Программа), утвержденная распоряжением Правительства РФ от 27 декабря 2010 года N 2446-р (Программа «Энергосбережение и повышение энергетической эффективности», 2010). В 2013 году Программа была дополнена пунктами о «стимулировании развития использования возобновляемых источников энергии», что свидетельствует об актуальности данной проблемы. Под стимулированием развития использования ВИЭ понимаются решения о механизме стимулирования использования

возобновляемых источников энергии путем оплаты мощности квалифицированных генерирующих объектов в объеме производства электрической энергии (пункт 2 статья 32 №35-ФЗ «Об электроэнергетике», 2007).

Одним из наиболее важных вопросов развития возобновляемой энергетики является вопрос о месте размещения установок ВИЭ. Ответом на него служат разработки геоинформационных систем (далее – ГИС ВИЭ), которые представляют собой удобное и наглядное средство (карты с оценками эффективности использования установок возобновляемой энергетики для энергообеспечения области) для анализа возможностей размещения энергообъектов ВИЭ с учетом ограничивающих факторов при выборе возобновляемых источников, природных и экономических возможностей региона.

**Степень разработанности проблемы исследования.** Определение теоретических и организационно-методических основ развития возобновляемой энергетики, размещения установок ВИЭ в условиях применения ГИС находятся в фокусе внимания современных исследователей. У зарубежных специалистов-энергетиков уже имеется успешный опыт применения ГИС-технологий в энергетической отрасли (Coppin, Ayotte, 2003; Baban, Parry, 2014; Ñeteler, Mitasova, 2008; Walt, Lou, 2009; Jimenez, Monnich, Durante, 2012; Pelland, Maalouf, 2016; Cherni, Henaou, 2007; Yue, Wang, 2006; Lopez, Roberts, 2012; Van Hoesen, Letendre, 2010; Aydin, Kentel, 2013).

В исследованиях российских ученых активно изучаются особенности применения ГИС при принятии управленческих решений по энергетическому развитию территорий. В работах В.Л. Баденко анализируются вопросы эффективного поиска участков территории для размещения ВИЭ, сравнения участков в среде ГИС с целью принятия наиболее эффективного управленческого решения и удовлетворения требованиям инвестора. Исследователь предлагает подход к оценке экологических рисков и представляет результаты анализа экологических рисков в ГИС на основе нечетких множеств, при этом подчеркивает роль ГИС, способной задействовать уникальные возможности человеческого мозга по визуальному выявлению пространственных связей и отношений при анализе изображения (модели) территории, которые пока трудно поддаются алгоритмизации.

В работах Ю.Ю. Рафиковой, 2015 посвященных геоинформационному картографированию ресурсов возобновляемых источников энергии на примере Юга России, также подчеркивается сложность визуального наглядного отображения в удобной для анализа форме данных исследований для принятия обоснованных технических и управленческих решений в области развития возобновляемой энергии. Исследователь предлагает осуществлять районирование территорий по степени пригодности ресурсов

ВИЭ с целью выбора наиболее перспективных площадок для развития возобновляемой энергетики.

В Российской Федерации реализуются проекты по созданию ГИС ВИЭ. Так, в 2009 году совместно с географическим факультетом МГУ им. М.В. Ломоносова (лаборатория возобновляемых источников энергии (НИЛ ВИЭ)) и Объединенным институтом высоких температур РАН (лаборатория возобновляемых источников энергии) был начат проект «Геоинформационная система «Возобновляемые источники энергии России» (ГИС ВИЭР) (<http://gisre.ru/>), работа над которым продолжается и на сегодняшний день. Основная идея проекта заключается в оценке возможностей и эффективности использования ВИЭ для энергообеспечения потребителей в различных регионах страны.

Следует отметить, что в некоторых регионах РФ существуют благоприятные предпосылки для организации процесса применения и развития ВИЭ, среди которых природные и технические ресурсы территории (Исследования Юга России – Акишин, 2006; Брылев, 1995; Гридасов, 2011; Киселева, 2010; Рафикова, 2015; Gapon, Batlev, 2013).

Однако разработка региональных систем поддержки принятия решений по размещению объектов возобновляемой энергетики в форме информационно-аналитической геоинформационной системы нуждается в дальнейшем развитии.

В Северо-Западном федеральном округе России, где расположен один из крупнейших городов Европы — Санкт-Петербург, а также такой быстро развивающийся регион, как Ленинградская область, существуют как возможность, так и целесообразность использования ВИЭ: солнечного излучения, гидроэнергии малых рек, энергии ветра, геотермальной энергии, а также энергии, содержащейся в накопленной растительной биомассе и других отходах сельского хозяйства. В целом, проблема выявления территорий с максимальным потенциалом для размещения установок ВИЭ является актуальной для Санкт-Петербурга и Ленинградской области. В этой связи возникает необходимость разработки системы поддержки принятия решений по размещению объектов возобновляемой энергетики в форме информационно-аналитической геоинформационной системы для данного региона.

Таким образом, актуальность предлагаемой магистерской работы определяется состоянием научной разработанности проблемы исследования на сегодняшний день, необходимостью проведения исследований, раскрывающих теоретико-методологические и прикладные аспекты *создания региональных геоинформационных систем по размещению возобновляемых источников энергии, с учетом ограничивающих факторов, природных и экономических возможностей региона.*

**Актуальность исследования** определяется также необходимостью разрешения противоречий между глобальным, социальным, политическим и предметным уровнями:

- тенденцией развития и применения возобновляемых источников как социально-экономического заказа государства в условиях мирового тренда ограниченных ресурсов, развития возобновляемой энергетики и отсутствием современных технологических решений по размещению объектов возобновляемой энергетики на базе геоинформационных технологий;

- объективной потребностью государства в эффективном применении возобновляемых источников, развития возобновляемой энергетики и недостаточным количеством исследований о научных закономерностях, принципах, идеях, составляющих концептуальную и организационно-технологическую основу принятия управленческих решений по размещению объектов возобновляемой энергетики в РФ;

- необходимостью разработки методики расчетов ресурсного потенциала возобновляемых источников региона, в том числе методики выбора возобновляемых источников, интерактивных карт и баз данных климатических характеристик действующих объектов возобновляемой энергетики СПб и ЛО и отсутствием таковых в настоящее время;

- потребностью в разработке концепции и структуры геоинформационной системы «Возобновляемые источники энергии Санкт-Петербурга и Ленинградской области» (ГИС ВИЭ СПб и ЛО) и отсутствием таковой.

Совокупность указанных противоречий определила **проблему исследования**: какова структура геоинформационной системы «Возобновляемые источники энергии Санкт-Петербурга и Ленинградской области» (ГИС ВИЭ СПб и ЛО), выступающей концептуальной и организационно-технологической основой для принятия управленческих решений по размещению объектов возобновляемой энергетики с учетом природных и экономических возможностей региона, а также ограничивающих факторов? Разработка ГИС открывает возможность представления в наглядной форме (карты с оценками эффективности использования установок возобновляемой энергетики для энергообеспечения области) большого объема информации и данных по возобновляемой энергетике, а также верификацию этих данных.

Обозначенные противоречия и проблема позволили сформулировать тему и цель предпринятого нами исследования.

**Тема исследования:** «Создание геоинформационной системы «Возобновляемые источники энергии Санкт-Петербурга и Ленинградской области»».

**Цель исследования** – разработать систему поддержки принятия решений по размещению объектов возобновляемой энергетики в форме информационно-аналитической геоинформационной системы «Возобновляемые источники энергии Санкт-Петербурга и Ленинградской области».

**Объект исследования** - местоположения возобновляемых источников энергии.

**Предмет исследования** – свойства ВИЭ, которые определяют создание и наполнение ГИС «Возобновляемые источники энергии Санкт-Петербурга и Ленинградской области».

***Задачи исследования:***

1. Систематизировать и обобщить теоретические и эмпирические исследования, рассматривающие содержание и характеристики использования ГИС–технологий в области теоретических и практических вопросов размещения объектов возобновляемой энергетики.

2. Обобщить и систематизировать данные по предмету исследования, а именно по ветроэнергетике, солнечной энергетике, малой гидроэнергетике, а также выявить факторы ограничений и предпосылки для размещения установок, в совокупности выступающие основой для разработки методики расчетов энергетического потенциала возобновляемых источников энергии для исследуемой территории в среде ГИС.

3. Проанализировать существующие методики расчетов ресурсного потенциала ВИЭ для территории СПб и ЛО, методики выбора местоположения возобновляемых источников, интерактивные карты и базы данных климатических характеристик, действующих объектов возобновляемой энергетики СПб и ЛО, для определения региональной специфики размещения объектов возобновляемой энергетики.

4. Разработать концепцию и структуру ГИС ВИЭ СПб и ЛО, выступающей организационно-технологической основой для принятия управленческих решений по размещению объектов возобновляемой энергетики с учетом ограничивающих факторов, природных и экономических возможностей региона.

5. Разработать интерфейс, наглядно представляющий совокупность программных средств и функций, графических элементов, тематических карт, методов, правил и протоколов взаимодействия компонентов предлагаемой ГИС и методов работы пользователя ГИС ВИЭ СПб и ЛО.

6. Верифицировать разработанную геоинформационную систему «Возобновляемые источники энергии Санкт-Петербурга и Ленинградской области».

**Методологическую и теоретическую основу исследования** составляют фундаментальные исследования в области картографии и геоинформатики, а также теоретические подходы и идеи:

- фундаментальные работы в области картографии и геоинформатики, а именно: общегеографическое обоснование карт, базирующееся на работах К.А. Салищева, А.М. Берлянта, С.В. Чистова, Т.В. Верещака, А.А. Медведева, В.И. Стурмана, А.И. Прасоловой и др. Геоинформационная составляющая опирается на разработки Е.Г. Капралова, Б.А. Новаковского, А.В. Кошкарева, И.К. Лурье;

- методы системного подхода к решению вопросов размещения ВИЭ в виде разработки ГИС ВИЭ СПб и ЛО как совокупности ее компонентов, взаимосвязанных с внешней средой (природные, экономические, социальные возможности региона, ограничивающие факторы для размещения ВИЭ), а также рассмотрение ГИС ВИЭ СПб и ЛО как совокупности ее внутренних компонентов и элементов, составляющих данную систему и ее структуру;

- работы отечественных и зарубежных авторов по вопросам применения ГИС-технологий в энергетической области и возобновляемой энергетике: В.Л. Баденко – анализ экологических рисков в ГИС на основе нечетких множеств; В.Н. Филатов, С.Л. Присяжнюк – автоматизированная поддержка принятия решения на базе ГИС; Ю.Ю. Рафикова – районирование и методика картографического обеспечения комплексной региональной оценки ресурсов ВИЭ, геоинформационное картографирование природного и технического энергопотенциала и др.

- методические разработки и публикации по исследуемой проблеме.

Для решения поставленных задач использовался следующий комплекс **методов исследования:**

- общенаучные методы: различные виды теоретического анализа научной и методической литературы по проблеме исследования, в том числе сравнительно-сопоставительный анализ, системно-структурный, формально-логический, статистический;

- методы обработки полученных данных: методы качественного и количественного анализа, графической интерпретации.

- методы: геоинформационный, картографический, математико-картографического моделирования, по теории баз данных, автоматизированному картографированию с применением геоинформационных систем.

Для оценок ресурсного потенциала территорий Санкт-Петербурга и Ленинградской области использованы: картографический метод исследования, методы комплексного и атласного картографирования.

**Использованные материалы (информационная база).** В качестве исходных данных в работе использованы:

- спутниковые базы данных;
- карты распределения солнечной радиации, приходящей различным образом на ориентированные поверхности ([www.globalsolaratlas.info](http://www.globalsolaratlas.info));
- карты распределения результатов динамического моделирования солнечных установок, ветровых установок, гидроустановок ([www.gisre.ru](http://www.gisre.ru));
- работы Главной геофизической обсерватории им. А. И. Воейкова;
- данные NASA «Surface meteorology and Solar Energy», а также средние многолетние данные метеорологических наблюдений на метеостанциях Северо - Запада России (суммарная солнечная радиация на горизонтальную поверхность; суммарная солнечная радиация на наклонную поверхность; прямая солнечная радиация на нормальную поверхность; средняя скорость ветра на высоте 10 и 50 метров; повторяемость скорости ветра на высоте 50 м; среднемесячная скорость ветра на высоте 50, 100, 150 и 300 метров над поверхностью земли);
- региональные программы и пилотные проекты в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности;
- статистическая информация об электропотреблении населения, демографических характеристиках, предоставляемая федеральной службой государственной статистики РФ;
- данные об объектах возобновляемой энергетики на территории РФ, собираемые в рамках проекта создания ГИС «ВИЭ России», выполнения работ научно-исследовательской лаборатории возобновляемых источников энергии географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова.

**Теоретическая значимость исследования:**

- разработана и научно-обоснована геоинформационная система «Возобновляемые источники энергии Санкт-Петербурга и Ленинградской области», определена ее структура и содержательное наполнение компонентов;

- внесен вклад в разработку теории ГИС (предпринята попытка и предложена концепция и структура ГИС ВИЭ СПб и ЛО);

- обеспечено привлечение научного внимания к проблемам возобновляемых источников;

- установлен и обоснован тот факт, что эффективность ВИЭ зависит от региона, его климатических и иных особенностей, а также от целесообразности возведения энергообъекта.

**Практическая значимость исследования** определяется тем, что:

- разрабатываемая ГИС ВИЭ может быть ценной при выборе инвестором/пользователем решения для реализации проекта в области возобновляемой энергетики;

- по результатам исследования проведен анализ социальных, экономических и экологических факторов выбора местоположения объекта ВИЭ, а также практические шаги или пакет (состав) работ в рамках реализации ГИС ВИЭ;

- разработка системы поддержки принятия решений по размещению объектов возобновляемой энергетики в форме информационно-аналитической геоинформационной системы «Возобновляемые источники энергии Санкт-Петербурга и Ленинградской области» позволит определить ограничивающие факторы для выбора возобновляемых источников, создать интерактивные карты Санкт-Петербурга и Ленинградской области.

**Апробация и внедрение результатов** исследования обеспечивались выступлениями на международных, всероссийских научно-практических конференциях. Основные положения выпускной квалификационной работы магистранта нашли отражение в 3 научных статьях:

1. Баденко В.Л., Эпова Е.И., Концепция создания геоинформационной системы «Возобновляемые источники энергии Санкт-Петербурга и Ленинградской области» // Сборник материалов II международной научно-практической конференции 08-10 ноября 2017 г. «Геодезия, картография, геоинформатика и кадастры. От идеи до внедрения», Санкт-Петербург – СПб.: Политехника, 2017. - С. 500-504.

2. Эпова Е.И. Теоретические и методологические аспекты создания системы поддержки принятия решений по развитию нетрадиционной энергетики в форме информационно-аналитической геоинформационной системы «Возобновляемые источники энергии Санкт-Петербурга и Ленинградской области». XXIV Международная научно-практическая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Ломоносов», Москва, 10-14 апреля 2017 г.

3. Эпова Е.И. Теоретические и методологические аспекты создания геоинформационной системы «Возобновляемые источники энергии Санкт-Петербурга и Ленинградской области». Международная научно-практическая конференция для

студентов, аспирантов и молодых ученых «Теория и практика современных географических исследований», посвященной 220-летию выдающегося русского мореплавателя, географа, вице-председателя Русского географического общества Ф.П. Литке в рамках XIII Большого географического фестиваля. – СПб: Свое издательство, 2017. - С 551-553.

***Структура и объем работы.*** Работа состоит из введения, трех глав, заключения, списка литературы и 1 приложения. Общий объем работы составляет 87 страниц, включает 6 таблиц и 39 рисунков. Список литературы содержит 80 наименований.

# ГЛАВА 1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ СОЗДАНИЯ ГЕОИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ «ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ САНКТ- ПЕТЕРБУРГА И ЛЕНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ»

## 1.1. Анализ результатов исследований и опыта использования ГИС- технологий в области возобновляемой энергетики

Проблемы оценки эффективности и возможности использования возобновляемых источников энергии в регионах, где осуществляются проекты возобновляемой энергетики, возможно решить с помощью внедрения геоинформационных технологий для визуального ненаглядного отображения данных в удобной для анализа форме. (Новаковский, Прасолова, 2012; Рафикова, Киселева, 2014).

Анализ, хранение и отображение обширных массивов данных осуществляется путем применения инструментария геоинформационных систем. Возможности преобразования и обновления информации позволяют пользователю в полном объеме моделировать и производить оценки по различным видам источников энергии.

Проекты по разработке ВИЭ, использующие геоинформационные технологии, широко распространены по всему миру. Успешный опыт использования ГИС-технологий в области возобновляемой энергетики уже представлен у зарубежных специалистов-энергетиков (США, Канада, Нидерланды, Германия и др.). Анализ многочисленных факторов при реализации проектов по выбору мест для размещения объектов возобновляемой энергетики, учет экологических и технических возможностей выбранной территории, интегрирование полученных данных с помощью методов геоинформатики осуществлены в работах Coppin, Ayotte, 2003; Baban, Parry, 2014; Ćeteler, Mitasova, 2008; Walt, Lou, 2009; Jimenez, Monnich, Durante, 2012; Pelland, Maalouf, 2016; Cherni, Henaou, 2007; Yue, Wang, 2006; Lopez, Roberts, 2012; Van Hoesen, Letendre, 2010; Aydin, Kentel, 2013. Так, геоинформационная система национального уровня «Renewable resources map and data», созданная в Национальной лаборатории ВИЭ США (NREL USA), обеспечивает данные по ресурсам возобновляемых источников энергии для США и других стран (<http://www.nrel.gov/gis/about.html>). NREL прогнозирует возможность использования возобновляемых ресурсов и сетевых условий, преобразует измерения в оперативную информацию для поддержки сетевых операций и планирования.

ГИС «Renewable resources map and data» охватывают большой спектр возможностей:

- Калибровка, измерение и характеристика ресурсов солнечной энергии;
- Моделирование ресурсов солнечной энергии;
- Прогнозирование солнечной энергии;
- Разработка национальных и международных стандартов и распространение передовой практики;
- Обучение и наставничество в области мониторинга солнечной энергии (Эти ресурсы используются для разработки и планирования систем возобновляемых источников энергии. С 1981 года исследователи NREL постоянно собирают информацию о солнечном излучении, данные с высоким разрешением с интервалом до 1 секунды от первоклассных радиометров и фотодиодных датчиков Всемирной метеорологической организации);
- Проектирование, испытание, эксплуатация и использование ветрового дистанционного зондирования для улучшения работы ветряных электростанций;
- Моделирование на турбине, ветряных установках в региональных масштабах для поиска ресурсов, оценки ресурсов, проектирования установок и их эксплуатации, исследований интеграции сетей. NREL исследует проектирование и эксплуатацию дистанционного измерения ветра или зондирования, такие технологии, как LIDAR, SODAR и RADAR, а также традиционные измерения ветра с использованием наземных станций и вышек. Также проводят исследования и разработки по моделированию ветров в масштабах от отдельных турбин до ветровых станций для целых континентов с рядом разрешений;
- Возможности машинного обучения и анализ данных для создания краткосрочных прогнозов;
- Моделирование с использованием PLEXOS, математического инструмента оптимизации для моделирования систем электроэнергетики, воды и газа;
- Визуализация ветровой энергии для направления вопросов и обратной связи во время отраслевых встреч;
- Возможности проведения оценки геотермального потенциала с использованием Enhanced Geothermal Systems (EGS) и на основе расчетной стоимости электроэнергии;
- Представление информации об энергии биомассы в виде интерактивных карт для сравнения исходного сырья биомассы, биоэнергетики и биотоплива по месту нахождения (<https://maps.nrel.gov/bioenergyatlas/>).

Поскольку солнечная энергия и энергия ветра становятся все более привлекательной в использовании, то прогнозирование, которое интегрировано в системы управления энергией, становится все более ценным для операторов энергосистем, что в дальнейшем приводит к необходимости использования ГИС-продуктов для решения поставленных задач комплексного использования возобновляемых ресурсов энергии.

ГИС «Renewable resources map and data» имеет открытый свободный доступ для пользователя через Интернет. Вся информация представлена в виде разноплановых карт и баз данных по ресурсам солнечной, ветровой, геотермальной энергии, а также энергии биомассы. Также с помощью программного обеспечения, представленного на сайте, пользователь может работать не только с картами, но и с отдельными слоями, используя возможности комбинирования.

На сегодняшний день данные по ресурсам солнечной энергии представлены следующим ГИС-продуктом - Национальной базой данных солнечной радиации (NSRDB) (рис. 1.).

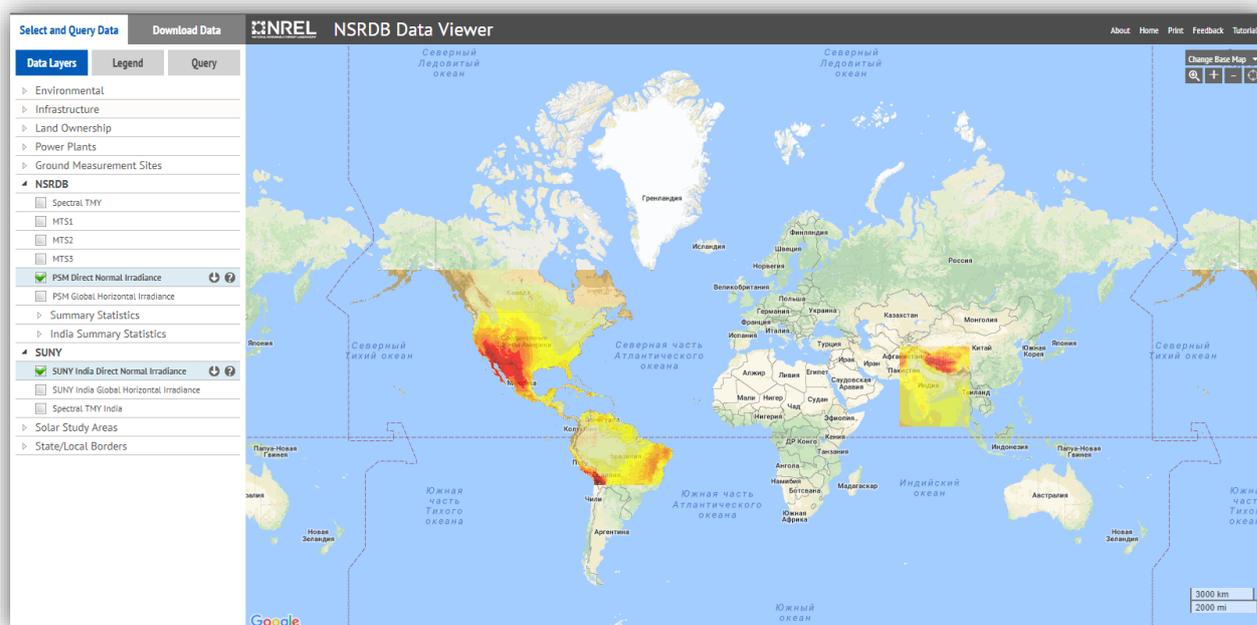


Рис. 1. NSRDB Viewer - интерактивное веб-приложение ГИС для визуализации, изучения и загрузки полных данных о солнечных ресурсах (<https://nsrdb.nrel.gov/nsrdb-viewer>)

По данным о ветровых ресурсах в открытом доступе созданы и используются Национальный атлас ветровых ресурсов США и база данных по ветровой энергии западной и восточной частей США. Наборы данных об интеграции восточной ветроэнергетики и наборы данных западной ветроэнергетики, которые включают метеорологические условия и мощность турбины для более чем 126 000 объектов на 2007-

2013 годы, обеспечивают энергетическую отрасль последовательным набором профилей ветра для проведения исследований и оценки производства электроэнергии на гипотетических ветровых электростанциях (Habte, Sengupta, 2017, Stackhouse, Zhang, 2008).

На сайте Национальной лаборатории ВИЭ США представлены методики получения данных и их расчеты, а также флагманский инструмент Explore Renewable Energy Data, который облегчает принятие решений, определение инвестиции и развертывание возобновляемых источников энергии с помощью динамичного онлайн-аналитического инструмента. Однако в данном проекте не учитываются возможные ограничивающие факторы, способствующие помочь пользователю учесть рекомендации по выбору места для размещения установок объектов возобновляемой энергетики ([www.re-explorer.org](http://www.re-explorer.org)).

Бесплатные ГИС-пакеты интерактивного веб-приложения NSRDB Viewer доступны не только для территории США, но и для Афганистана, Бангладеша, Ганы, Индии, Индонезии, Центральной Азии, Кении, Мексики, Непала, Пакистана, Филиппин (<https://nsrdb.nrel.gov/nsrdb-viewer>).

Интересным для рассмотрения является коммерческий геоинформационный продукт 3TIER Renewable Energy ([www.3tier.com](http://www.3tier.com)), который позволяет производить оценку ресурсов солнечной и ветровой энергии, используя данные спутниковых наблюдений и результаты численного моделирования с учетом свойств поверхности и рельефа местности. Важным критерием для работы является актуальная база данных, которая постоянно обновляется (<http://www.vaisala.ru>).

В 2013 году Vaisala приобрела 3TIER, ведущую консалтинговую компанию в области возобновляемых источников энергии. Методология ГИС включает в себя все ведущие климатические индексы и многочисленные данные наблюдений, чтобы учитывать влияние окружающих погодных воздействий, а также возможных убытков, связанных с созданием проекта. Vaisala также использует передовой подход для расчета погрешностей проекта с помощью собственной модели ошибок «Error Risk Framework», которая позволяет клиентам объективно принимать решения между вариантами возможных проектов и лучше обосновывать инвестиции и затраты (Jimenez, Monnich, 2012).

Информация о прогнозе поставляется с помощью настраиваемого интерфейса приборной панели, который включает в себя легко интерпретируемую графику производства энергии ветра и других условий окружающей среды. Инструменты анализа энергии ветра основаны на новейших научных методах, моделях численного

прогнозирования погоды и общедоступных наблюдениях метеорологических станций во всем мире. Компьютерное моделирование и пространственное разрешение модели ветроэнергетических ресурсов (5 км) были разработаны 3TIER. Возможность спроектировать целый комплекс объектов возобновляемой энергетики с расчетами и учетом рисков представлены программным обеспечением 3TIER Renewable Energy в коммерческой форме. Стоит отметить, что разработчики продукта предоставили возможность пользователю пополнять собственной информацией базу данных программного продукта ([www.vaisala.com/en/about-vaisala/news-and-media/vaisala-news-customer-magazine](http://www.vaisala.com/en/about-vaisala/news-and-media/vaisala-news-customer-magazine)).

Региональный Атлас возобновляемых источников энергии Вермонта «The Renewable Energy Atlas of Vermont», созданный по технологии Esri на основе ArcGIS, позволяет идентифицировать, анализировать и сопоставлять существующие и перспективные места для энергетики, выявлять энергоэффективность проектов по возобновляемым источникам: солнечной и ветровой, энергии биомассы, малых водных потоков и геотермальных источников. Атлас был разработан при поддержке Министерства энергетики США и запущен 22 апреля 2010 года. Данный ресурс полезен как городским энергетическим комитетам, предприятиям, так и населению Вермонта в целом. Информация ежеквартально обновляется и бесплатно доступна в сети Интернет. Пользователи имеют возможность самим наносить объекты ВЭ на слои карт. Детальность отображения объектов позволяет производить оценку возможности использования ВИЭ для отдельного участка земли в целом. Таким образом, «The Renewable Energy Atlas of Vermont» - это открытый ресурс, позволяющий обратить особое внимание на использование всего спектра возможностей возобновляемых источников энергии, отвечающих за энергобезопасность и энергоэффективность региона. Визуализация ситуации по реализованным проектам ВЭ привлекает внимание пользователей, которые только разрабатывают концепцию будущих проектов ([www.vtenergydashboard.org/energy-atlas](http://www.vtenergydashboard.org/energy-atlas)).

В России на данный момент есть аналог зарубежным ГИС по возобновляемой энергетике - ГИС «ВИЭ России», созданная в рамках работ научно-исследовательской лаборатории возобновляемых источников энергии географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова и Объединенного института высоких температур РАН (лаборатория возобновляемых источников энергии). Главной целью данного проекта является сбор, анализ, обработка и визуализация в виде тематических карт существующих и проектируемых возобновляемых источников энергии на территории нашей страны (рис.2) (Гридасов, Киселева, 2011).

ГИС «ВИЭ России» ([www.gis-vie.ru](http://www.gis-vie.ru)) - это открытый ресурс для любого пользователя. Информационной основой проекта послужили данные NASA SSE, а также средние многолетние данные метеорологических и актинометрических наблюдений на метеостанциях территории России. Стоит отметить, важность реализации этапа сравнения и верификации полученных данных из различных источников, что в дальнейшем позволило разработчикам проекта важность и актуальность разработки методик для оценки ресурсного энергopotенциала (Сушникова, 2012; Шакун, 2012).

Важнейшей задачей проекта является оценка возможности и эффективности использования ВИЭ для энергообеспечения потребителей в различных регионах страны (Киселева С., Рафикова Ю., 2013). Связь данных об установках возобновляемой энергетики по регионам позволяет дать комплексные оценки по различным видам источников.

Первыми работами в данном направлении стали Атлас ресурсов солнечной энергии на территории России (<http://gisre.ru/useful/atlas>) и база климатических данных (Попель О.С., Фрид С.Е., 2010). В Атласе представлены карты распределения суточных сумм прямой солнечной радиации, поступающей на следящую за Солнцем поверхность, а также карты распределения среднегодовых скоростей ветра по территории России на высотах 10 и 50 м, построенные с использованием базы данных NASA SSE (Атлас ресурсов солнечной энергии, 2010). Карты направлены на запросы разработчиков и потенциальных пользователей ветровых, солнечных, а также комбинированных установок ВИЭ.

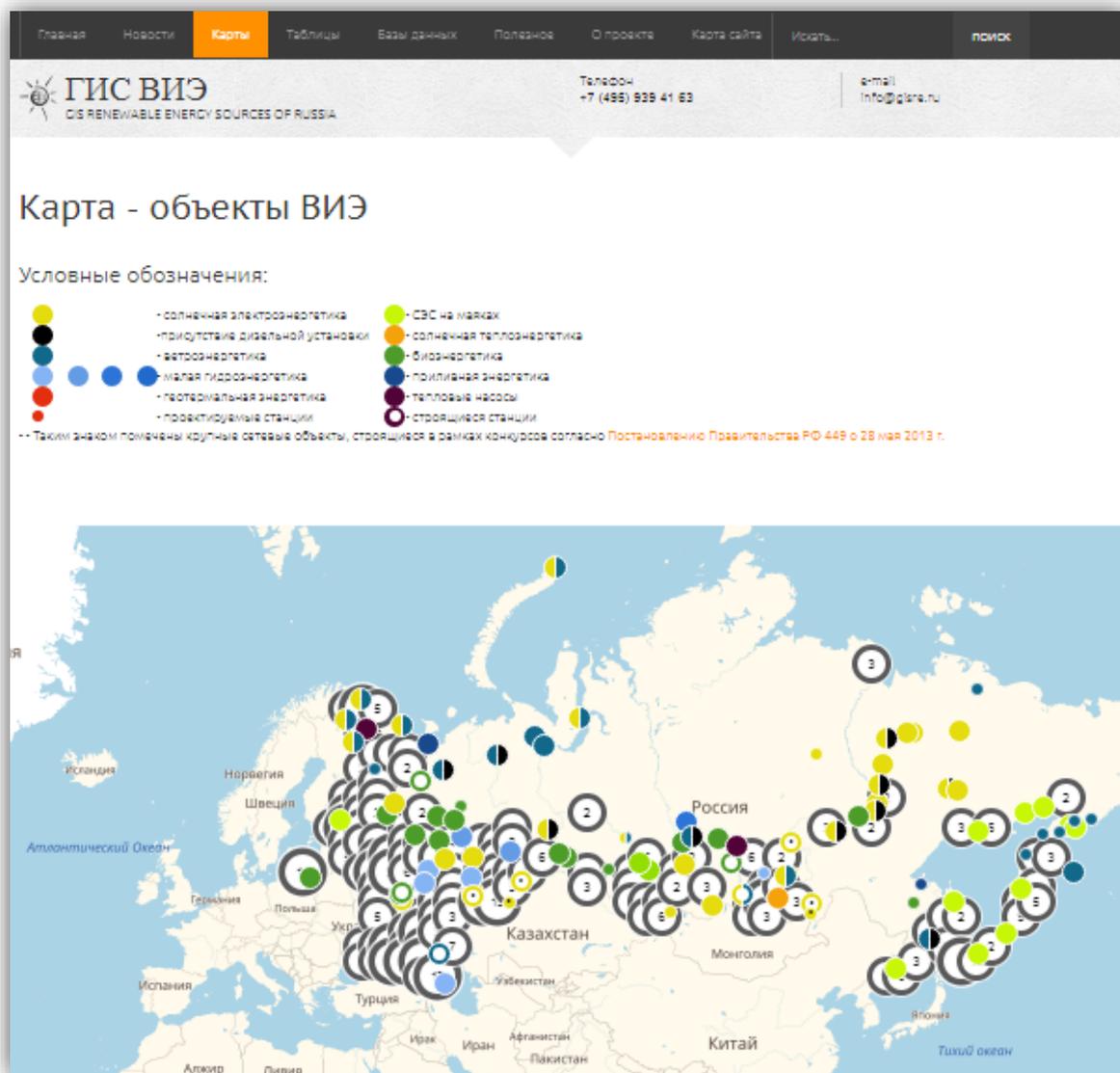


Рис. 2. ГИС ВИЭ «GIS RENEWABLE ENERGY SOURCES OF RUSSIA» ([www.gis-vie.ru](http://www.gis-vie.ru))

Проект ГИС «ВИЭ России» позволяет наглядно изучить информацию о состоянии перспектив внедрения экологически чистой отрасли энергетики - возобновляемой, для страны в целом. Однако важно обратить внимание и на каждый регион России в отдельности, включая в данный обзор ряд природных, социальных и экономических факторов, ограничивающих либо представляющих собой предпосылки для развития той или иной области ВЭ (Рафикова, Нефедова, 2013).

Популяризация и привлечение внимания к вопросам внедрения новых научных технологий в этой сфере, а также решение проблем, связанных с экологией и энергобезопасностью, позволяет сделать вывод о необходимости разработки в данном направлении геоинформационных проектов, позволяющих представлять актуальную

информацию инвесторам/пользователям для принятия управленческих решений размещения объектов ВИЭ на базе геоинформационных технологий.

Разработка концепций геоинформационных систем для эффективного применения возобновляемых источников энергии, в том числе решения вопросов их размещения, определяется объективной потребностью государства в условиях мирового тренда использования неисчерпаемых ресурсов, необходимостью решения задач государственных программ РФ в данной отрасли. Стратегическая задача стимулирования развития данной области позволяет работать с большими объемами информации в условиях быстрой обновляемости и актуализации данных, что прослеживается в работе всех выше рассмотренных зарубежных и российских геоинформационных систем.

Возможности наглядного представления информации, а также ее открытость и комплексность создает базис для развития проектов, задачей которых является выбор территории для размещения объектов ВЭ в местах с большим потенциалом для работы, что является актуальным запросом для территории Санкт-Петербурга и Ленинградской области для реализации проектов по возобновляемой энергетике, главной целью которых являются вопросы экологичности и энергоэффективности используемых методов.

Следует отметить недостаточное количество разработанных ГИС, связанных с выбором местоположения ВИЭ, что свидетельствует об актуальности нашего исследования и определяет задачу разработки концепции ГИС ВИЭ СПб и ЛО, ее организационно-технологического и содержательного наполнения, опытной проверки и верификации.

## **1.2. Проектирование концепции геоинформационной системы «Возобновляемые источники энергии Санкт-Петербурга и Ленинградской области»**

Теоретический анализ проблемы исследования, связанной с выбором местоположения и размещения ВИЭ, обобщение зарубежного и отечественного опыта геоинформационного картографирования ресурсов возобновляемых источников позволили осуществить попытку - разработать концепцию и структуру ГИС ВИЭ СПб и ЛО, выступающей организационно-технологической основой для принятия управленческих решений по размещению объектов возобновляемой энергетики с учетом ограничивающих факторов, природных и экономических возможностей региона.

Концепция системы как совокупность ключевых идей и принципов включает в себя:

- Общие сведения:
  - Полное наименование системы: Геоинформационная система «Возобновляемые источники энергии Санкт-Петербурга и Ленинградской области»
  - Условное обозначение: ГИС ВИЭ СПб и ЛО
  - Разработка технического задания выполняется в рамках выпускной квалификационной работы.
  - Сроки создания системы: 1 октября 2016 года – 1 мая 2017 года.
- Назначение системы:
  - Назначение ГИС ВИЭ СПб и ЛО состоит в разработке системы поддержки принятия решений по размещению объектов возобновляемой энергетики в форме информационно-аналитической геоинформационной системы «Возобновляемые источники энергии Санкт-Петербурга и Ленинградской области».
- Требования к структуре и функционированию системы:
  - ГИС должна включать следующие подсистемы:
    - подсистему ввода данных;
    - подсистему анализа данных;
    - подсистему вывода данных.
  - Связи между подсистемами должны осуществляться через единую БД ВИЭ.
  - Ввод информации в систему должен осуществляться вручную.
  - В системе должно быть предусмотрено оповещение пользователей о возникновении внештатных ситуаций посредством вывода на экраны рабочих станций соответствующих сообщений, например, возникновение сбоев в работе.
  - В дальнейшем предполагается сопряжение ГИС ВИЭ СПб и ЛО с другими ГИС ВИЭ.
- Требования к надежности:
  - Система должна иметь механизмы резервного копирования и восстановления данных, как после программных сбоев, так и при отказе аппаратуры или прекращения подачи электроэнергии.
- Функции, выполняемые системой:
  1. Анализ первичных данных о характеристиках местности

К первичным данным о характеристиках местности относятся:

    - Рельеф
    - населенные пункты

- дорожная сеть
- гидрография
- растительный покров

Методы анализа: отображение основных характеристик местности с использованием инструментов ПО способами картографического изображения.

Результатами анализа являются следующие тематические слои - населенные пункты (по данным показателей численности населенных пунктов и плотности населения); дорожная сеть (железные дороги, федеральные трассы и автомобильные дороги регионального, областного, районного и местного значения.), гидрография (моря, озера, реки, заливы, растительность).

2. Анализ данных по возобновляемой энергетике основывается на оценке ресурсов и потенциалов ВИЭ. Ресурс – это целевое использование наличных запасов, средств, используемых при необходимости. Потенциал – это величина, характеризующая запас энергии тела, совокупность всех имеющихся возможностей, «запасные» средства, которые могут быть использованы для решения определенной задачи, достижения цели, это экономический потенциал. Потенциал - это средства, запасы, источники, имеющиеся в наличии и могущие быть мобилизованы и приведены в действие, использованы для достижения цели, осуществления плана, решения какой-либо задачи.
3. Метод данного анализа заключается в использовании инструмента «интерполяция» в выбранном программном продукте создания ГИС-системы и отображения полученных результатов в виде серии карт: суммарной солнечной радиации; рассеянной солнечной радиации; продолжительности солнечного сияния; суммарной солнечной радиации на горизонтальную поверхность (среднегодовые значения, средние сезонные значения, среднемесячные значения); средних скоростей ветра на высотах 10 и 50 м, 100 и 150 м (среднегодовые значения); повторяемости скоростей ветра на высоте 50 метров; максимальных скоростей ветра, а также согласно данным методик расчетов энергопотенциала территории карты валового и технического потенциалов ресурсов. Результаты анализа данных по возобновляемой энергетике на территории Санкт-Петербурга и Ленинградской области представлены рядом слоев, содержащих информацию о зонах, действующих и проектирующихся для строительства ГЭС и МГЭС на малых реках, о существующих объектах солнечной и ветровой энергетики.

4. Построение сводных таблиц на основе запросов информации о характеристиках местности, источниках ВИЭ. Таблицы включают в себя следующую информацию об объектах ВЭ:
  - Тип объекта;
  - Мощность;
  - Статус объекта (действующий/строящийся/планируемый);
  - Район размещения (район области, населенный пункт);
  - Координаты;
  - Назначение;
  - Сведения о владельце/проектировщике;
  - Ссылку на источник информации.
5. Построение тематических карт на основе запросов информации о характеристиках местности, объектах ВИЭ.
6. Визуализация статистических данных с возможностью «наложения» информации разных слоев согласно запросу пользователя системы.



*Рис 3. Функции геоинформационной системы «Возобновляемые источники энергии Санкт-Петербурга и Ленинградской области»*

- Запросы:
  1. Запрос информации о характеристиках местности (численность населения, тип дорожной сети, буферная зона речной сети, охранная территория);

2. Запрос о среднегодовых и среднемесячных показателях скорости ветра, плотности энергии ветрового потока, валового и технического потенциала;
3. Запрос о среднегодовых и среднемесячных показателях солнечного излучения на территории Санкт-Петербурга и Ленинградской области, данные годового и широтного ходов возможных месячных и годовых сумм прямой солнечной радиации, валового и технического потенциала и т.д;
4. Запрос информации об объектах ГЭС и МГЭС на малых реках, действующих и планируемых для строительства.

В результате знакомства с мировым и отечественным опытом использования ГИС-технологий в области возобновляемой энергетики (параграф 1.1) можно сформулировать позиционирование системы ГИС ВИЭ СПб и ЛО среди других доступных систем на сегодняшний день.

#### **Позиционирование системы**

<b>Наименование системы</b>	Информационно-аналитическая геоинформационная система «Возобновляемые источники энергии Санкт-Петербурга и Ленинградской области»
<b>Потребители системы</b>	Органы государственной власти муниципальных, региональных и федеральных уровней, инвесторы, предприниматели, население страны
<b>Возможности системы</b>	С практической точки зрения разрабатываемая ГИС ВИЭ может быть ценной при выборе решения для инвестора/пользователя; по результатам проекта будет проведен анализ экологических, технических, социальных и экономических факторов ВИЭ и их влияния, а также практические шаги или пакет (состав) работ в рамках реализации ГИС ВИЭ
<b>В каком качестве используется система</b>	В качестве информационно-аналитического источника по теме исследования
<b>Преимущества системы</b>	Система включает в себя аналитический модуль, созданный в виде скриптов на языке Python.

В результате рассмотрения инструментария зарубежных и российских геоинформационных систем можно сделать выводы о том, что:

- необходимо учитывать следующие факторы для реализации проектов в области возобновляемой энергетики с использования ГИС–технологий - экологические, технические, социальные, экономические;
- интеграция геоинформационных технологий в область возобновляемой энергетики открывает возможности для развития технологических исследований преобразования ВИЭ, внедрения новых энергосберегательных систем в сферу энергетики;
- геоинформационные системы позволяют представлять большие массивы данных в наглядном для пользователя виде, а также обновлять и актуализировать информацию в реальном времени.

Итак, структура концепции ГИС ВИЭ СПб и ЛО была разработана на основе анализа существующих отечественных и зарубежных геоинформационных систем в области возобновляемой энергетики, включает в себя: идеи о позиционировании системы, краткое описание подсистем-компонентов, перечень видов анализа данных, запросов, на которые ГИС ориентирована. В рамках концепции были определены требования к структуре и функционированию системы, перечень функций и запросов, поддерживаемых ГИС ВИЭ СПб и ЛО.

## **ГЛАВА 2. МЕТОДИКА ОЦЕНКИ РЕСУРСОВ И ПОТЕНЦИАЛОВ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ НА ТЕРРИТОРИИ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА И ЛЕНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ**

### **2.1. Оценка ресурсов возобновляемых источников энергии на территории Санкт-Петербурга и Ленинградской области**

Важным этапом для создания геоинформационной системы «Возобновляемые источники энергии Санкт-Петербурга и Ленинградской области» является анализ источников данных и существующих методик расчетов, используемых для оценок ресурсного потенциала.

Информация об энергообеспеченности региона позволяет выявить перспективные территории для развития возобновляемой энергетики с учетом потребностей и запросов населения, а также факторов, влияющих на степень перспективности создания энергетических установок на основе ВИЭ для энергосбережения потребителей.

Для большинства областей Северо-Западного федерального округа Российской Федерации характерен значительный промышленный потенциал. Удельное энергопотребление здесь выше, чем среднее по России. Однако регион не обладает значительными запасами углеводородного сырья и газа, что сегодня является основополагающим базисом для топливно-энергетического комплекса страны. Зависимость территории от привозного топлива – мазута и природного газа, обуславливает критерии для определения ценовой политики на тепловую и электроэнергию от стоимости топлива.

Санкт-Петербург является энергодефицитным регионом, покрывающий собственные потребности в электроэнергии за счет генерации на ТЭЦ (в основном компании ТГК-1) лишь на 63 %. Донором является Ленинградская область, потребляющая 46 % производимой на ее территории электроэнергии. Продолжительность отопительного сезона в регионе составляет около 230 суток. Государственная статистика топливно-энергетического комплекса (ТЭК) города Санкт-Петербурга и Ленинградской области ведется отдельно.

Основными генерирующими мощностями в области служат АЭС (27,55 ТВт<sub>ч</sub> в 2010 г.) и Киришская ГРЭС (6,78 ТВт<sub>ч</sub>). Структура электрогенерации в Санкт-Петербурге и Ленинградской области показана на *рисунке 4*.

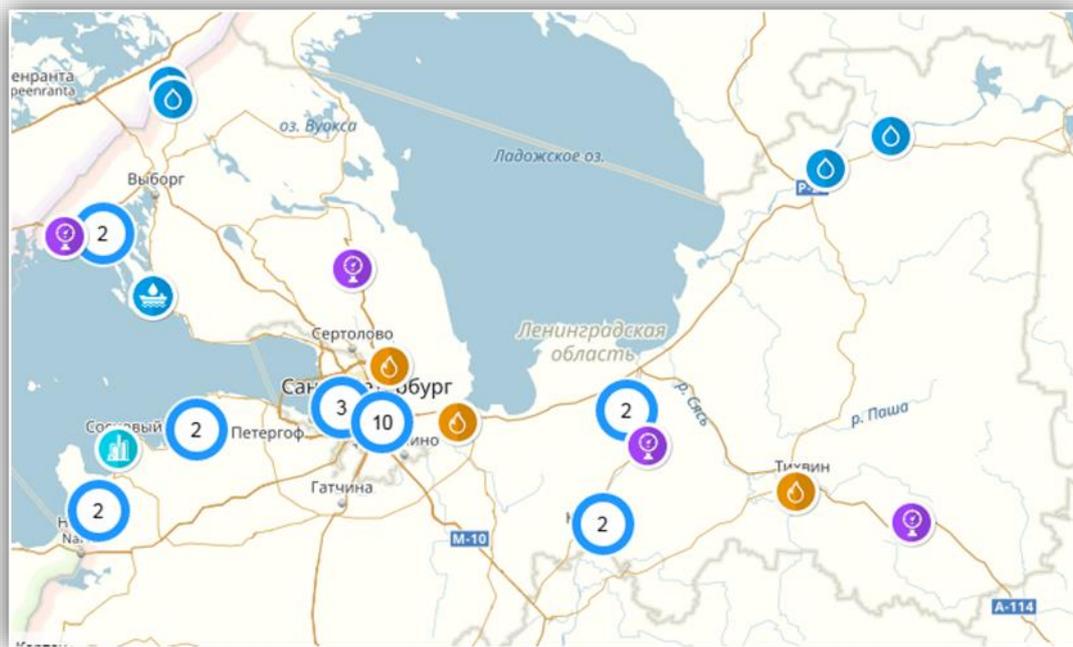


Рис. 4. Интерактивная карта-схема энергосистемы региона  
 [http://energybase.ru/region/leningradskaya-oblast]

Стоит отметить, что Ленинградская область не только полностью покрывает внутренние потребности в электроэнергии, но и экспортирует её, в том числе за пределы Российской Федерации. На рисунке 5 отображена диаграмма долей выработки в общем объеме производства электрической энергии Ленинградской области: АЭС составила 66,88%, ТЭЦ - 25,04%, ГЭС - 8,38%.



Рис.5. Объем производства электрической энергии в Ленинградской области

Состояние вопроса потребления энергоресурсов в Санкт-Петербурге и Ленинградской области в целом представлена в таблице 1.

Таблица 1. Потребление энергоресурсов на территории Санкт-Петербурга, Ленинградской области по данным на 2017 год.

Ленинградская область	
Тепловая энергия	3300,2 тыс. т у.т
Электроэнергия	1857,5 тыс. т у. т
Нефтепродукты	1734,9 тыс. т у.т
Природный газ	990,9 тыс. т у.т.
Уголь	125,9 тыс. т у.т
Прочие твердые отходы	93,2 тыс. т у.т
Всего:	8102,6 тыс. т у.т
Санкт-Петербург	
Электроэнергия	1802,8 тыс. т у.т
Тепловая энергия	6458,5тыс. т у.т.
Потери при распределении	798,6 тыс. т у.т.

В конечном соотношении использования энергоресурсов основным потребителем является население города и области в соотношении 40% и 30%, далее следует промышленность, которая составляет долю 33% и 61%. На третьем месте держит позицию транспорт – 12% и 16%. Наглядное изображение связи отношений потребления и производства энергетических ресурсов представлено на *рисунке 6*, откуда видно, что значительная часть выработки приходится на Ленинградскую область.

**Электробаланс Северо-Западного федерального округа, Санкт-Петербурга и Ленинградской области**

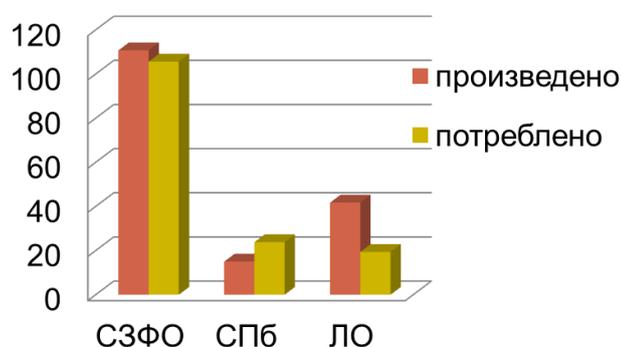


Рис. 6. Электробаланс Северо-Западного федерального округа, Санкт-Петербурга и Ленинградской области

Общий технический потенциал повышения эффективности использования энергии в Санкт-Петербурге составляет 4318,4 тыс. т у.т., в Ленинградской области 4494,4 тыс. т у.т. (это более 23% от всего потребления топливно-энергетических ресурсов по области) Показатель энергоэффективности территории Санкт-Петербурга и Ленинградской области напрямую зависит от включения в энергобаланс экономически обоснованного регионального потенциала возобновляемых источников энергии. (Доклад: Энергетическая стратегия регионов, 2017). Разработка проектов, связанных с установками ВЭ, демонстрирует направленность курса на устойчивую энергетическую стабильность региона.

Важнейшей составляющей создания ГИС ВИЭ СПб и ЛО является правильная оценка потенциала ВИЭ на территории Санкт-Петербурга и Ленинградской области, которая позволит обоснованно выбрать параметры объекта и его энергоэкономические показатели.

В Северо-Западном регионе использование возобновляемых источников энергии незначительно и связано в основном с крупными гидроэлектростанциями, работающими в структуре федеральных и региональных энергетических компаний. Однако ряд исследований показывают, что ресурсы возобновляемых источников энергии на Северо-Западе России не так уж малы. В *таблице 2* приведена оценка валового (суммарного природного ресурса) и технического (возможного для применения при сегодняшних технологиях) потенциала ВИЭ для Северо-Запада России.

*Таблица 2. Ресурсы ВИЭ в Северо-Западном регионе.*

Вид ресурса	Валовой потенциал млн. т у.т./год	Технический потенциал млн. т у.т./год
1. Биоэнергия	4,8	1,4
а) Сельскохозяйственные отходы	2,4	0,7
б) Древесные отходы	1,6	0,5
б) ТБО	0,8	0,2
2. Ветровая энергия	420,0	32,0
3. Малая гидроэнергетика	26,5	10,2

4.Геотермальная энергетика	0,7-10 <sup>6</sup>	70/20 °С
----------------------------	---------------------	----------

(Справочник по ресурсам возобновляемых источников энергии России и местным видам топлива (показатели по территориям). М.: ИАЦ «Энергия», 2007; Сборник докладов международного конгресса «Дни чистой энергии в Петербурге – 2010»).

Ленинградская область имеет существенный потенциал возобновляемых источников энергии. Так, согласно данным доклада группы экспертов Российского социально-экологического союза, организации «Друзья Балтики», Кольского экологического центра и Общества с ограниченной ответственностью «Экоцентрум» на основании анализа региональных программ и пилотных проектов в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности, приведен валовый потенциал следующих типов возобновляемых источников энергии: энергии солнца и энергии ветра (Таблица 3).

*Таблица 3. Потенциал возобновляемых источников энергии в Ленинградской области*

<b>Валовой потенциал энергии ветра</b>	33 кВт-ч м <sup>2</sup> -год
<b>Удельный валовой приход солнечной энергии</b>	944,4 кВт-ч м <sup>2</sup> -год

(А. Федоров, О. Сенова, А. Передрук, В. Серветник, О. Подосенова. Энергетическая стратегия регионов (на примере Санкт-Петербурга, Ленинградской и Мурманской областей). Взгляд и действия общественности. 2014)

Показатель использования низкопотенциального тепла систем охлаждения ТЭЦ в Санкт-Петербурге и Ленинградской области достигает значение до 1356 тыс. т у. т., твердых бытовых отходов - более 363,6 тыс. т у. т., осадочного ила - 32 тыс. т у. т., что является самым высоким для территории России. По данным Всероссийского научно-исследовательского геологического института большой потенциал тепловой энергии, заключен в тепловой аномалии под южным берегом Финского залива.

Согласно информации Управления экспертно-аналитических работ Аналитического центра при Правительстве Российской Федерации, Российского энергетического агентства, Союза «Энергоэффективность», Центра по эффективному использованию энергии и информационных материалов, других открытых источников, итоговый фактический энергетический эффект от реализации региональной программы

Санкт-Петербурга в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности до 2020 г. должен составить не менее 20884 ГВт-ч к 2020 году. На сегодняшний день этот показатель не достигнут, что свидетельствует о том, что темпы замедленны и создание ГИС ВИЭ СПб и ЛО актуально для принятия оптимального решения возведения установок ВИЭ на потенциально пригодной территории для максимального результата выработки энергии.

### **2.1.1. Оценка ветроэнергетических ресурсов**

На территории Ленинградской области и Санкт-Петербурга существуют благоприятные условия для развития ветроэнергетики и введения в эксплуатацию ветроэнергетических установок (далее - ВЭУ) различных классов мощности. Комплексная оценка показателей средних скоростей ветра на различных высотах, их повторяемость и максимальная скорость позволяет сделать вывод о наличии высокого уровня природно-климатического потенциала ветровой энергии.

Согласно результатам моделирования характеристик ветровой энергии по данным 79 метеорологических и актинометрических станций территории региона, исследователи Главной Геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова, Всероссийского научно-исследовательского института гидротехники и мелиорации им. А.Н. Костякова и Санкт-Петербургского государственного политехнического университета выделили на территории города и области зоны с высокими ветроэнергетическими показателями.

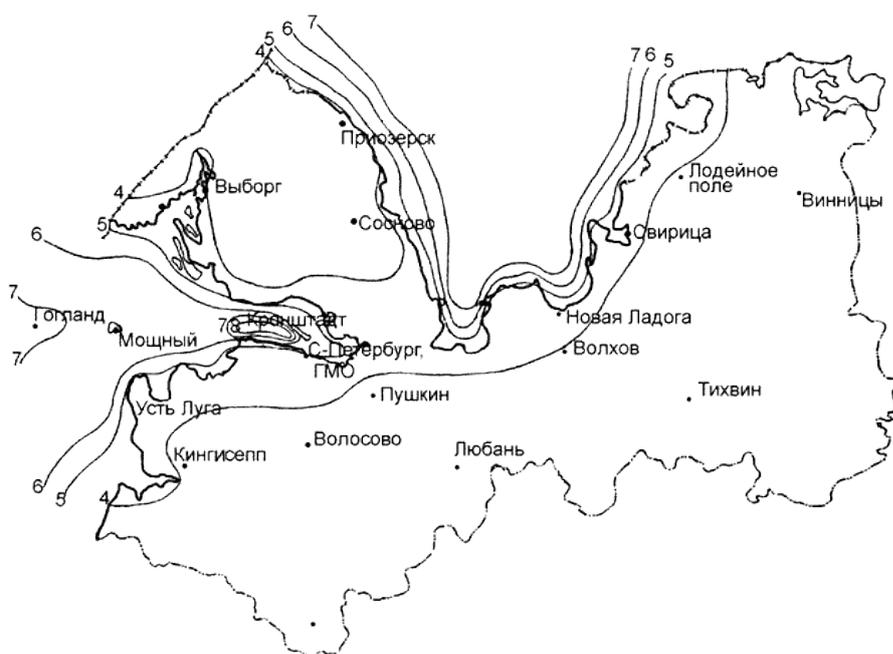
Особое внимание было уделено побережьям и мелководным акваториям Финского залива и Ладожского озера. Глубина Финского залива в среднем составляет 40 метров, а в районе Невской губы - 8 метров. Относительно небольшие глубины не позволяют задействовать всю территорию для судоходства, однако создают благоприятные условия для установки ветрогенераторов и развития ветроэнергетических комплексов. Возможность установки матч ветровых турбин несет экономическую выгоду в отличие от ряда технологий, позволяющих вводить в эксплуатацию плавучие ветрогенераторы.

При расчете удельных технических ресурсов ветроэнергетики на 1 км<sup>2</sup> поверхности использовались данные системных ветроустановок с шахматной моделью расположения. В исследовании были установлены: общая мощность региона восточной части Финского залива с учетом мелководных акваторий глубиной до 10 м - 11250 Мвт, годовая выработка электроэнергии - около 25 млрд. кВт-ч/год. Полученные показатели свидетельствуют о перспективности использования возможностей ветроэнергетики в регионе Санкт-Петербурга и Ленинградской области.

Сезонная и климатическая изменчивость, топографические характеристики (рельеф, расстояние от береговой черты, тип растительности, близость к морю, эффект затененности от объектов) определяют ветровой потенциал для выбранной территории.

Согласно данным рассмотренных площадок для размещения ВЭУ в зимний период времени все южное побережье Финского залива, включая Невскую губу, характеризуется средними показателями скорости ветра – 5 метров в секунду, что определяет там обоснованность возведения ветряной электростанции (далее – ВЭС) сухопутного базирования.

Для скоростей свыше 12 м/сек в осенний период существенно возрастает повторяемость северо-восточных и северо-западных ветров. Распределение скоростей ветра весной и летом характеризуется узкой зоной проявлений – южное побережье острова Котлин с одной стороны и южное побережье залива с другой стороны. Наглядная схема распределения ветров на территории Санкт-Петербурга и Ленинградской области представлена на *рисунке 7*.



*Рис. 7. Изолинии среднегодовых скоростей (м/сек) на высоте 10-15 метров в прибрежных зонах Финского залива и Ладожского озера*

На сегодняшний день в Ленинградской области и Санкт-Петербурге действует 7 объектов ветроэнергетического комплекса и 1 объект находится на этапе строительства (Котлинская ВЭС). Основные характеристики ветроустановок приведены в *таблице 4*. Большинство объектов относятся к типу ветряных дизельных электростанций с автономным назначением и возможностью параллельной работы с сетью. В 2001 году в городе Красное село была установлена первая сетевая ветроэнергетическая установка для

энергоснабжения промышленного потребителя ООО «Красное». Данная установка позволила сократить энергозатраты на предприятии в отдельные периоды до 40-50%.

Таблица 4. Перечень ВЭС по состоянию на 2018 год.

	Тип	Мощность, кВт	Статус	Назначение	Район размещения	Ссылка
1	Ветряная дизельная электростанция (далее - ВДЭС)	5	действующая	автономная (с возможностью параллельной работы с сетью)	Дер. Вожаны, Ленинградская область «Ветропарк-Инжиниринг», генераторы «Бриз» (частное лицо)	<a href="http://elektrostroyka.ru">elektrostroyka.ru</a>
2	ВЭС ООО «Красное»	75	Действующая с 2001 года	сетевая	Красное село, Ленинградская область Агрегат «Wind Matic»	<a href="http://rushydro.ru">rushydro.ru</a>
3	ВДЭС	5	действующая	автономная (с возможностью параллельной работы с сетью)	Янино-2, Ленинградская область «Ветропарк-Инжиниринг», генераторы «Бриз» (частное лицо)	<a href="http://elektrostroyka.ru">elektrostroyka.ru</a>
4	ВДЭС	5	действующая	автономная (с возможностью параллельной работы с сетью)	Большие пороги, Ленинградская область «Ветропарк-Инжиниринг», генераторы «Бриз» (частное лицо)	<a href="http://elektrostroyka.ru">elektrostroyka.ru</a>
5	ВДЭС	5	действующая	автономная (с возможностью параллельной работы с сетью)	Пос. Б.Ижора, Ленинградская область «Ветропарк-Инжиниринг», генераторы «Бриз» (частное лицо)	<a href="http://elektrostroyka.ru">elektrostroyka.ru</a>
6	ВДЭС	5	действующая	автономная (с возможностью параллельной работы с сетью)	Пос. Лаврово, Ленинградская область «Ветропарк-Инжиниринг»,	<a href="http://elektrostroyka.ru">elektrostroyka.ru</a>

					генераторы «Бриз» (частное лицо)	
7	ВДЭС	5	действующая	автономная (с возможностью параллельной работы с сетью)	Дер. Вожаны, Ленинградская область «Ветропарк-Инжиниринг», генераторы «Бриз» (частное лицо)	elektrostroyka.ru
8	ВЭС г. Усть-Луга	300 МВт	проектируемая (ввод в эксплуатацию в 2030 году)	сетевая	г. Усть-Луга, Ленинградская область	minenergo.gov.ru

Для дополнительного энергоснабжения острова Котлин и города Кронштадт реализуется проект возведения ветроэнергетического комплекса из 5 или 6 ветроагрегатов мощностью по 600 или 500 кВт и проектируемой мощностью – 3 МВт (рис. 8). По результатам проектных расчетов выработка электроэнергии данного комплекса будет составлять 11455 МВт-ч ([www.cleandex.ru](http://www.cleandex.ru)). Период окупаемости строительства при финансировании ВЭС в полном объеме составит 4,5 года. Также в разработке находится проект возведения первого ветропарка в Волховском районе Ленинградской области, мощностью – 69 МВт ([www.windpark.ru](http://www.windpark.ru)). Планируемый срок запуска проекта «Ветропарк №1 в Ленинградской области» 2022-2023 годы, период окупаемости по предварительным расчетам составит 10 лет.

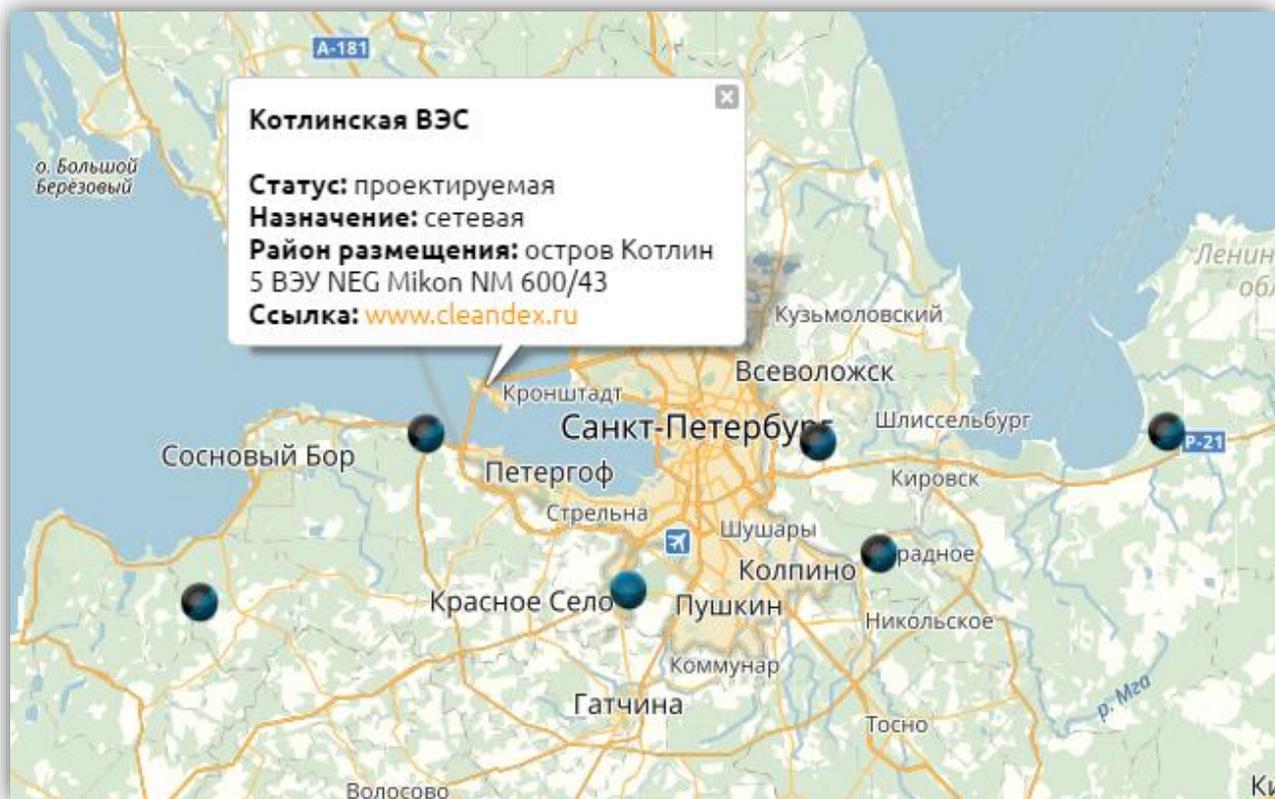


Рис. 8. Интерактивная карта-схема ветроэнергетических установок  
 (<http://gisre.ru/maps/wind-data>)

### 2.1.2. Оценка солнечных ресурсов

Солнечная энергия является ведущим компонентом теплового баланса и позволяет решать ряд научных и прикладных задач. Для территории Ленинградской области и Санкт-Петербурга продолжительность солнечного сияния заметно отклоняется от широтного. Это связано с тем, что для области характерны циклоны атлантических воздушных масс.

Средняя продолжительность солнечного сияния в год составляет 35 - 40 %, количество дней без солнца составляет 110 – 125 преимущественно в холодное время года. Значения годового числа часов солнечного сияния изменяется от 1600 до 1900. Благодаря повышенной прозрачности атмосферы в теплое время года в районах побережья и на островах Ладожского озера, а также островах Финского залива наблюдается наибольшая продолжительность солнечного сияния (более 1800). К следующей категории высоких значений- 1700 – 1800 – относятся территории побережья Финского залива, Лужского, Лесогорского, Выборгского, Приозерского районов (рис. 9.)

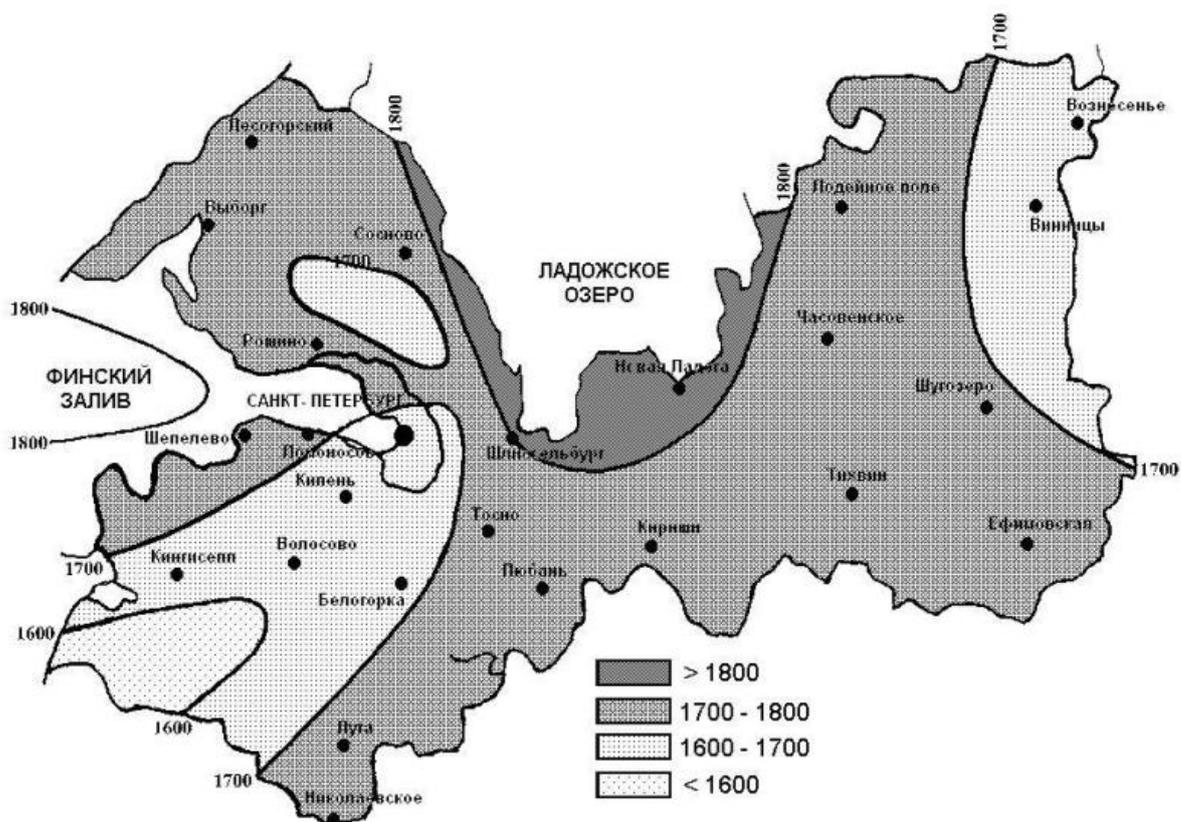


Рис. 9. Продолжительность солнечного сияния (часы). Год.  
(Пигольцина. Ресурсы солнечной радиации Ленинградской области, 2009)

Сумма прямой и рассеянной радиации представляет собой суммарную радиацию. Диапазон значений годового прихода прямой солнечной радиации на горизонтальную поверхность при ясном небе измеряется на территории области от 3950 до 4350 МДж/м<sup>2</sup> (Пигольцина, 2009). Однако, для Ленинградской области характерна большая облачность, вследствие чего диапазон сокращается до значений 3150 – 3450 МДж/м<sup>2</sup>. Сравнительно низкими значениями характеризуются восточные и северо-восточные районы области, территория от Сланцев до Санкт-Петербурга (с юго-запада на северо-восток) и центральная часть Карельского перешейка. Показателями от 3300 до 3400 МДж/м<sup>2</sup> обладают южные части области и прилегающие территории к Ладожскому озеру и Финскому заливу, которые в свое время получают больше всего солнечного тепла (более 3400 МДж/м<sup>2</sup>) (рис. 10).

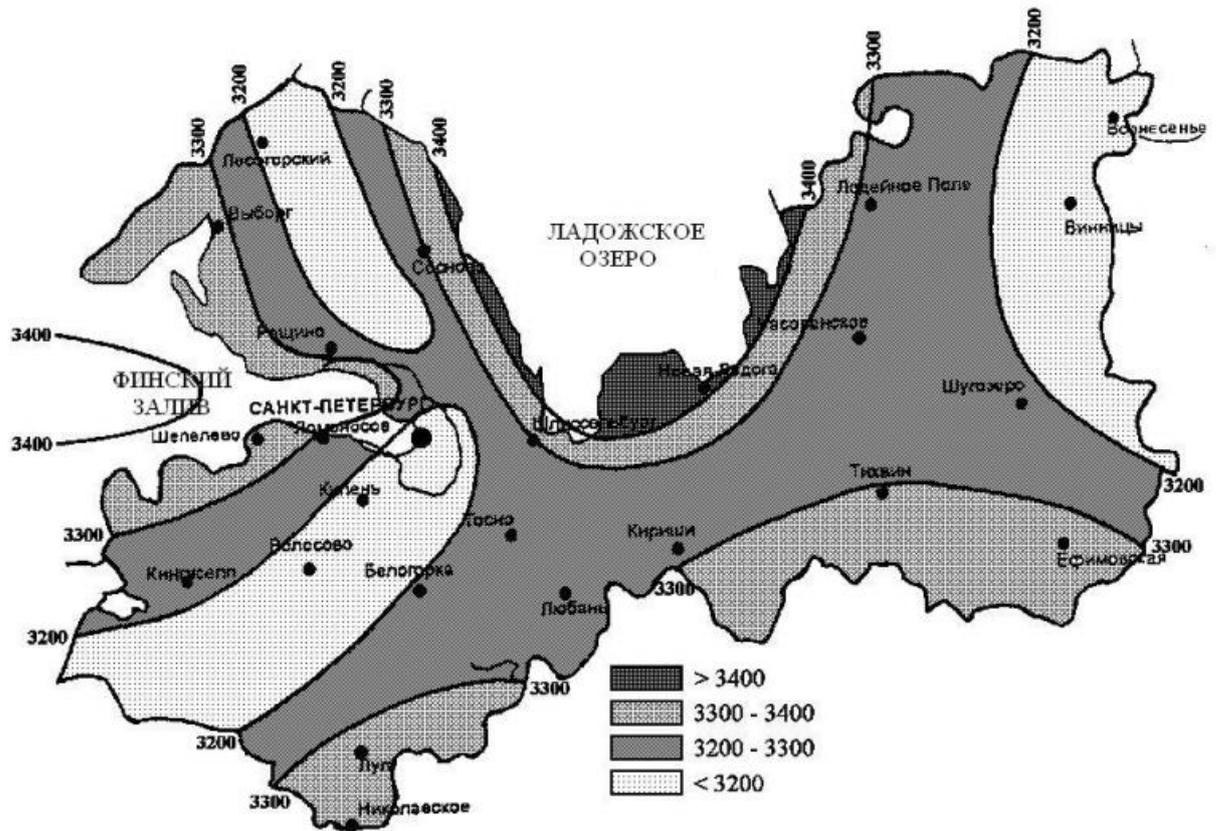


Рис. 10. Годовые суммы суммарной радиации (МДж/м<sup>2</sup>).

(Пигольцина. Ресурсы солнечной радиации Ленинградской области, 2009)

Удельные технические гелиоресурсы при использовании фотоэлектрических преобразователей составляют 160 - 220 кВт-ч./м<sup>2</sup>, а при использовании теплового коллектора 680 - 1070 кВт-ч./м<sup>2</sup> для территории Карельского перешейка и Санкт-Петербурга.

Согласно данным информационных ресурсов об объектах солнечной энергетики на территории города и области расположено: 8 действующих солнечных электростанций (СЭС) на маяках; 18 действующих СЭС в частных домах; 1 строящаяся СЭС (рис. 11).

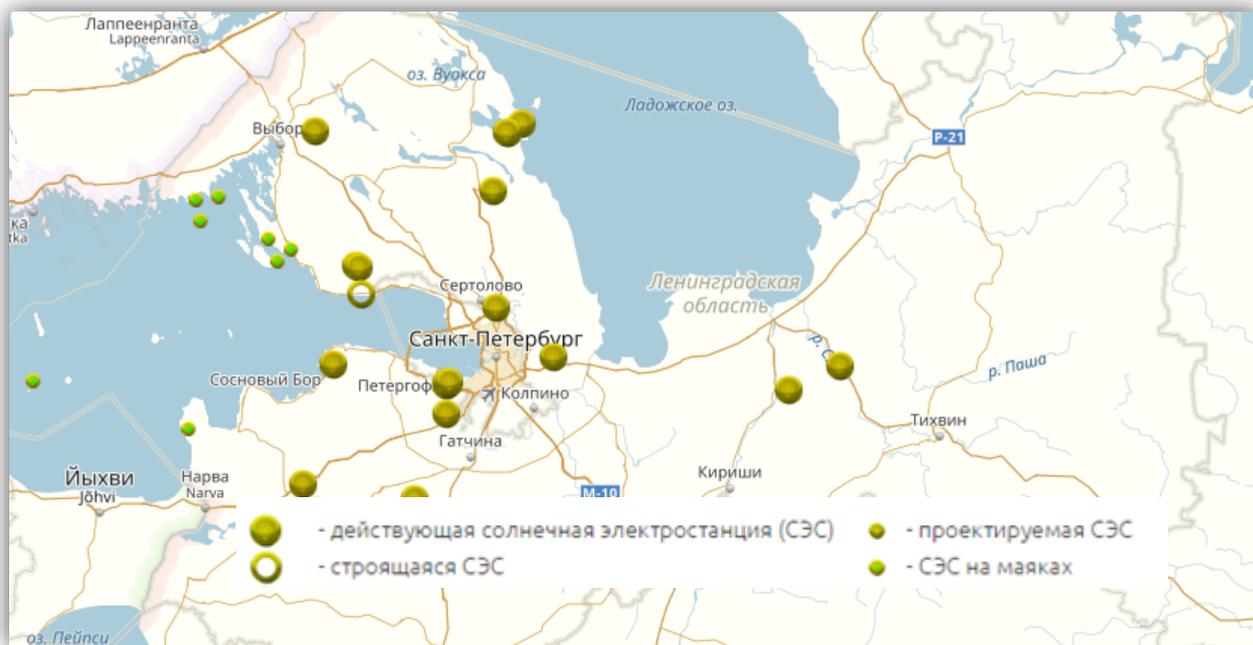


Рис. 11. Интерактивная карта-схема солнечных электростанций  
(<http://gisre.ru/maps/maps-obj/ses>)

Системы солнечного теплоснабжения могут быть применимы для низкотемпературных процессов, например, для нагрева воды (до  $80^{\circ}\text{C}$ ), а также для обслуживания коттеджных комплексов - удовлетворения коммунальных нужд. Другой из вариантов использования установки в регионе – применение в сельском, в фермерских и приусадебных хозяйствах. Используя систему солнечного теплоснабжения площадью  $10\text{ м}^2$  можно обеспечить горячей водой семью из четырех человек в объеме 200 литров в сутки, что даст экономию от 300 до 900 литров топлива (мазут) в год. Окупаемость вложений в такой проект составит от 7 до 20 лет.

Использование солнечных установок актуально для решения ряда проблем глобального уровня. Пользователя привлекает не только возможность автономности системы, но и дополнительные социальные и экологические факторы, позволяющие не наносить вред окружающей среде, что является определенным импульсом для изучения ресурсов данного вида возобновляемого источника энергии.

### 2.1.3. Оценка гидроэнергетических ресурсов

Расцвет малой гидроэнергетики для Ленинградской области приходится на 50-60-е годы XX века. Несколько десятков малых гидроэлектростанций были введены в эксплуатацию и в дальнейшем в условиях сплошной сетевой электрификации были закрыты.

По состоянию на начало 2018 года в области функционируют шесть крупных гидроэлектростанций: Нижне-Свирская и Верхне-Свирская (река Свирь), Нарвская (река Нарва), Волховская (река Волхов), Лесогорская и Светогорская (река Вуокса). Однако потенциал гидроэнергетических ресурсов малых рек региона используется в незначительной доле, которая в процентном соотношении составляет около 0,2% ([www.ecogazeta.ru](http://www.ecogazeta.ru)). На сегодняшний день гидроэнергетический потенциал Ленинградской области и Санкт-Петербурга оценивается в значениях 480-500 млн. кВт-ч.

Проекты развития в сфере малой гидроэнергетики направлены на решение вопросов переоборудования и переустройства бывших заброшенных малых ГЭС, где сохранились гидротехнические сооружения и бьефы, которые используются в рекреационных и мелиоративных целях. Все это позволяет решать задачи, связанные с экологическим состоянием области и вопросы, связанные с энергоэффективностью региона.

Одним из объектов, участвующих в проекте реконструкции малых ГЭС является Андреевская минигидроэлектростанция на реке Тукалусиоки вблизи города Выборга мощностью 730 кВт, которая была выведена из эксплуатации в 1950-х годах.

Согласно данным издания петербургской газеты «Общество и экология» при пуске 100 малых ГЭС (до 1МВт) и микроГЭС (до 100 кВт) можно рассчитывать на получение в год до 0,15 млрд. кВт.ч. электроэнергии, что составит 5-10% от электропотребления в сельском хозяйстве области и существенно повысит стабильность энергообеспечения сельского хозяйства.

#### Перечень МГЭС по состоянию на 2018 год:

##### 1. Лужская-I

Мощность: 0.37 МВт

Среднегодовая выработка: 2.22 млн кВтч

Статус: действующая

Водный объект: р.Быстрица

Год ввода в эксплуатацию: 1952

Район размещения: Ленинградская область, г.Луга

##### 2. Лужская-II

Мощность: 0.54 МВт

Среднегодовая выработка: 0.2 млн кВтч

Статус: действующая

Водный объект: р.Быстрица

Год ввода в эксплуатацию: 1956

Район размещения: Ленинградская область, г. Луга

Строитель/Владелец: ТГК-1

### 3. Ивановская

Мощность: 0.06 МВт

Статус: действующая

Водный объект: Запруда

Год ввода в эксплуатацию: 1999

Район размещения: Ленинградская область, Ивановское

Строитель/Владелец: Рыбзавод

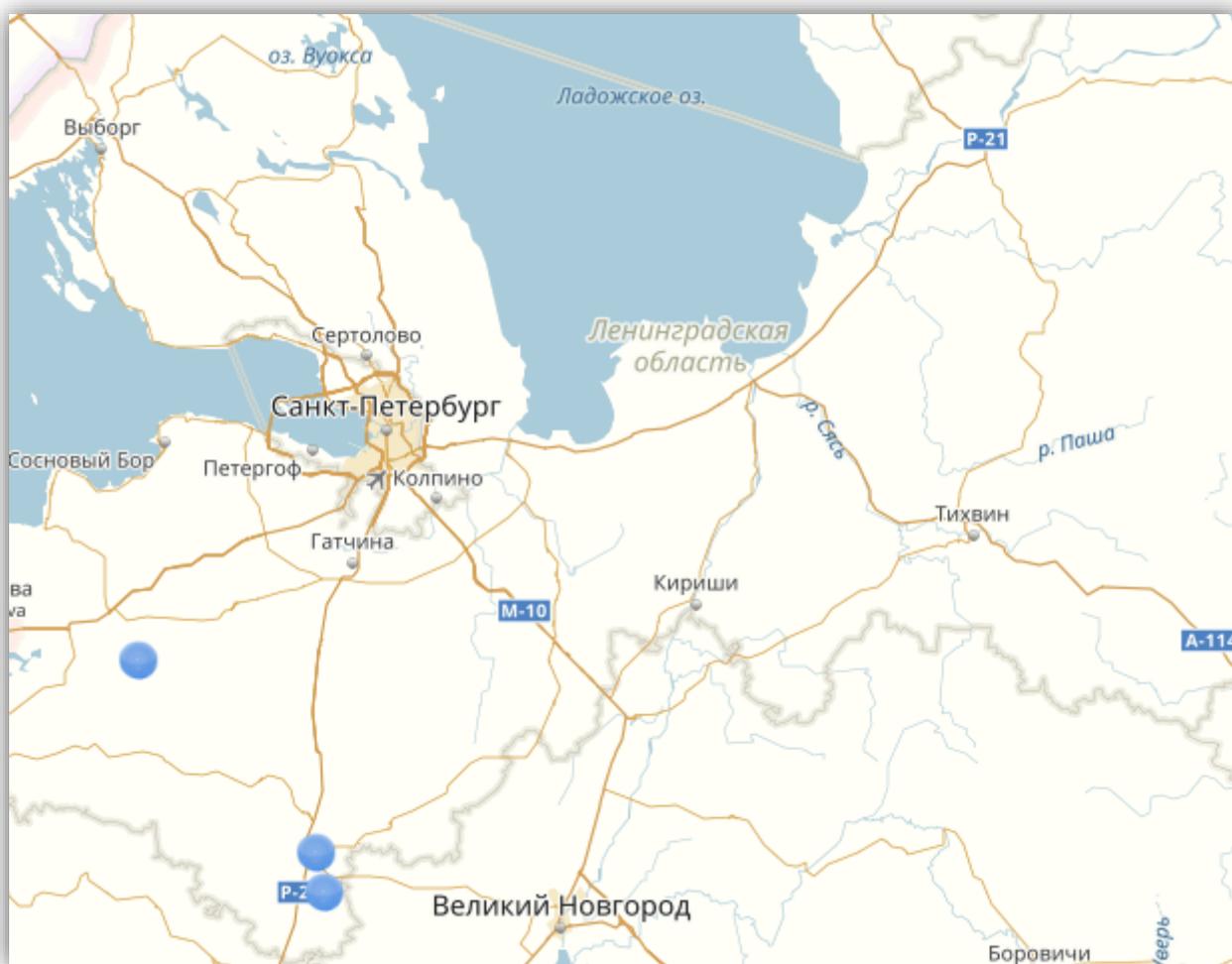


Рис. 12. Интерактивная карта-схема малых ГЭС

(<http://gisre.ru/maps/maps-obj/mges>)

Необходимость получения данных в отношении солнечного, ветрового и гидроэнергетического потенциала приводит к рассмотрению различных методов для его правильной оценки, описание которых приводится ниже.

## **2.2. Методики расчетов энергетического потенциала возобновляемых источников энергии**

Методики определения энергетического потенциала возобновляемых источников энергии, которые существуют сегодня, не всегда учитывают территориальные особенности района для которых они могут быть применены. Это объясняется разнородностью природных, экономических и социальных процессов в разных областях России. Необходимость выбора методики определяет важное практическое значение для наглядного отображения потенциальных территорий для размещения объектов ВИЭ с использованием информационно-аналитической геоинформационной системы.

Валовый (теоретический) потенциал ВИЭ – это годовой объём энергии, содержащийся в данном виде ВИЭ при полном её превращении в полезно-используемую энергию.

Технический потенциал ВИЭ – часть валового потенциала, преобразование которого в полезную энергию возможно при существующем уровне развития технических средств и при соблюдении требований по охране природной среды.

Экономический потенциал ВИЭ – часть технического потенциала, преобразование которого в полезную используемую энергию экономически целесообразно при данном уровне цен на ископаемое топливо, тепловую и электрическую энергию, оборудование, материалы, транспортные услуги, оплату труда и т.д. (Справочник по ресурсам возобновляемых источников энергии России, 2007).

### **2.2.1. Ветроэнергетический потенциал**

Природный ветроэнергетический потенциал — это среднее многолетнее годовое значение ветровой энергии движения воздушных масс над данной территорией.

Одной из основных характеристик ветроэнергетического потенциала является мощность ветрового потока  $N$ , приходящая на единицу площади в единицу времени.

$$N = \frac{1}{2} \rho u^3 S, \quad (1)$$

где  $N$  — мощность ветрового потока;  $\rho$  — плотность воздуха;  $u$  — скорость ветра;  $S$  — площадь, перпендикулярная ветровому потоку.

Методы оценки валового потенциала ветроэнергетических ресурсов изложены в руководящих указаниях по проведению изыскательских работ по оценке ветроэнергетических ресурсов для обоснования схем размещения и проектирования ветроэнергетических установок и рекомендациях по определению климатических

характеристик ветроэнергетических ресурсов (Руководящий документ, 1991; Рекомендации, 1980).

**К исходным данным** для оценки ветроэнергетического потенциала в настоящем исследовании относятся следующие:

- сведения средних скоростей ветра на высотах 10 и 50 м, 100 и 150 м (среднегодовые значения);

Важным для точных ветроэнергетических расчетов является высота, на которой проводятся измерения. При установившемся ветровом потоке скорость ветра возрастает с увеличением высоты над поверхностью Земли. Для наиболее точного расчета выработки необходимо знать скорость ветра на высоте оси ветроколеса.

- сведения максимальных скоростей ветра;
- сведения повторяемости скоростей ветра на высоте 50 метров;

Чтобы рассчитать повторяемость скорости ветра необходимо провести ряд наблюдений на метеостанциях. Однако стоит обратить внимание на плотность сети метеостанций, так как от нее зависит качество полученных данных и их точность. В случае проведения ветромониторинга на выбранной площадке для установки ВЭС, характеристики ветра измеряются в одной точке пространства, а для расчета выработки конкретной ветроустановки необходимы данные по той точке пространства, где будет установлена ВЭУ.

- сведения о типе ландшафта, который определяет шероховатость поверхности;
- сведения о рельефе вокруг площадки предполагаемого строительства ВИЭ.

Для создания модели изменения характеристик ветра в пространстве, помимо данных о скорости ветра, необходимы сведения о его направлении, а также о свойствах поверхности (рельеф), над которой распространяются ветровые потоки.

Все эти данные должны иметь точную географическую привязку. Поскольку существует целый ряд разнородных источников данных о скоростях ветра, характеризующихся различной степенью полноты, достоверности и адекватности, оправданным является проведение сравнительного анализа этих источников (*рис. 13*).



Рис.13. Общая картосхема Ленинградской области с расположением метеостанций

Алгоритм вычисления ветроэнергетического потенциала, реализованный в данном исследовании, представлен на рисунке 14.

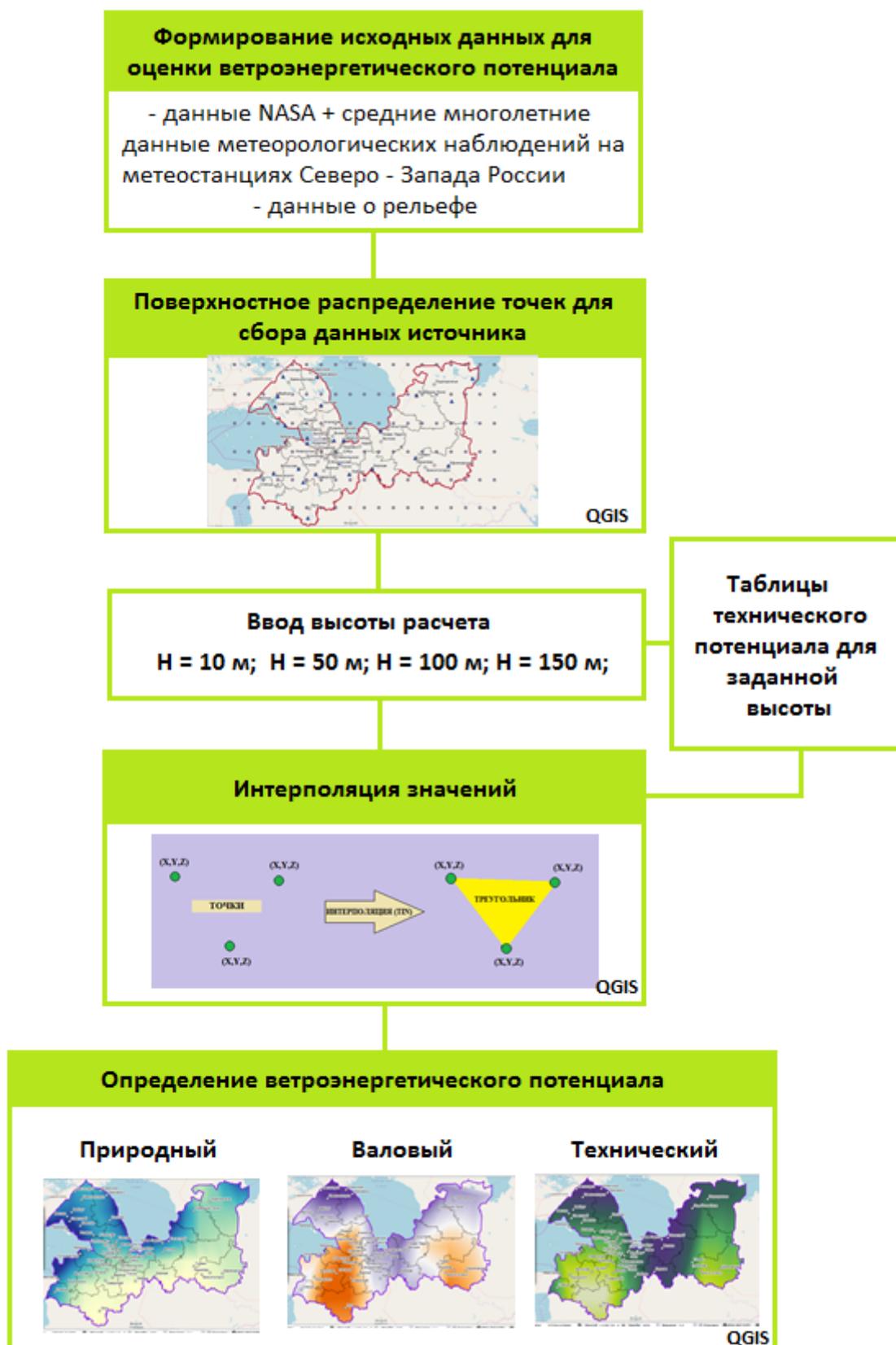


Рис. 14. Алгоритм вычисления ветроэнергетического потенциала

**Выходными данным** после проведения оценки ветроэнергетического потенциала с использованием программного продукта QGIS (версия 2.18) являются:

- слой природного ветроэнергетического потенциала территории Санкт-Петербурга и Ленинградской области на высоте 10 и 50 метров;
- слой валового ветроэнергетического потенциала (удельной мощности воздушной струи) на высоте 10, 50 метров;
- слой технического потенциала энергии ветра на высоте 50, 100 и 150 метров.

### 2.2.2. Потенциал солнечной энергии

Для оценки потенциала солнечной энергии в работе необходимо использовать следующие **исходные данные**:

- сведения о суммарной солнечной радиации;
- сведения о рассеянной солнечной радиации;
- сведения о продолжительности солнечного сияния;
- сведения о суммарной солнечной радиации, приходящей на горизонтальную поверхность (среднегодовые значения, средние сезонные значения, среднемесячные значения);
- сведения о суммарной солнечной радиации, приходящей на оптимально ориентированную поверхность;
- сведения о суммарной солнечной радиации, приходящей на наклонную поверхность (угол наклона равен широте);
- сведения о расчетах солнечных водонагревательных установок.

Для вычисления природного, валового и технического потенциала солнечной энергии на территории Санкт-Петербурга и Ленинградской области используется алгоритм, представленный на *рисунке 15*.

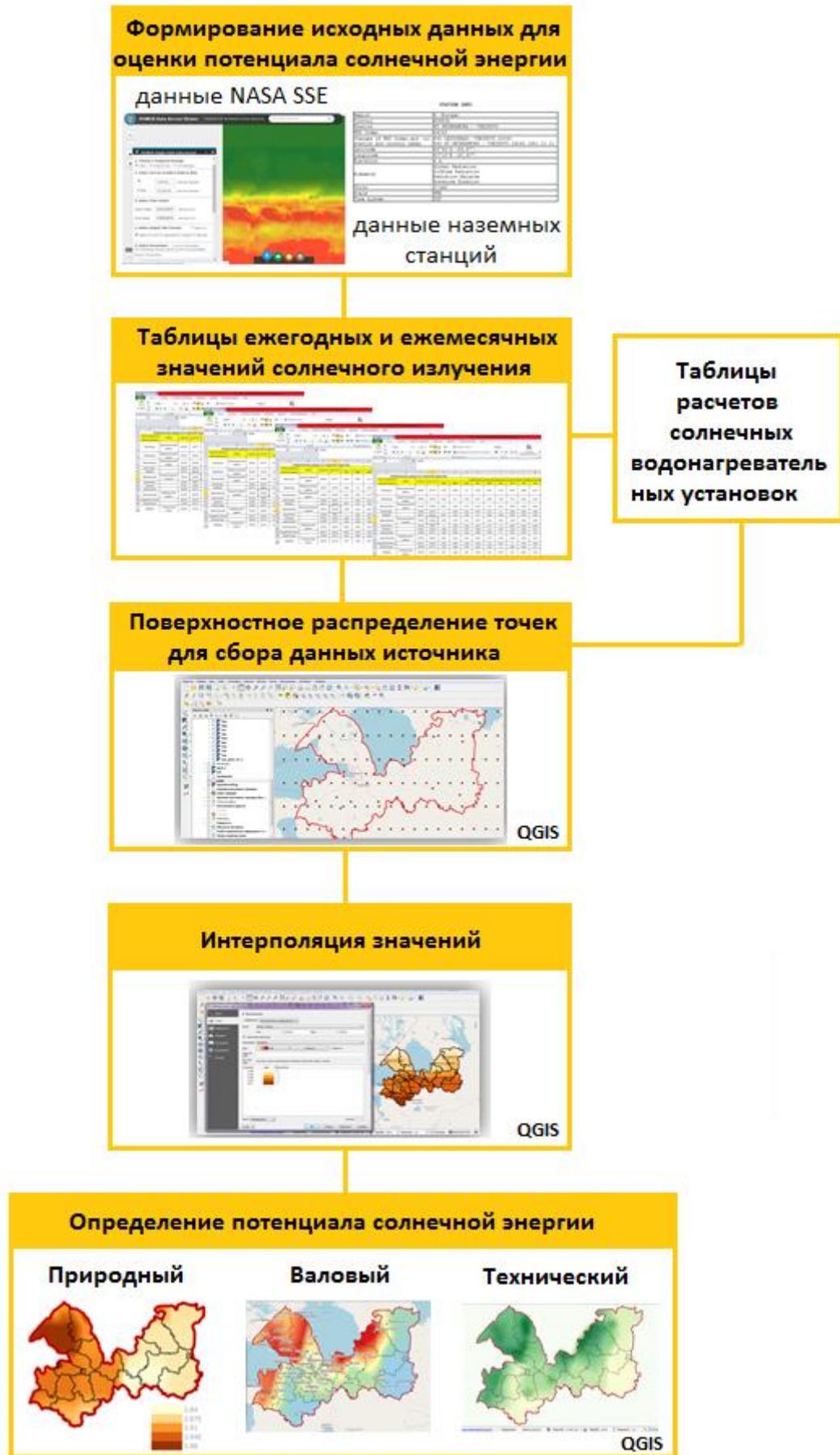


Рис. 15. Алгоритм вычисления потенциала солнечной энергии

**Выходными данными** после проведения оценки потенциала солнечной энергии являются:

- слои природного потенциала солнечной энергии по данным среднемесячных и среднегодовых показателей;
- слои валового потенциала солнечной энергии по данным суммарной солнечной радиации, приходящей на оптимально ориентированную поверхность и на наклонную поверхность (угол наклона равен широте);
- слой технического потенциала использования солнечной энергии коллектором согласно данным таблиц солнечных водонагревательных установок.

### 2.2.3. Потенциал гидроэнергии малых рек

Энергия потока реки в естественном состоянии расходуется на преодоление сил трения между частицами воды внутри самого потока и между потоком и его ложем. Внешне работа рек проявляется в размывах русел, переносе взвешенных наносов и перекачивании по дну частиц гравия, гальки, камней.

На любом исследуемом участке реки работа водного потока определяется действием силы тяжести, точнее его проекцией по направлению движения, следовательно, совершаемая водой работа определяется разностью уровней воды в начале и конце рассматриваемого участка реки. При разности уровней  $H$  (м) и среднем на выбранном участке реки расходе воды  $Q$  (м<sup>3</sup>/с) мощность водотока  $N$  (Вт) рассчитывается по следующим формулам:

$$N = \rho \cdot g \cdot Q \cdot \Delta H = 9810 \cdot Q \cdot \Delta H, \quad (2)$$

где  $N$  – мощность водотока, кВт;  $\rho$  – плотность воды, кг/м<sup>3</sup>;  $g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>, или

$$N = 3,81 \cdot Q \cdot \Delta H. \quad (3)$$

При расчёте полезной мощности и выработки электроэнергии в *формуле 2* учитывается коэффициент полезного действия, который представляет собой отношение отдаваемой и приводимой мощностей. По *формуле 3* рассчитывается теоретически возможные потенциальные гидроресурсы, которые могут быть использованы для нужд энергетики.

Анализ источников данных и существующих методик расчетов, используемых для оценок ресурсного потенциала, позволил установить значения валового и технического

потенциала ресурсов солнечной и ветровой энергии, гидроэнергии малых рек на территории Санкт-Петербурга и Ленинградской области, что в дальнейшем будет являться исходными материалами для проведения сравнительного анализа с данными, полученными по результатам работы проектируемой информационно-аналитической системы.

Информация об объектах возобновляемой энергии, действующих на сегодняшний день, систематизирована и представлена на *рисунке 16*.



*Рис.16. Карта-схема возобновляемых источников энергии Санкт-Петербурга и Ленинградской области, масштаб 1:2000000*

По результатам оценки ресурсов солнечной, ветровой энергии и гидроэнергии малых рек можно сделать следующие выводы:

- Наличие высокого уровня природно-климатического потенциала ветровой энергии может послужить основой для разработки технических и экономических проектов, которые могут быть реализованы на государственном уровне для оптимального использования ветрового ресурса;

- Использование ресурсов ветра, солнца и воды в большом или малом масштабе является перспективным направлением и определяется объективной потребностью государства;
- Ввод в энергооборот Ленинградской области объектов возобновляемой энергетики реален и окупаем по затратам. Кроме того, использование этих видов энергии позволяет снизить уровень загрязнения окружающей среды;
- При создании геоинформационной системы «Возобновляемые источники энергии Санкт-Петербурга и Ленинградской области» необходимо учесть ряд особенностей региона: рельеф, тип растительности, близость к водоемам, эффект затененности от объектов, расстояние от береговой черты, препятствия на местности;
- Изучение методик расчетов ветроэнергетического потенциала, потенциала солнечной энергии и гидроэнергии малых рек позволяет выбрать необходимые показатели для наглядного отображения в ГИС потенциальных территорий для размещения объектов ВИЭ;
- Разработка информационно-аналитической ГИС «Возобновляемые источники энергии Санкт-Петербурга и Ленинградской области» будет способствовать развитию ВИЭ, что приведет к возрастанию конкурентоспособности между энергетическими объектами и дальнейшему снижению себестоимости энергии.

Результаты данного этапа научно-исследовательской работы были представлены на XIII БОЛЬШОМ ГЕОГРАФИЧЕСКОМ ФЕСТИВАЛЕ (БГФ-2017), посвященном 220-летию выдающегося русского мореплавателя, географа, вице-председателя Русского географического общества Ф.П. Литке (7-9 апреля 2017 г.) СПбГУ, Институт наук о Земле, Санкт-Петербург; на XXIV Международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «ЛОМОНОСОВ-2017», МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва; на II Международной научно-практической конференции «Геодезия, Картография, Геоинформатика и Кадастры. От идеи до внедрения» (ГеоКа 2017) 08- 10 ноября 2017, Санкт-Петербург.

### **ГЛАВА 3. СТРУКТУРА ГЕОИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ «ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ САНКТ- ПЕТЕРБУРГА И ЛЕНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ» И РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ**

При выборе территории для установок объектов возобновляемой энергетики необходимо учитывать комплекс природных, социальных и экономических факторов, влияющих на возможность размещения. Согласно тенденциям развития в области энергетики и объективной потребности государства в эффективном применении возобновляемых источников энергии, использование геоинформационных технологий является актуальной задачей на сегодняшний день.

Подготовка проектов на базе геоинформационных систем позволяет ускорить процесс уже на первых этапах подготовки исследований в области развития возобновляемой энергетики в России.

Недостаточность количества исследований о научных закономерностях, принципах и идеях, составляющих концептуальную и организационно-технологическую основу принятия управленческих решений размещения объектов ВИЭ, определяет ряд вопросов, касающихся принятых и действующих нормативно-правовых актов, и программ в стране.

Внедрение технологий возобновляемой энергетики как социально-экономического заказа государства в условиях мирового тренда ограниченных ресурсов, для реализации проектов, главной целью которых являются вопросы экологичности и энергоэффективности используемых методов, позволяет сделать вывод о необходимости и актуальности разработки системы принятия решений ГИС ВИЭ для Санкт-Петербурга и Ленинградской области.

Основанные на использовании возобновляемой энергетики геоинформационные системы позволяют:

- визуализировать всю доступную информацию в одном программном продукте;
- проводить анализ пригодности территории для объектов ВИЭ путем совмещения слоев с различной информацией в режиме реального времени;
- вводить дополнительные параметры об установках ВЭ;
- проводить мониторинг изменяющихся условий в работе систем энергообеспечения, тем самым актуализируя и обновляя информацию для потребителей;

- совмещать множество ограничительных факторов, влияющих на пригодность территории для внедрения возобновляемых технологий производства энергии.

Для создания геоинформационной системы «Возобновляемые источники энергии Санкт-Петербурга и Ленинградской области» были определены следующие этапы реализации разработанной концепции проекта (рис. 17):



*Рис. 17. Блок-схема методики оценки и реализации проекта ГИС ВИЭ СПб и ЛО*

**1 этап.** Подготовка исходных данных.

Данный этап включал в себя: анализ первичных данных о характеристиках местности; анализ климатических данных; оценку возобновляемых энергетических ресурсов солнца, ветра; анализ энергопотребления области;

Результатом данного этапа являлось создание базы данных для геоинформационной системы, группы слоев природных ресурсов, созданных на основе программного продукта QGIS (среды графической визуализации географических данных), которые включали в себя слои:

- суммарной солнечной радиации;
- рассеянной солнечной радиации;
- продолжительности солнечного сияния;

- суммарной солнечной радиации на горизонтальную поверхность (среднегодовые значения, средние сезонные значения, среднемесячные значения);
- средних скоростей ветра на высотах 10 и 50 м, 100 и 150 м (среднегодовые значения);
- повторяемости скоростей ветра на высоте 50 метров;
- максимальных скоростей ветра;

**2 этап.** Моделирование работы установок ВИЭ с учетом технических параметров.

Согласно алгоритмам расчетов энергопотенциала, рассмотренных в главе 2 с применением условий моделирования, на данном этапе выполняется оценка валового и технического потенциалов ресурсов в месте размещения.

Результатом работ на данном этапе будет являться группа слоев валового и технического потенциала ресурсов солнечной, ветровой энергии:

- Суммы суммарной солнечной радиации, приходящей на оптимально ориентированную поверхность;
- Суммы суммарной солнечной радиации, приходящей на наклонную поверхность (угол наклона равен широте);
- Технического потенциала использования солнечной энергии коллектором площадью 2м<sup>2</sup>;
- Удельной мощности воздушной струи на высоте 50 метров;
- Годовой удельной энергии ветра на высоте 50 и 100 метров.

**3 этап.** Оптимизация параметров установок на основе критериев ограничений для размещения установок и поиск технологических решений ГИС, позволяющих синтезировать всю доступную информацию.

Критериями ограничений являлись ряд природных, экономических, технических, экологических и социальных факторов:

- тип растительности;
- рельеф местности;
- земельные ресурсы;
- лесные земли, сельскохозяйственные земли, земли запаса;
- близость к водоемам и их буферные зоны;
- орнитологические территории;
- наличие препятствий на местности;
- расстояние от береговой черты;
- эффект затененности от объектов;

- наличие территорий особо охраняемых природных комплексов, памятников культуры;
- районы опасных природных явлений;
- транспортно-дорожная сеть;
- занятость населения;
- действующие объекты традиционной энергетики и возобновляемой энергетики;
- энергопотребление по районам;
- линии электропередач;

Последовательное выполнение трех этапов позволит провести пространственный анализ данных о территориях, наиболее перспективных для размещения объектов ВИЭ, а также представить пользователю активный визуальный и инструментальный диалог с геоинформационной системой. Важным является задача разработки простого в использовании интерфейса по предоставлению полученных результатов территориальных связей объектов и явлений в ГИС.

В качестве программного обеспечения для формирования, обработки и визуализации данных была выбрана свободная географическая информационная система с открытым кодом QGIS (версия 2.18.1), которая позволяет достаточно полно реализовать необходимые функции проекта.

Функции и запросы, выполняемые системой и рассмотренные в главе 1 пункте 1.2. обеспечат возможности пространственного анализа данных и наглядного отображения результатов анализа в ГИС.

Верификация разработанной геоинформационной системы «Возобновляемые источники энергии Санкт-Петербурга и Ленинградской области» позволит определить технологические решения для определения областей размещения солнечных, ветровых установок возобновляемой энергетики и объектов малой энергетики.

### **3.1. Представление данных солнечных ресурсов Санкт-Петербурга и Ленинградской области в ГИС**

Данные солнечной радиации были получены путем моделирования в системе NASA SSE (Surface Meteorology and Solar Energy). На сегодняшний день указанный источник очень востребован пользователями, потому что полученные данные имеют

глобальный территориальный охват и затрагивают длительный временной период. Проект содержит информацию о распространении солнечного излучения в атмосфере с учетом состояния облачности, альбедо земной поверхности и содержащихся в атмосфере аэрозолей и других составляющих. Данные представлены на основе математического моделирования начиная с 1983 г. по настоящее время. Ресурс доступен в открытом доступе. Информация постоянно обновляется и дополняется, включает в себя широкий набор рассчитанных значений актинометрических и метеорологических величин для узлов сетки  $0,5^\circ$  на  $0,5^\circ$ .

Верификация методов расчета солнечной радиации осуществляется с привлечением данных наземных измерений, в том числе нескольких российских метеостанций. Ценность базы данных NASA определяется тем, что она позволяет восполнить недостаток наземных измерений. Учет параметров рельефа местности, типа подстилающей поверхности, климатических характеристик позволяет обоснованно проводить оценки потенциалов и говорить о структурированности массива данных, представленных данным ресурсом.

Обновленный сайт [www.power.larc.nasa.gov/new/](http://www.power.larc.nasa.gov/new/) разрешает скачивать данные месячной и годовой солнечной активности, полученные от многочисленных наземных станций, а также из спутниковых снимков с помощью алгоритма коротких волн Pinker/Laszlo.

С использованием методологии данной системы на основе реализации методов интерполяции из спутниковых изображений ресурса возможно получить значения солнечных уровней радиации на горизонтальную ( $\text{кВт}/\text{м}^2/\text{день}$ ), наклонную ( $\text{кВт}/\text{м}^2/\text{день}$ ) и нормальную поверхность ( $\text{МДж}/\text{м}^2$ ).

В качестве исходных данных по солнечной радиации используются значения 221 точек, покрывающих всю территорию Санкт-Петербурга и Ленинградской области. Каждая точка содержит среднее значение радиации для конкретного места с учетом разрешения базы данных NASA SSE (рис. 18).

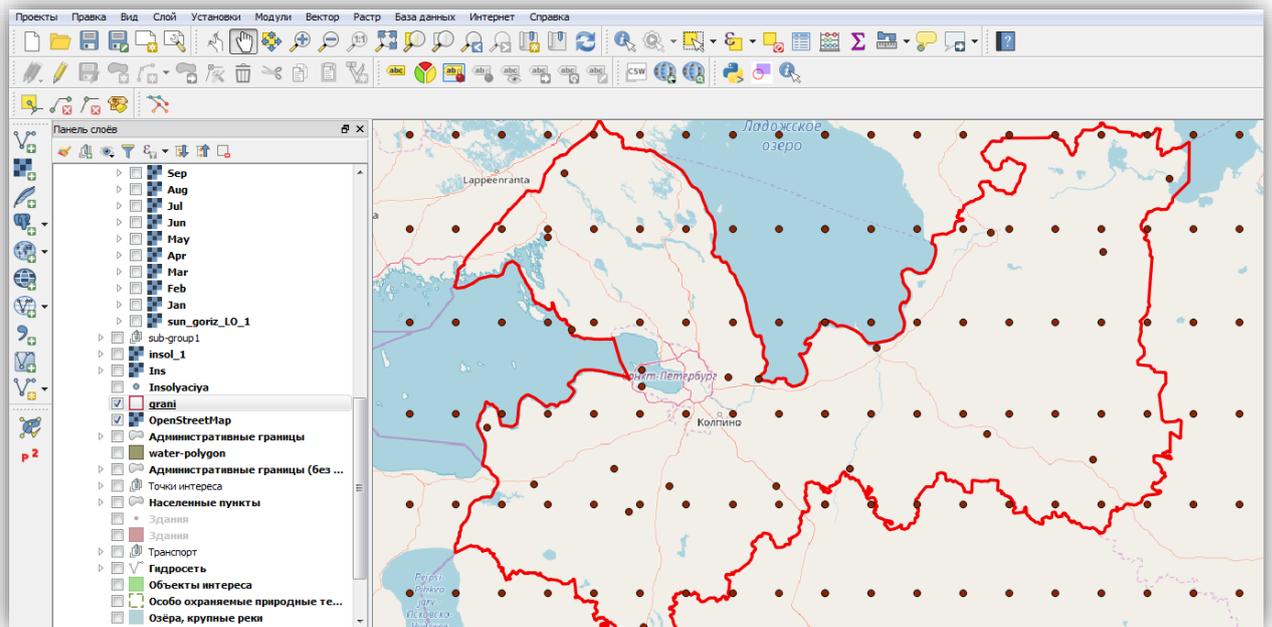


Рис. 18. Поверхностное распределение точек для сбора данных суммарной солнечной радиации на горизонтальную поверхность источника NASA SSE и данных наземных станций

Полученные значения солнечной радиации со спутниковых снимков были представлены в табличном виде, что стало возможным нанести их на исследуемую территорию и с помощью метода интерполяции получить карты, отображающие количество солнечной энергии, приходящей на поверхность, используя программное обеспечение QGIS.

**Метод интерполяции.** Моделирование солнечного излучения, которое попадает на поверхность, осуществлялось с помощью триангуляционного метода (TIN). Данный метод позволяет посредством построения треугольников из известных точек получить модель солнечной активности (рис. 19).

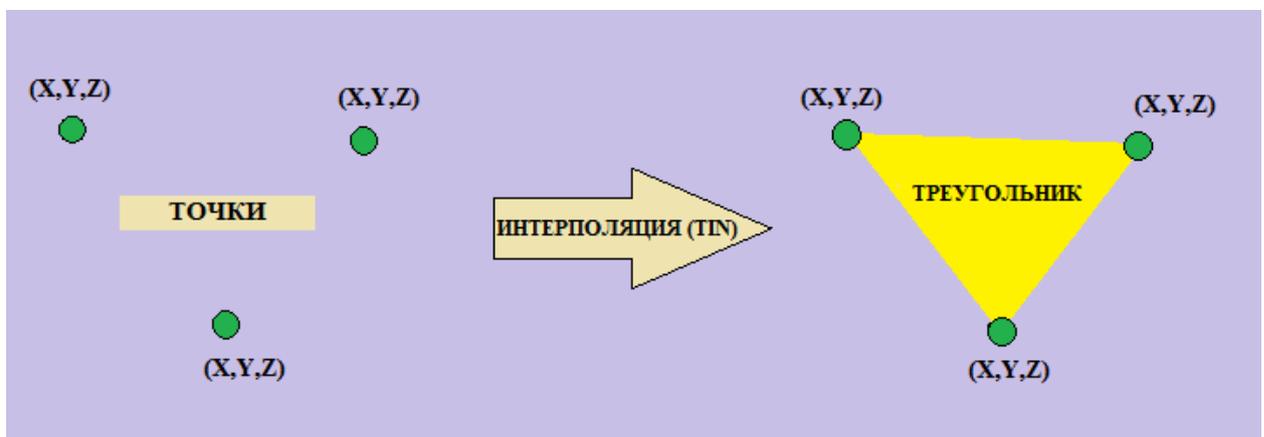
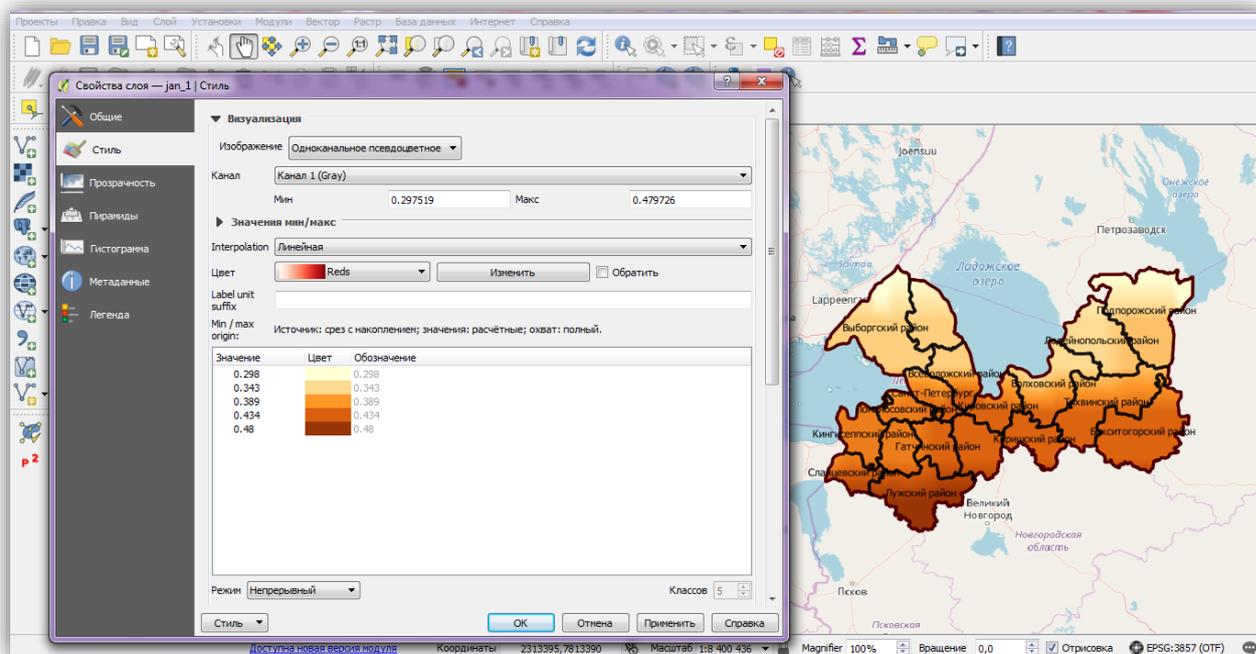


Рис. 19. Структура треугольной интерполяции (TIN)

В процессе интерполяции прямых линий из каждого треугольника создаются модели изолиний. Таким образом, в каждом треугольнике хранится топологическая информация о соседних треугольниках, образуя сетку.

«Модуль интерполяции» в QGIS позволяет интерполировать значения из точечного слоя в непрерывный растр с использованием методов триангуляции (TIN) или обратного взвешивания расстояний. Результат данного процесса представлен ниже на *рисунке 20*.



*Рис. 20. Среднемесячное значение суммарной солнечной радиации на горизонтальную поверхность в январе, полученное методом интерполяции (TIN) в QGIS.*

Благодаря использованию модуля «Интерполяция» были получены среднемесячные и среднегодовые значения солнечного излучения. В результате серию полученных данных можно представить в виде атласа солнечного энергетического природного потенциала территории Санкт-Петербурга и Ленинградской области (*Рис. 21*).

Данные атласа позволяют проводить количественную оценку приходящей солнечной радиации на поверхность исследуемой территории и могут стать инструментом анализа, необходимого для разработки проектов возобновляемой энергетики.

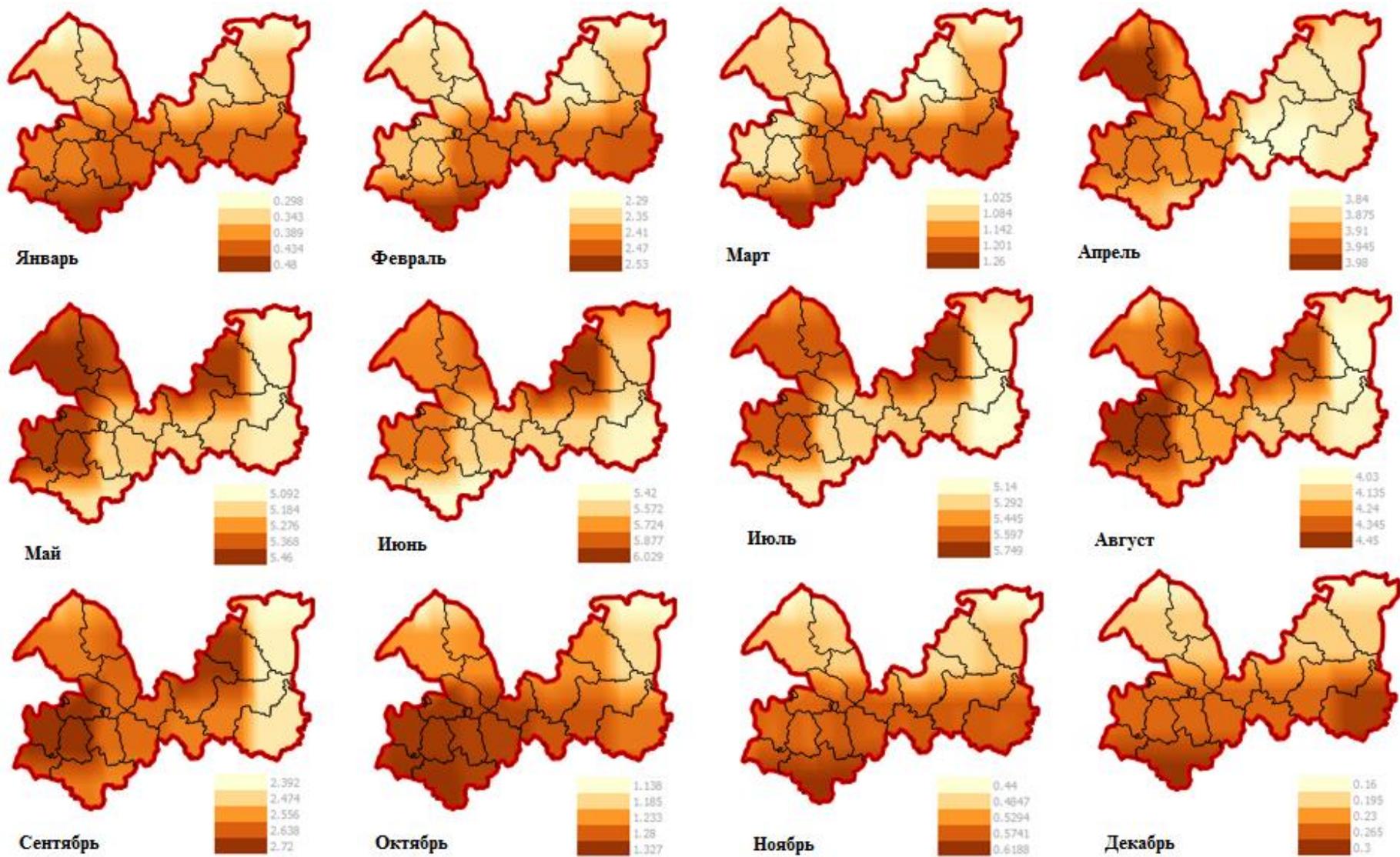


Рис. 21. Природный потенциал солнечной энергии территории Санкт-Петербурга и Ленинградской области. Среднемесячная суммарная солнечная радиация на горизонтальную поверхность (кВт/м<sup>2</sup>/день)

Среднесуточная солнечная радиация в теплый период времени (май-август) в Санкт-Петербурге составляет более 5 кВт/м<sup>2</sup>/день, а в некоторых районах Ленинградской области значения достигают 6 кВт/м<sup>2</sup>/день.

Среднегодовые суточные суммы суммарной солнечной радиации на горизонтальную поверхность в пределах региона составляют 2,6-2,8 кВт/м<sup>2</sup>/день, средние за теплый период времени (май-август) - 5,0-5,6 кВт/м<sup>2</sup>/день. Эти показатели являются хорошей предпосылкой осуществления выгодной эксплуатации солнечного ресурса в целях производства электроэнергии.

Для оценки валового потенциала использовались данные суммарной солнечной радиации на наклонную поверхность (угол наклона равен широте) и прямой солнечной радиации на нормальную поверхность.

В качестве исходных данных использовались значения 100 точек, покрывающих территорию Санкт-Петербурга и Ленинградской области. Каждая точка содержит среднее значение радиации на наклонную и нормальную поверхность для конкретного места с учетом разрешения базы данных NASA SSE (рис. 22).

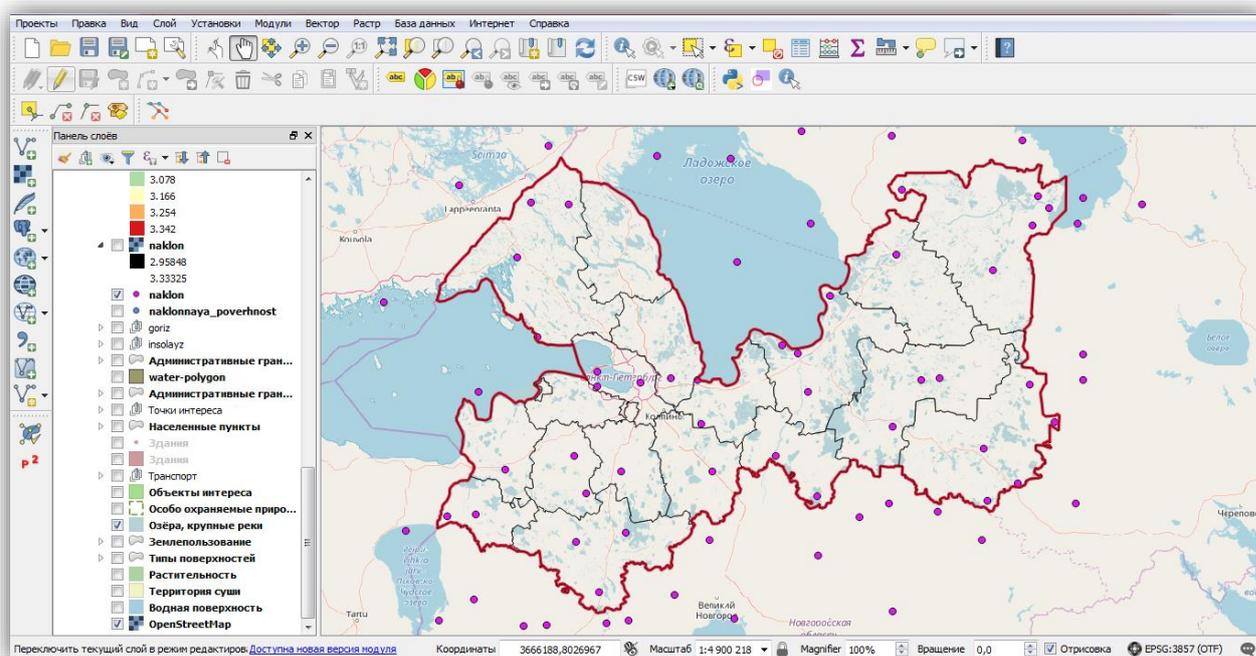


Рис. 22. Поверхностное распределение точек для сбора данных суммарной солнечной радиации на наклонную поверхность (угол наклона равен широте) и прямой солнечной радиации на нормальную поверхность источника NASA SSE.

В результате моделирования были получены растровые слои на исследуемую область с отображением диапазонов высоких, средних и низких значений валового потенциала солнечной энергии. Итоговый результат представлен на рисунках 23 и 24.

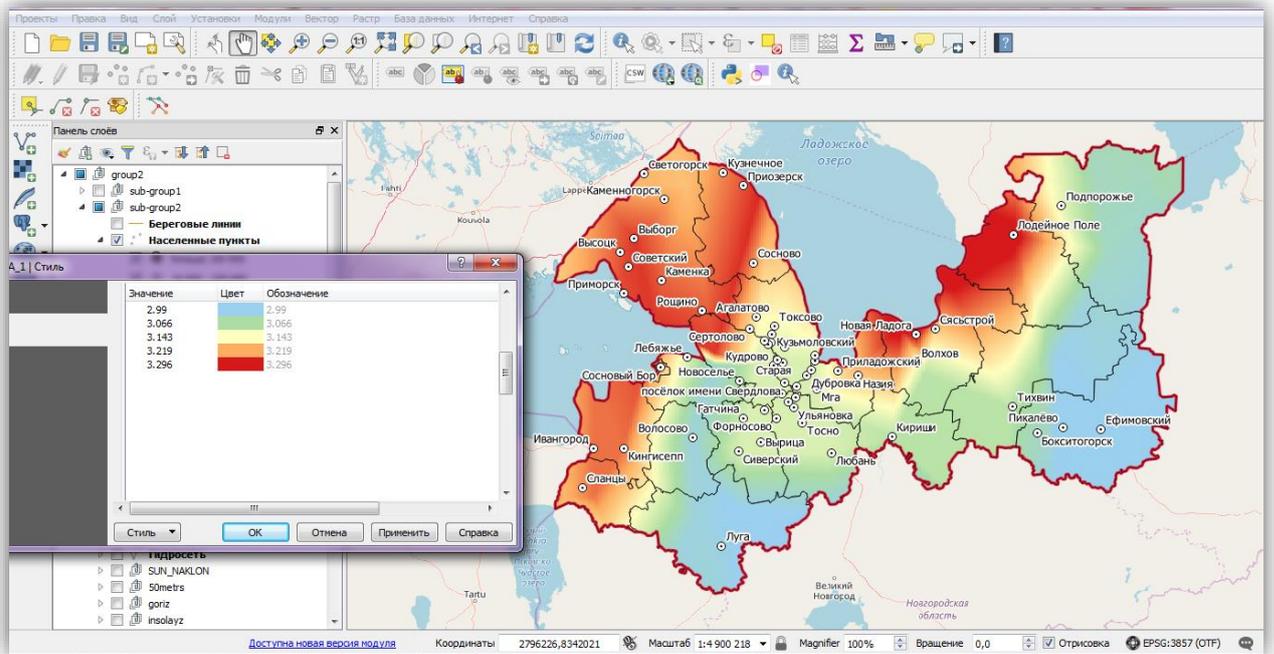


Рис. 23. Валовый потенциал солнечной энергии территории Санкт-Петербурга и Ленинградской области. Суммы суммарной солнечной радиации, приходящей на оптимально ориентированную поверхность (в кВт\*ч/м<sup>2</sup>/год).

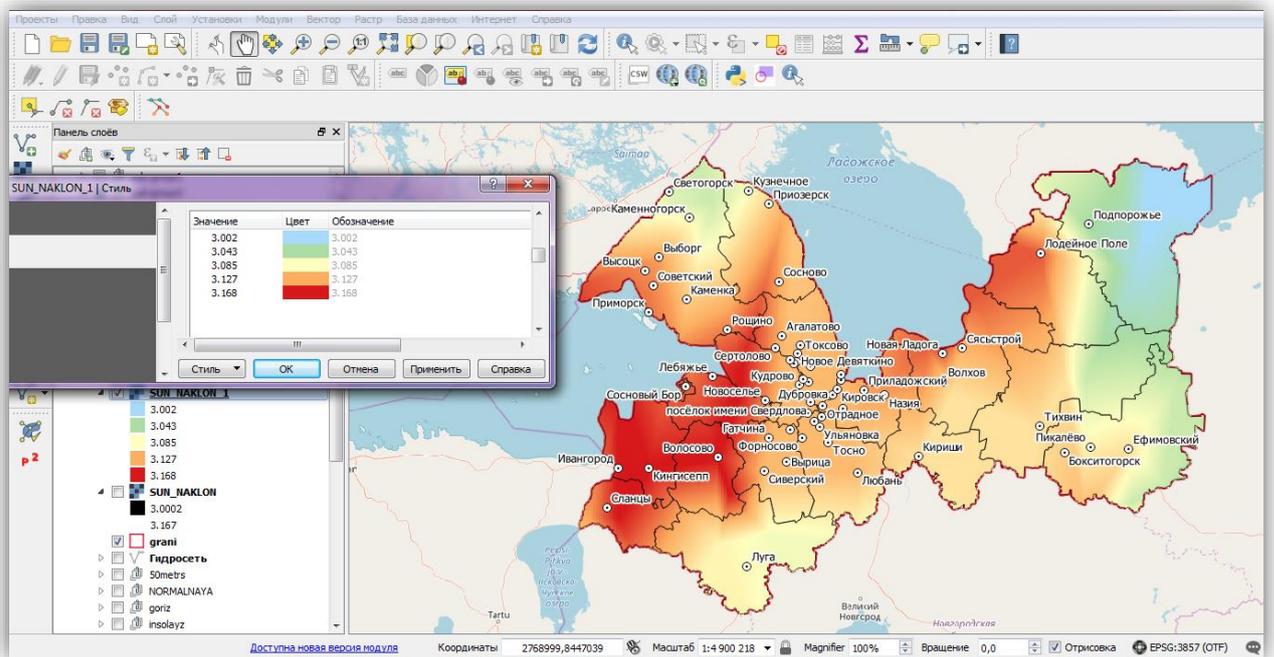


Рис. 24. Валовый потенциал солнечной энергии территории Санкт-Петербурга и Ленинградской области. Суммы суммарной солнечной радиации, приходящей на наклонную поверхность (угол наклона равен широте) (в кВт\*ч/м<sup>2</sup>/год).

Для определения солнечного технического потенциала необходимо пользоваться расчетами солнечных водонагревательных установок.

Такие фотоэлектрические модули как солнечные коллекторы позволяют нагревать большое количество воды (150 литров в сутки и более) от солнечного излучения с коэффициентом полезного действия, достигающим 90 %. Ниже в *таблице 5* представлены данные нагреваемого количества воды (литров в сутки) до температуры равной 25<sup>0</sup>С для солнечного коллектора, площадью 2м<sup>2</sup>.

*Таблица 5. Данные нагреваемого количества воды (литров в сутки) до температуры равной 25<sup>0</sup>С для солнечного коллектора, площадью 2м<sup>2</sup>.*

<b>Месяц</b>	<b>Количество воды, нагреваемое на 25<sup>0</sup>С, литров в сутки</b>
Январь	54
Февраль	128
Март	209
Апрель	261
Май	302
Июнь	300
Июль	299
Август	269
Сентябрь	200
Октябрь	121
Ноябрь	72
Декабрь	37

*По данным солнечных коллекторов с номенклатурой НН-POLY, площадью 2м<sup>2</sup>, установленных на территории Ленинградской области*

*([www.helios-house.ru](http://www.helios-house.ru), Данные компании Гелиос Хаус Санкт-Петербург)*

На *рисунке 25* представлены результаты пространственного распределения расчетных показателей эффективности использования индивидуальных солнечных водонагревательных установок с солнечным коллектором, площадью 2 м<sup>2</sup>.

В качестве показателя эффективности была использована доля покрытия нагрузки горячего водоснабжения за счет солнечной энергии. Моделирование отражает временной

период теплого сезона в регионе (май–август), характерный для использования солнечных установок.

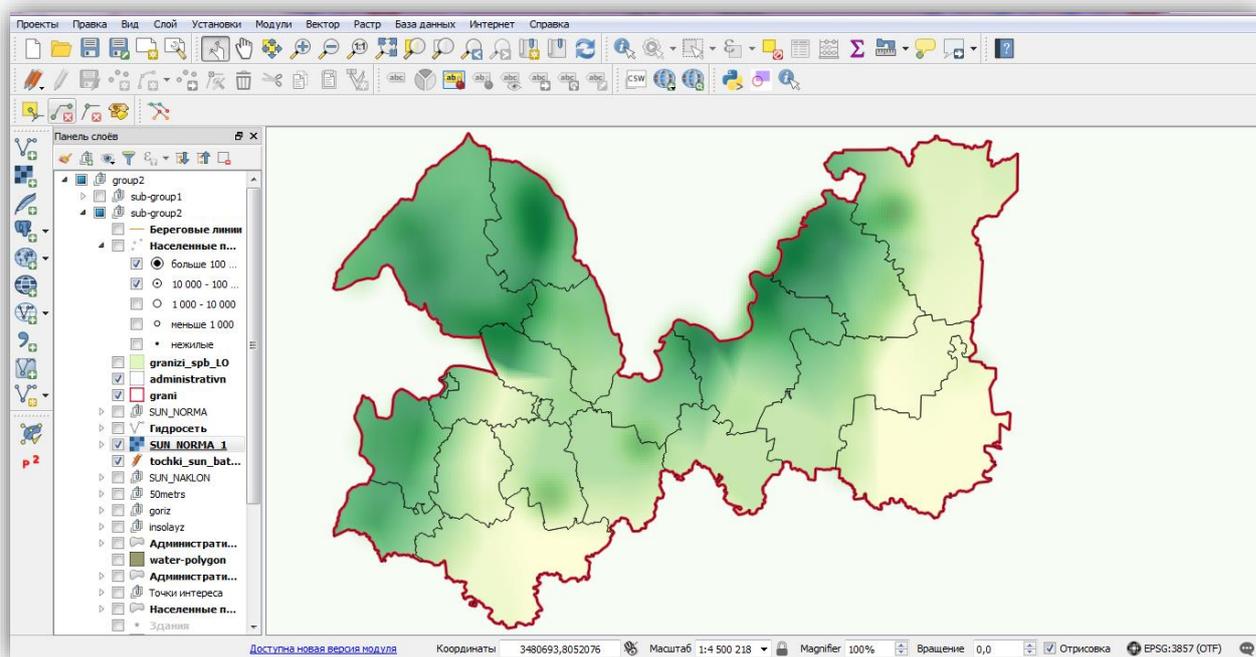


Рис. 25. Технический потенциал использования солнечной энергии для территории Санкт-Петербурга и Ленинградской области.

### 3.2. Представление данных ветрового ресурса в ГИС «Возобновляемые источники энергии Санкт-Петербурга и Ленинградской области»

В результате правильной оценки ветрового ресурса можно выявить основные места с высокими показателями активности природного потенциала территории. В связи с этим одну из задач разработки ГИС ВИЭ СПб и ЛО можно решить, используя методы математического моделирования и анализа данных, полученных из различных источников. Выбор источников данных зависит от степени надежности и территории покрытия исследуемой области (плотности распределения). Поэтому при составлении карт природного, валового и технического потенциалов ветровой энергии целесообразно использовать методы интерполяции.

База данных, используемая при составлении слоев ветропотенциала, была получена из ресурсов открытой среды NASA POWER (Prediction Of Worldwide Energy Resources) и включала в себя массив данных, состоящий из значений 7400 точек по ветровому потоку (с 1981 по 2017 год). На *рисунке 26* показано их пространственное распределение.

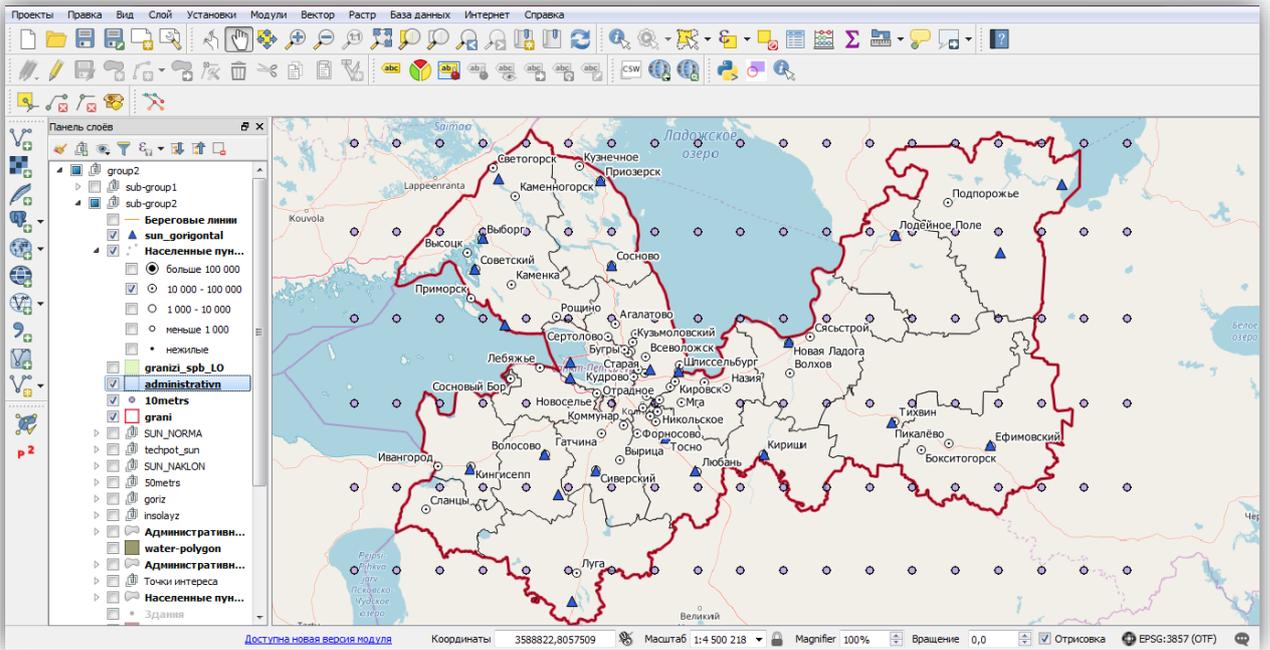


Рис. 26. Поверхностное распределение точек для сбора данных источника

Последовательно были обработаны данные средних скоростей ветра на высоте 10 и 50 метров (в м/с) и получены следующие результаты, представленные ниже.

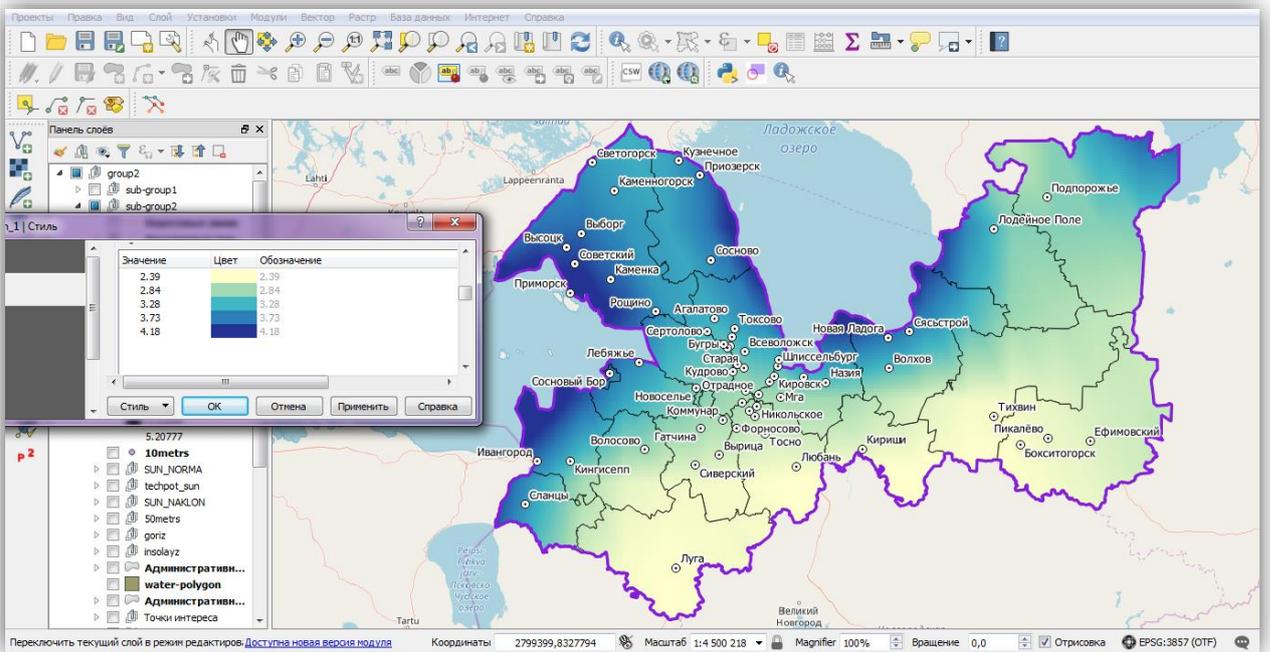
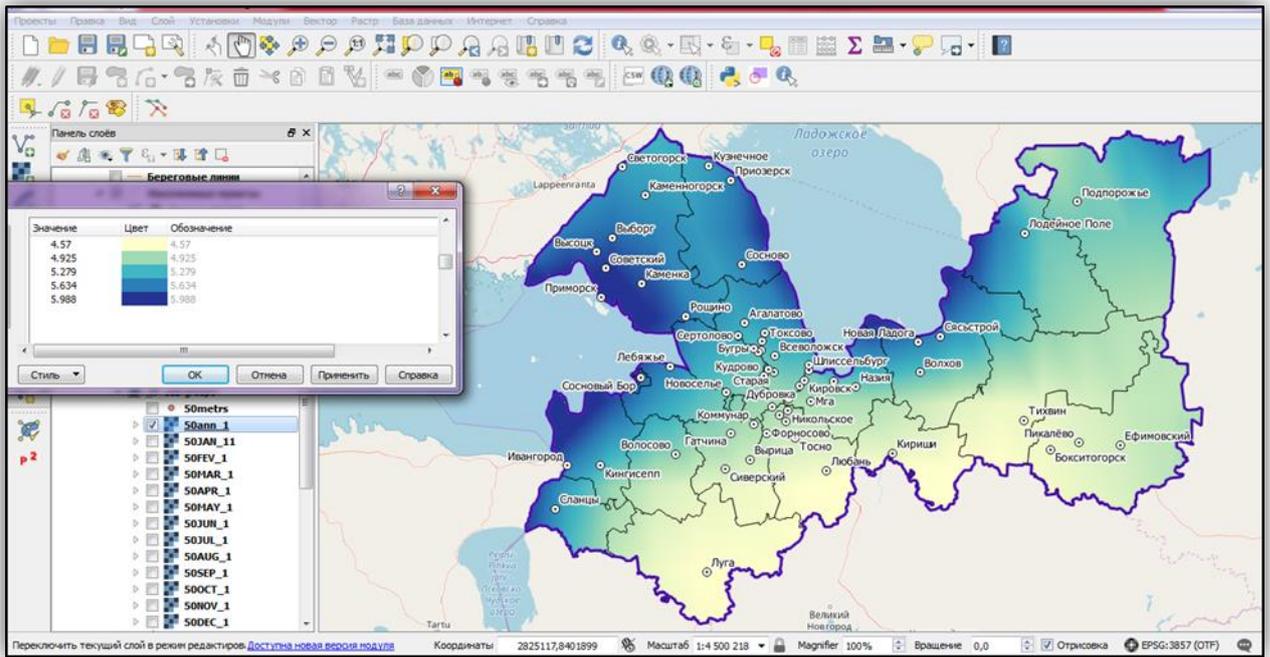


Рис. 27. Природный ресурс энергии ветра территории Санкт-Петербурга и Ленинградской области на высоте 10 метров (по данным NASA POWER и наземных метеостанций).



*Рис. 28. Природный ресурс энергии ветра территории Санкт-Петербурга и Ленинградской области на высоте 50 метров (по данным NASA POWER и наземных метеостанций).*

Как показано на *рисунке 28* средняя за год скорость ветра варьируется в значениях от 5 до 6 м/с на высоте 50 метров над уровнем поверхности. Как можно заметить, зоны с наибольшим природным ресурсом находятся в северо-западной части области, в основном вдоль побережья. Это объясняется явлением сезонных ветров с побережья Финского залива и Ладожского озера.

С учетом условий климатических переменных, таких как направление и повторяемость ветра, препятствий на местности и типа рельефа можно заметить расхождение показаний средней скорости ветра на высоте 10 и 50 метров приблизительно на 1 м/с.

В результате серию полученных данных можно представить в виде атласа ветрового энергетического природного потенциала территории Санкт-Петербурга и Ленинградской области (*Рис. 29*).

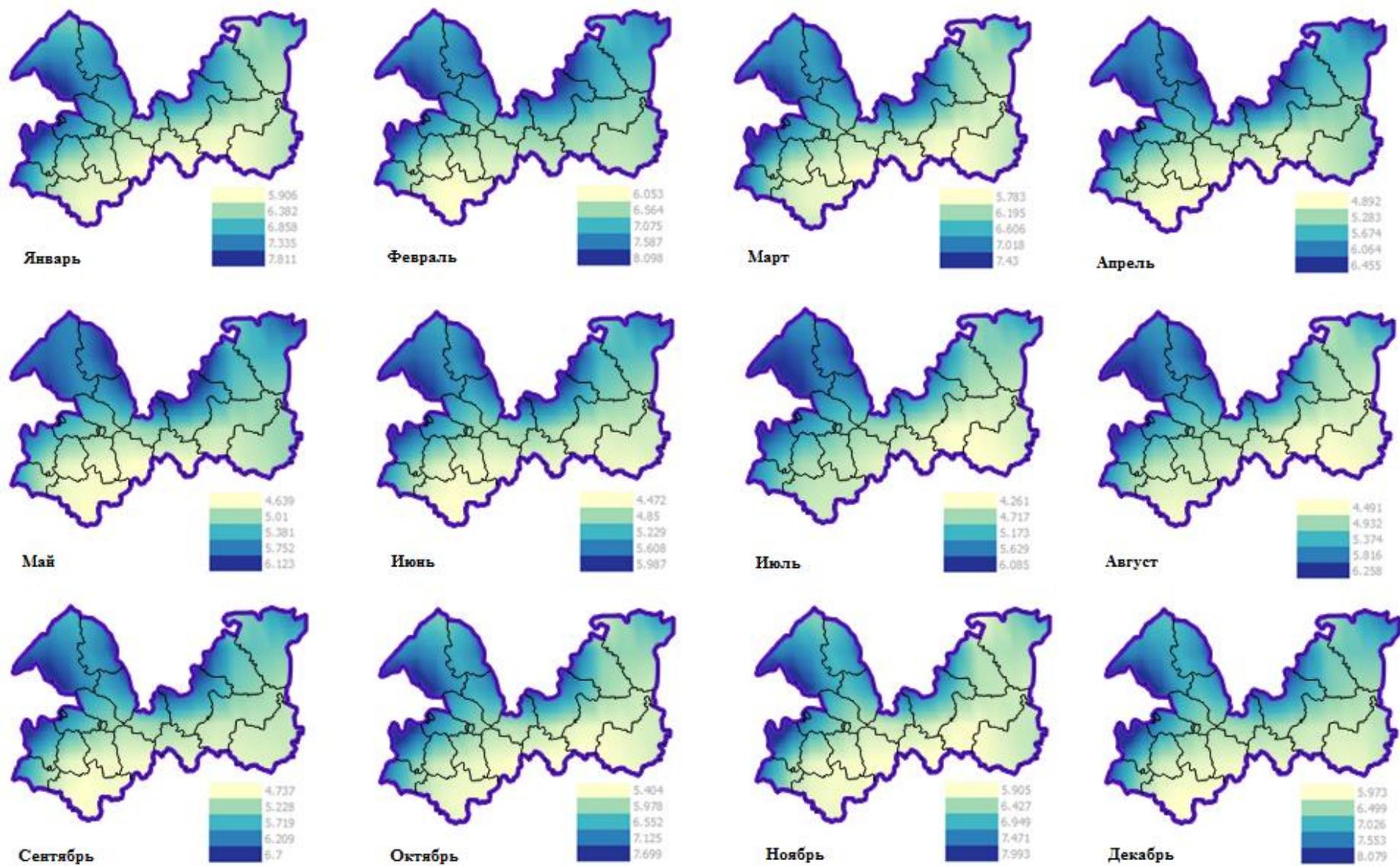
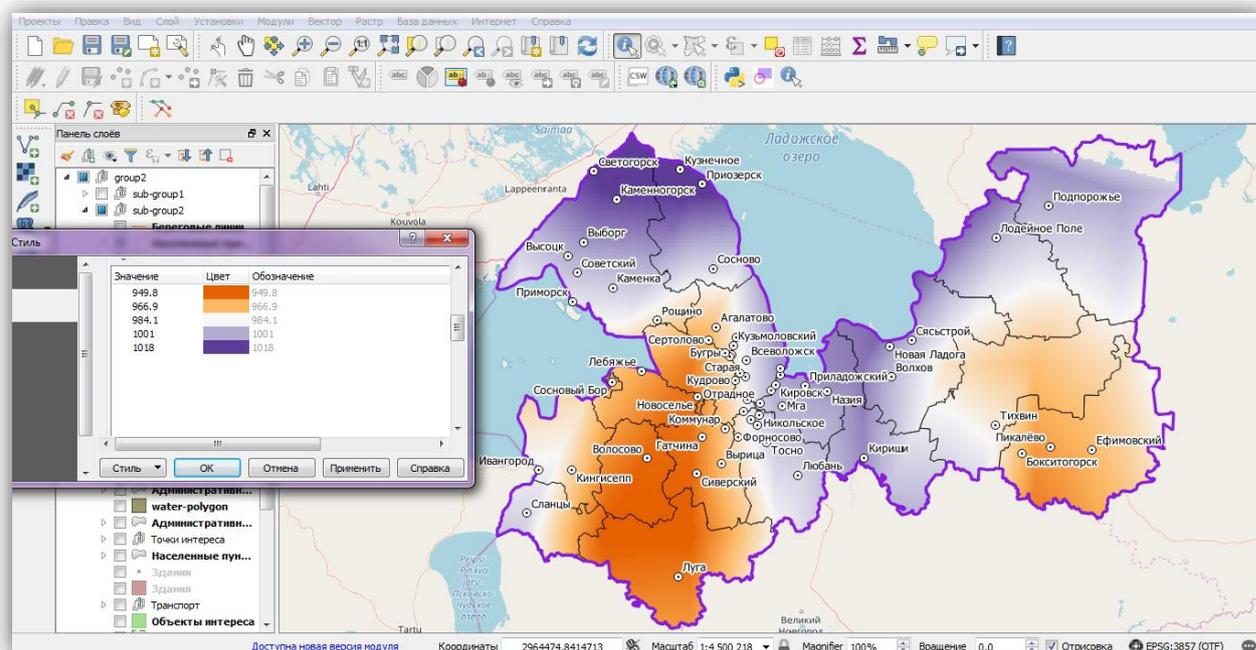


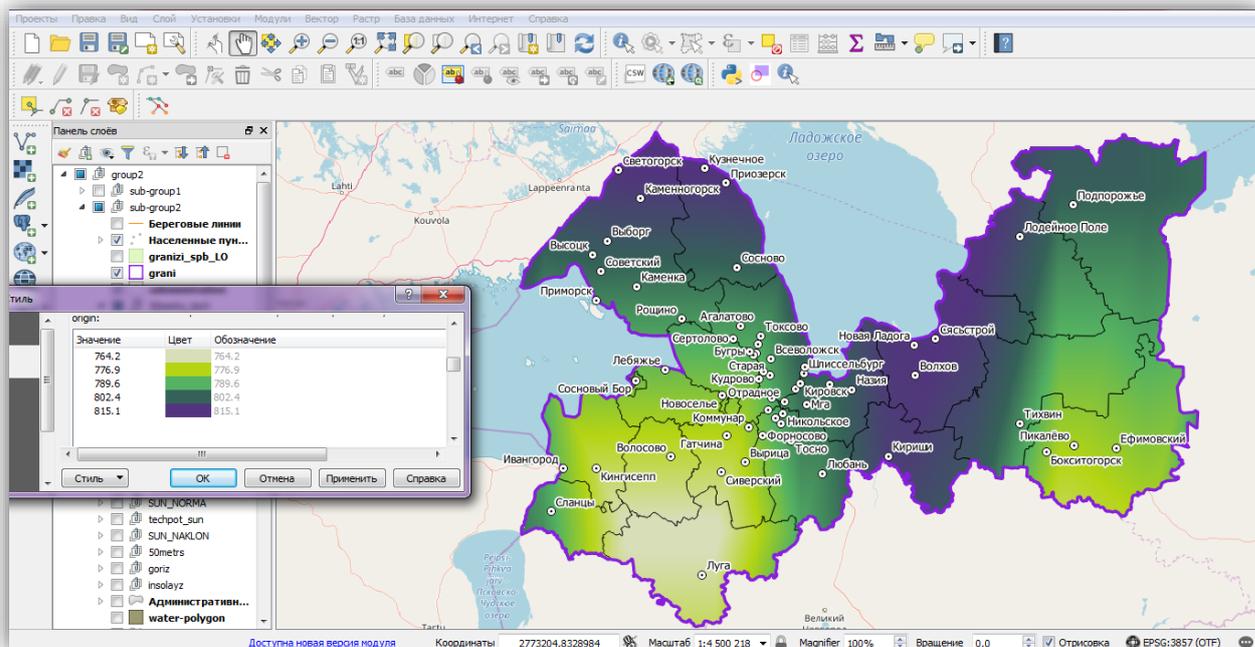
Рис. 29. Природный потенциал ветровой энергии территории Санкт-Петербурга и Ленинградской области. Средняя за год скорость ветра на высоте 50 метров (м/с).

Для оценки валового потенциала использовались данные удельной мощности воздушной струи на высоте 50 метров. По исходным значениям 100 точек, покрывающих территорию исследования, был получен следующий слой:



*Рис. 30. Валовый потенциал ветровой энергии территории Санкт-Петербурга и Ленинградской области. Удельная мощность воздушной струи на высоте 50 метров (в  $Вт/м^2$ ).*

Технический потенциал ветрового ресурса рассчитывался с использованием модели ветрового генератора марки NORDEX N 27–50, мощностью 150 кВт.



*Рис. 31. Годовой удельный технический потенциал энергии ветра территории Санкт-Петербурга и Ленинградской области на высоте 50 метров.*

Представление распределения технического потенциала ветрового ресурса на большей части страны позволяет определить зоны с наибольшими перспективами для развития объектов энергоснабжения с использованием ветровой энергии.

Проведение оценки ветрового потенциала Санкт-Петербурга и Ленинградской области послужат основой для разработки технических и экономических проектов, которые будут способствовать оптимальному использованию ветра для выработки энергии.

В результате проведения сравнения с данными скоростей ветра, полученными с наземных метеостанций, находящихся на побережье Финского залива и Ладожского озера, где наблюдаются значения высоких скоростей ветра (от 6 м/с до 12 м/с), подтверждает высокий потенциал.

### **3.3. Факторы ограничений и предпосылок для размещения установок ВИЭ**

Прогнозирование условий для размещения установок возобновляемой энергетики практически всегда базируется на информации выбранного определенного временного

периода, и, следовательно, все принимаемые проектные решения и расчеты всегда могут быть даны только с некоторой степенью достоверности, точностью и надежностью.

Изменчивость не только природных, но и социальных, экономических и экологических характеристик определяют необходимость учета многих факторов для принятия решений о выборе территории под создание комплекса возобновляемых источников энергии. Эти факторы могут являться как предпосылками для введения объектов ВИЭ, так и ограничениями. Разрабатываемая геоинформационная система «Возобновляемые источники энергии Санкт-Петербурга и Ленинградской области» предусматривает отображение ряда слоев с наглядной количественной и качественной информацией о некоторых возможных факторах ограничений и предпосылок для развития возобновляемой энергетики в регионе.

В результате исследования были отобраны следующие факторы, влияющие на размещение систем возобновляемых источников энергии (табл. 6).

*Таблица 6. Перечень предпосылок и ограничений, влияющих на размещение систем возобновляемых источников энергии для территории Санкт-Петербурга и Ленинградской области.*

<u>ПРЕДПОСЫЛКИ</u>	<u>ОГРАНИЧЕНИЯ</u>
Численность населения	Особо охраняемые природные территории
Действующие объекты традиционной энергетики и возобновляемой энергетики	Земли лесного фонда, сельскохозяйственные земли, земли запаса, земли обороны, безопасности и иного специального назначения
Энергопотребление по районам	Территории населенных пунктов
Занятость населения	Орнитологические территории
Транспортно-дорожная сеть	Препятствия на местности
Рельеф местности	Земли водного фонда, водоохранные зоны (близость к водоемам и их буферные зоны, расстояние от береговой черты)
Наличие научной базы и специалистов	Районы опасных природных явлений

Факторы ограничений и предпосылок представлены в виде тематических слоев, содержащих информацию о том или ином объекте, явлении и его свойствах, а также границе буферной зоны этого явления с использованием различных инструментов программы QGIS.

Путем операции «наложения» слоев друг на друга в определенной последовательности пользователю гис-системы представлена возможность визуального анализа места потенциального размещения объекта, учитывая особенности природного, социального, экономического характера.

В структуру геоинформационной системы «Возобновляемые источники энергии Санкт-Петербурга и Ленинградской области» были включены следующие слои ограничений и предпосылок для развития возобновляемой энергетики в регионе:

- *«Население»*

Слой отражает данные показателей численности населенных пунктов и плотности населения по муниципальным районам. Населенные пункты разделены на крупнейшие города (Санкт-Петербург), города с населением от 50 до 100 тысяч человек (Выборг, Гатчина, Сосновый бор), населенные пункты от 10 до 50 тысяч, от 1 до 10 тысяч и менее 1 тысячи. Использована относительная шкала условных знаков. Шрифтом выделены города, поселки, поселки городского типа и сельские населенные пункты.

По плотности населения выделено 4 типа территорий: высокая плотность населения (более 100 человек на километр квадратный) – городская территория Санкт-Петербурга, территории с плотностью населения от 20 до 100 и от 10 до 20 человек на км квадратный, территории с низкой плотностью населения – менее 10 человек на км<sup>2</sup>).

Источником для составления слоя «Население» послужили данные переписи населения Росстата (<http://www.gks.ru/>).

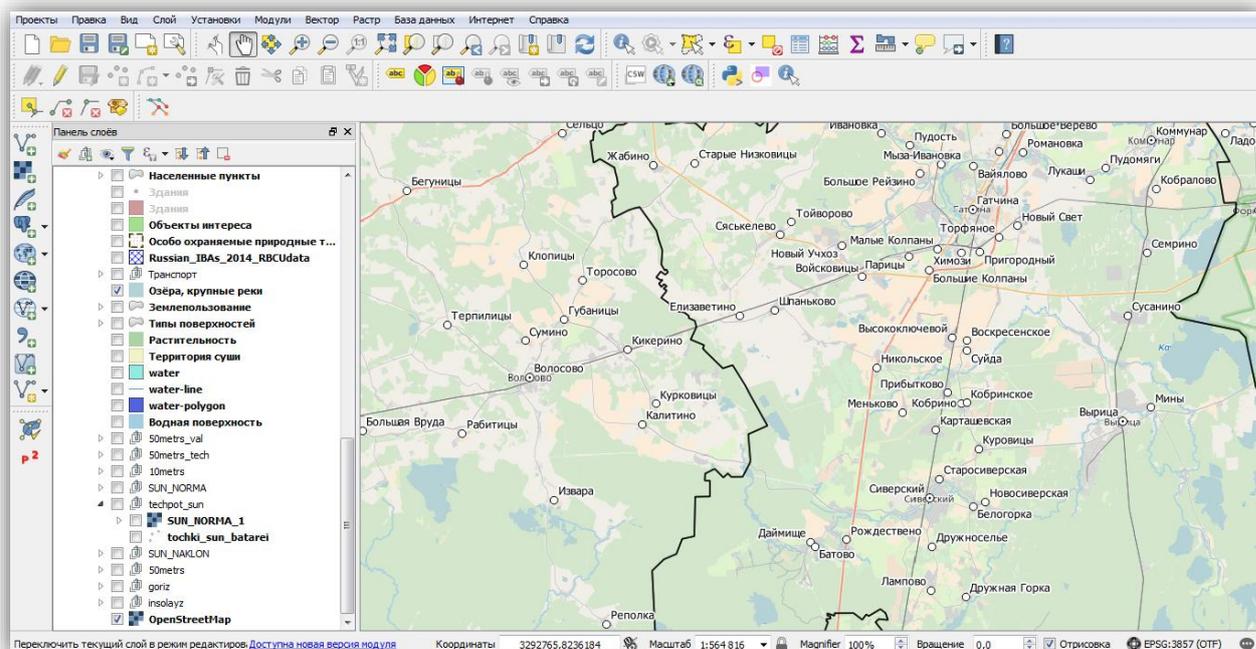


Рис. 32. Слой «Население» ГИС ВИЭ СПб и ЛО

- «Транспортно-дорожная сеть»

Транспортно-дорожная сеть может являться одновременно критерием ряда ограничений, так и критерием ряда преимуществ для размещения объектов возобновляемой энергетики. Удаленность проектируемого объекта от дороги вызывает вопросы доступности, оптимальности и целесообразности реализации проекта установки ВИЭ. Объем инвестиций напрямую зависит от наличия транспортной сети вблизи территории размещения объектов возобновляемой энергетики. Однако стоит отметить и тот факт, что дороги являются территорией с буферной зоной, где сооружение крупномасштабных энергообъектов бывает невозможно.

Слой «Транспортно-дорожная сеть» отображает железные дороги, федеральные трассы (М-10, Р-21, Р-23, А-114, А-120, А-121, А-181) и автомобильные дороги регионального, областного, районного и местного значения. Достаточно плотное покрытие дорожной сетью Санкт-Петербурга и Ленинградской области позволяет сделать вывод о благоприятности территории для поиска площадок и реализации проектов ВЭ.

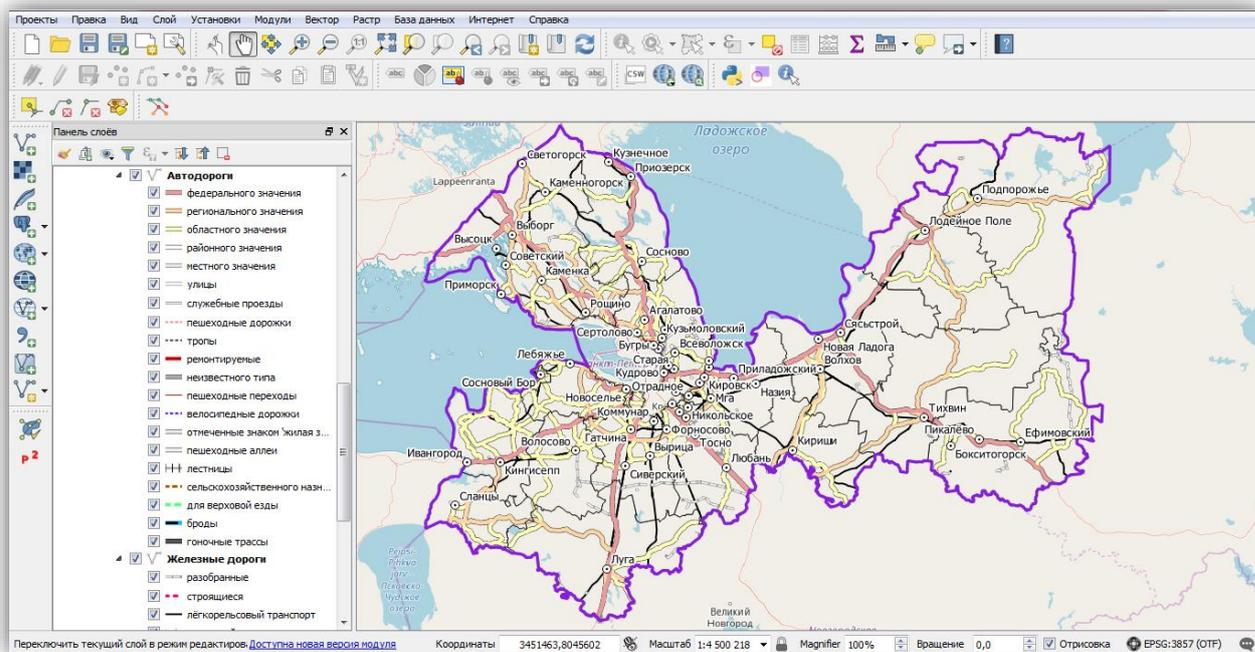


Рис. 33. Слой «Транспортно-дорожная сеть»

- «Энергопотребление по районам»

Слой отображает динамику электропотребления и максимума потребления мощности по 4 укрупненным частям области (энергорайонам):

- Северная (Выборгский, Приозерский и частично Всеволожский районы)

Обслуживание потребителей осуществляет филиал ПАО «Ленэнерго» «Выборгские электрические сети»;

- Центральная (Всеволожский район и частично (территории, прилегающие к Санкт-Петербургу) Ломоносовский, Тосненский и Гатчинский районы)

Электроснабжение потребителей осуществляет филиал ПАО «Ленэнерго» «Санкт-Петербургские высоковольтные электрические сети»;

- Западная (Волосовский, Гатчинский, Кингисеппский, Ломоносовский, Лужский, Сланцевский и Тосненский районы)

Электроснабжение потребителей осуществляют филиал ПАО «Ленэнерго» «Гатчинские электрические сети» и филиал ПАО «Ленэнерго» «Кингисеппские электрические сети»;

- Восточная (Бокситогорский, Волховский, Кировский, Киришский, Лодейнопольский, Подпорожский и Тихвинский, районы).

Обслуживается филиалами ПАО «Ленэнерго» «Новолодожские электрические сети» и «Тихвинские электрические сети».

Информация представлена по данным Программы развития электроэнергетики Ленинградской области на 2017-2021 годы (0137.0-ПЗ-Т1.1).

- «Особо охраняемые природные территории»

На данном слое отображены территории, на которых находятся объекты и природные комплексы, имеющие важное культурное, рекреационное и оздоровительное значение. На территории Санкт-Петербурга и Ленинградской области расположены:

- 1 заповедник «Нижнесвировский» общей площадью 416,15 км<sup>2</sup>;
- 1 природный парк «Вепский лес», площадь которого составляет 189,1 тыс. га;
- 35 государственных природных заказников общей площадью 3121,15 км<sup>2</sup>;
- 17 памятников природы.

Общая площадь особо охраняемых природных территорий (ООПТ) составляет 6 % от всей территории области — 5700 км<sup>2</sup>.

Распределены объекты ООПТ по районам следующим образом: 14 - в Выборгском, 10 – в Лужском, 5 - в Гатчинском, 4 в Ломоносовском и Всеволожском, по 3 — в Тосненском, Приозерском и в Кингисеппском районах, по 2 — в Бокситогорском, Волховском, Волосовском, Лодейнопольском и Подпорожском, и по одному — в Тихвинском, Курортном, Киришском, Кировском районах.

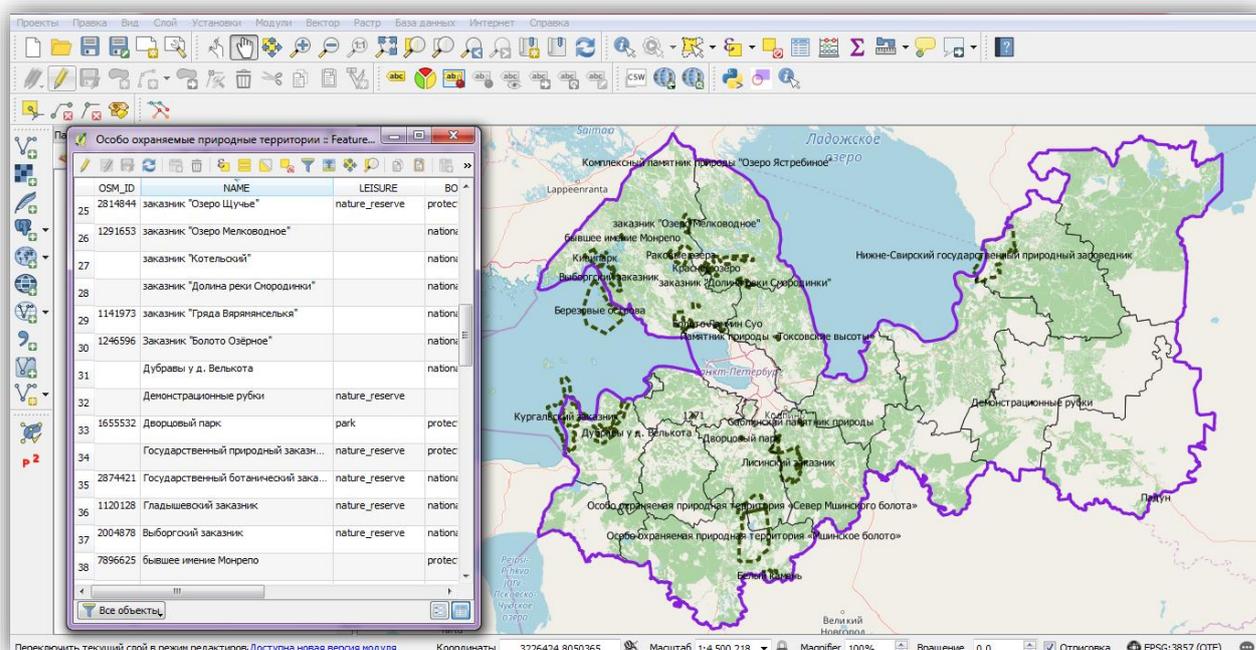


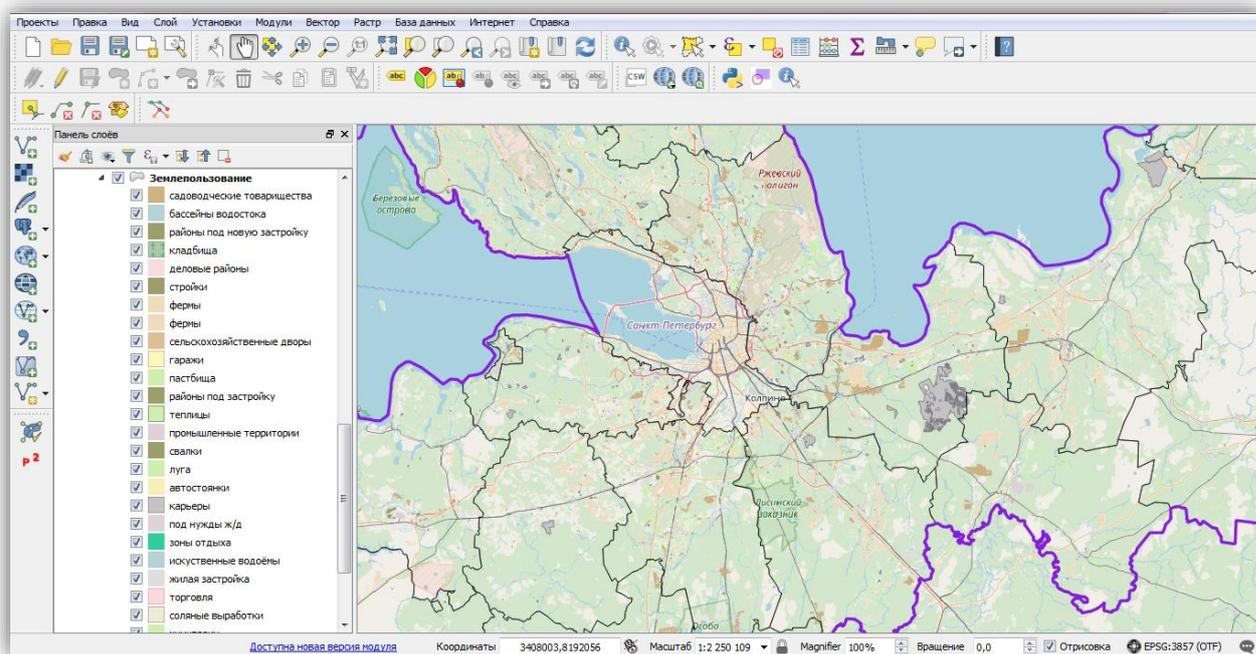
Рис. 34. Слой «Особо охраняемые природные территории»

- *«Земли лесного фонда, сельскохозяйственные земли, земли запаса, земли обороны, безопасности и иного специального назначения»*

Информация данного слоя отражает земли, расположение вблизи которых объектов ВИЭ имеет более строгие ограничения. Характерная особенность многих из них — наличие охранных, санитарно-защитных и иных зон с особыми условиями использования. К таким территориям относятся земли обороны, безопасности и иного специального назначения, земли лесного фонда, земли запаса.

Сельскохозяйственные земли имеют более строгие ограничения по их использованию (такие как сады, леса) и те, на которых возможно сооружение объектов возобновляемой энергетики при полном учете воздействия на окружающую среду (сенокосы, пашни, пастбища).

Менее благоприятными территориями являются земли лесного фонда, так как работы по возведению установок объектов возобновляемой энергетики сопровождаются антропогенным воздействием на окружающую среду, например вырубкой деревьев, следовательно, возможными экономическими потерями.



*Рис. 35. Слой «Земли лесного фонда, сельскохозяйственные земли, земли запаса, земли обороны, безопасности и иного специального назначения»*

- «Орнитологические территории»

Согласно критериям Всемирной Ассоциации по охране птиц BirdLife International и пространственной базе данных о Ключевых орнитологических территориях России (КОТР) был создан слой «Орнитологические территории». Ключевые орнитологические территории выделяются на основании специальных критериев, разработанных координационным центром программы КОТР в соответствии с требованиями (<http://www.rbcu.ru>).

Важность включения данного слоя в ГИС ВИЭ СПб и ЛО состоит в необходимости рассмотрения связи учета гибели птиц вблизи районов проектирования ветропарков.

В общей сложности на территории Санкт-Петербурга и Ленинградской области выделено 28 ключевых орнитологических территорий. Многие из них находятся на охраняемых природных территориях.

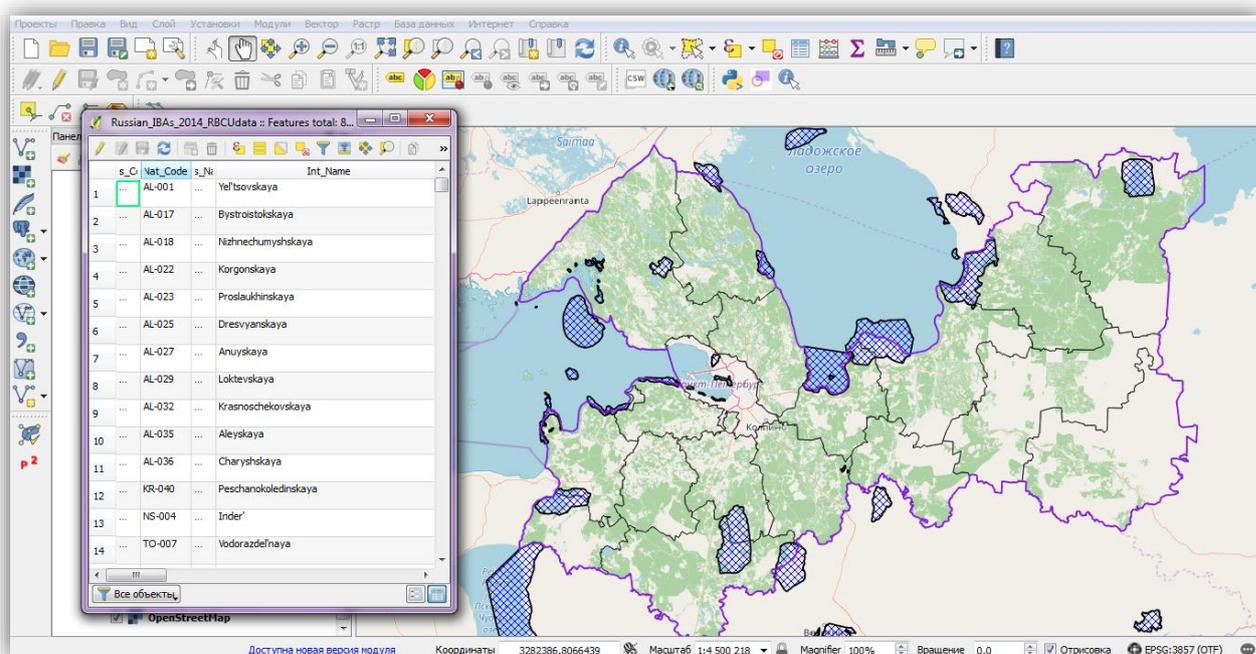


Рис. 36. Слой «Орнитологические территории»

- «Действующие объекты возобновляемой энергетики»

Данный слой отображает все действующие на территории Санкт-Петербурга и Ленинградской области установки возобновляемой энергетики на сегодняшний день. Атрибутивные данные имеют следующую структуру (приложение 1):

- Тип установки
- Название

- Координаты (широта/долгота)
- Местоположение (район)
- Мощность/площадь
- Статус
- Владелец/проектная организация

Пользователь имеет возможность идентифицировать, анализировать и сопоставить существующие и перспективные места для энергетики по предоставленной информации.

Для слоя была разработана стилистика значков.

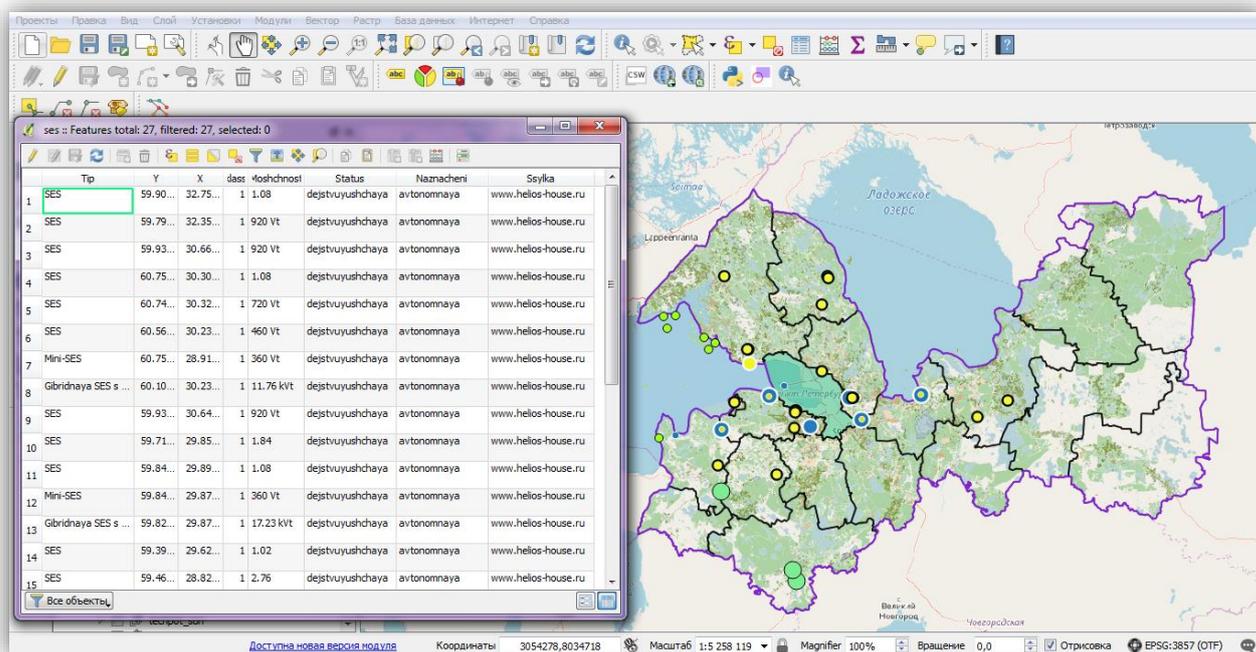


Рис. 37. Слой «Действующие объекты возобновляемой энергетики»

### 3.4 Алгоритм принятия решений. Апробация, применение и демонстрация единичного пакета

Рассмотрим пример применения геоинформационной системы «Возобновляемые источники энергии Санкт-Петербурга и Ленинградской области» для принятия решения пользователю, определяющего перед собой следующие задачи:

- Определить варианты размещения солнечного коллектора с номенклатурой НН-POLY, площадью  $2\text{ м}^2$  в Кингисеппском районе Ленинградской области;

- Найти зоны для установки ветрового генератора марки NORDEX N 27–50, мощностью 150 кВт с мачтой высотой 50 метров.

Для решения первой задачи потребуется выполнение следующих шагов:

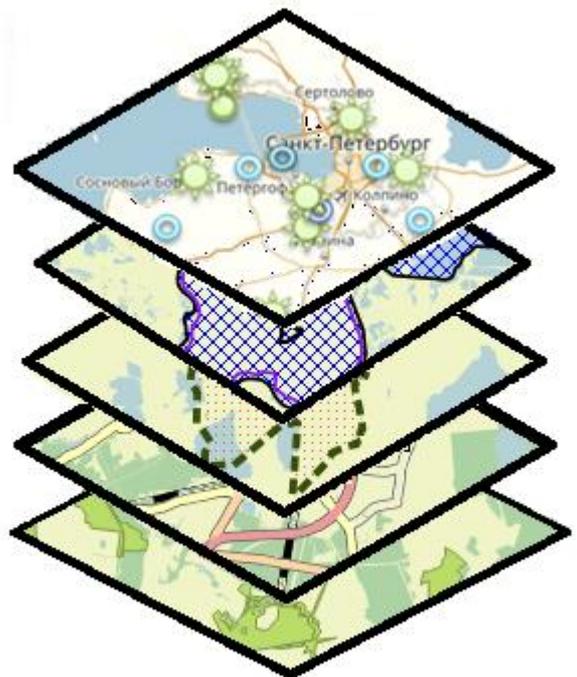
1. Запустить проект «ГИС ВИЭ СПб и ЛО».
2. На представленном при запуске проекта слое «Административное деление» выбрать интересующую пользователя область - Кингисеппский район. Отмасштабировать область с помощью инструмента «Увеличить» до размеров рабочего поля.
3. Выбрать вкладку в панели слоев «Ресурсы».
4. Открыть вкладку «Солнечная энергия».
5. Из представленных вариантов выбрать слой «Технический потенциал».

На экране рабочего поля отобразится слой с информацией пространственного распределения расчетных показателей эффективности использования индивидуальных солнечных водонагревательных установок с солнечным коллектором в виде непрерывного растра с диапазоном цветов, интенсивность которых отображает значение показателя технического потенциала солнечной энергии (Значения величины потенциала для каждого цвета представлены в свойствах слоя).

6. Включить слои ограничений, влияющих на размещения объектов солнечной энергетики.

Последовательность слоев ограничений в ГИС ВИЭ СПб и ЛО представлена в следующем порядке:

- Слой «*Действующие объекты возобновляемой энергетики*»
- Слой «*Орнитологические территории*»
- Слой «*Особо охраняемые природные территории*»
- Слой «*Транспортно-дорожная сеть*»
- Слой «*Земли лесного фонда, сельскохозяйственные земли, земли запаса, земли обороны, безопасности и иного специального назначения*»



Согласно данным, содержащимся в вышеперечисленных слоях, пользователь имеет возможность учесть особенности природного, социального, экономического характера для выбора места потенциального размещения объекта.

ГИС ВИЭ СПб и ЛО позволяет в форме запроса вывести информацию о характеристике местности: численности населения, типа дорожной сети, буферной зона речной сети, охранной территории в виде атрибутивных таблиц.

7. На данном этапе можно выделить наиболее перспективные зоны для размещения объектов солнечной энергетики в Кингисеппском районе: Опольевское сельское поселение, Фалилеевское сельское поселение, Вистинское сельское поселение, Кингисеппское городское поселение, Ивангородское городское поселение (рис. 38).

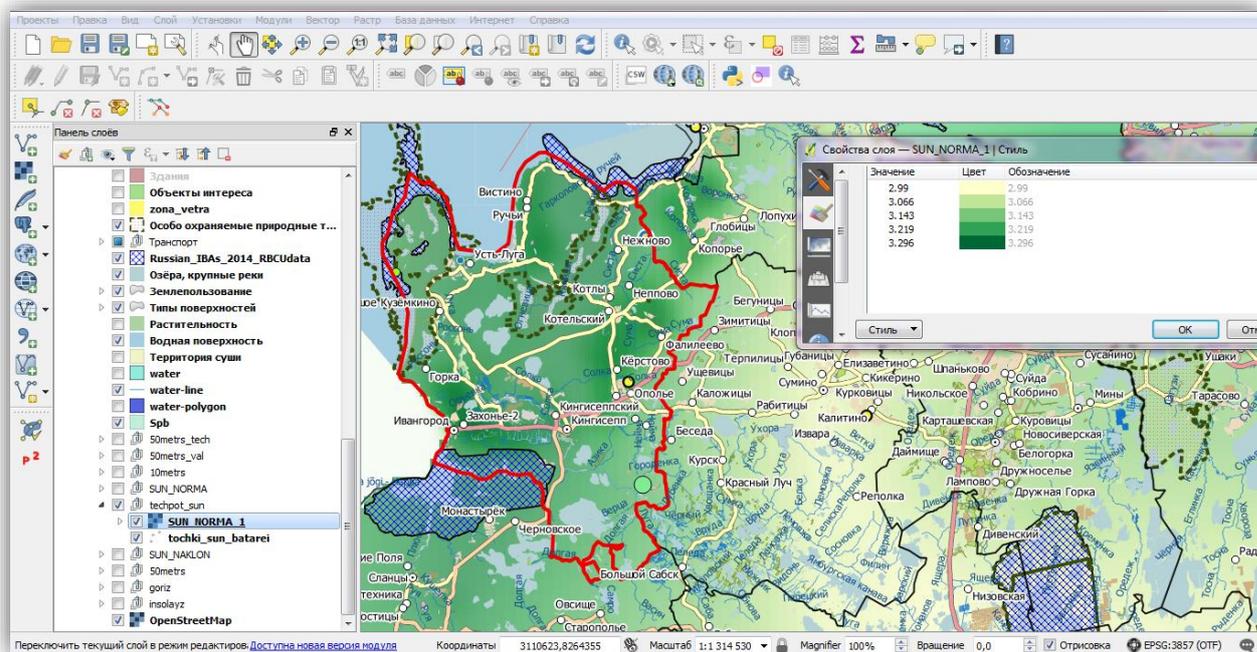


Рис. 38. ГИС ВИЭ СПб и ЛО, Кингисеппский район и окрестности.

Пользователь также может запросить информацию о среднегодовых и среднемесячных показателях солнечного излучения, данные годового и широтного ходов возможных месячных и годовых сумм прямой солнечной радиации, валового и технического потенциала.

Для решения задачи «Найти зоны для установки ветрового генератора марки NORDEX N 27–50, мощностью 150 кВт с мачтой высотой 50 метров» потребуется выполнение следующих шагов:

1. Запустить проект «ГИС ВИЭ СПб и ЛО».

2. Выбрать вкладку в панели слоев «Ресурсы».
3. Открыть вкладку «Ветровая энергия».
4. Из представленных вариантов выбрать слой «Технический потенциал».
5. Выбрать из представленных в проекте диапазонов высоту расчета для установки ветрового генератора.
6. Включить слои ограничений, позволяющие учесть факторы, влияющие на размещение ветровых установок.

Теперь пользователь может увидеть результат, отображающий территории наиболее перспективные для размещения установок ветровой энергии (рис.39).

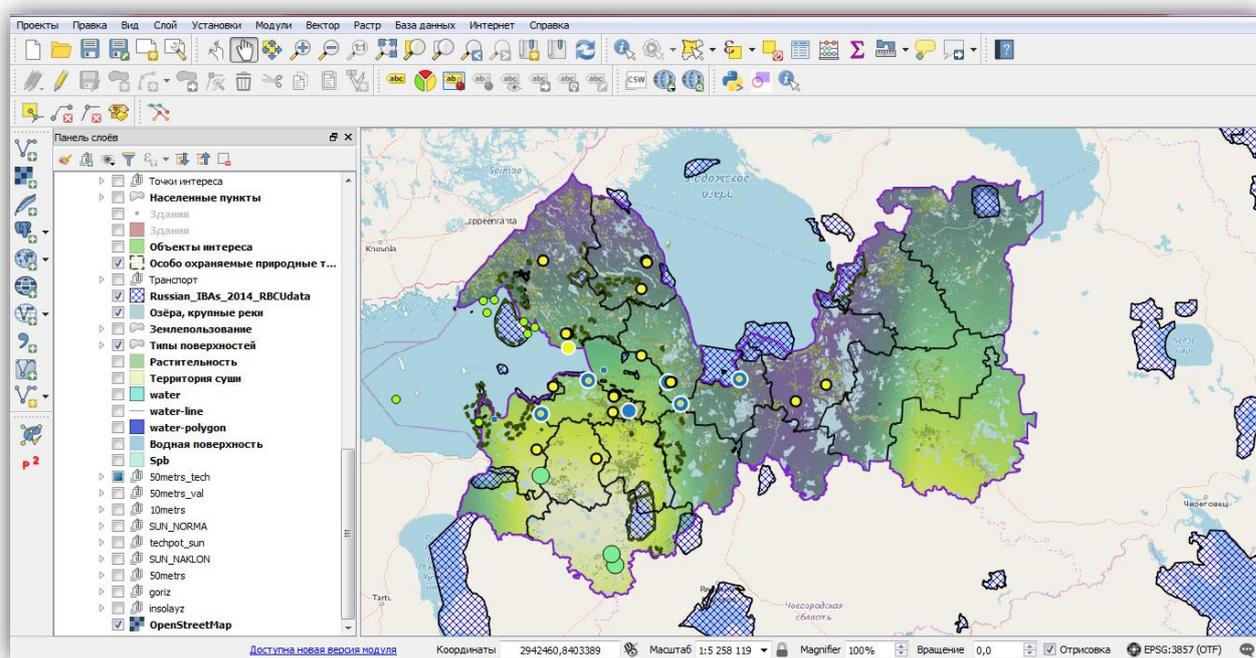


Рис. 39. ГИС ВИЭ СПб и ЛО

Задача данной главы заключалась в структурной разработке информационного содержания создаваемой геоинформационной системы «Возобновляемые источники энергии Санкт-Петербурга и Ленинградской области».

Для создания ГИС были описаны 3 этапа реализации разработанной ранее концепции проекта, определено их содержательное наполнение.

Были выделены критерии ограничений и предпосылок для размещения установок в местах наиболее перспективных согласно данным природного, технического и валового потенциала выбранного вида возобновляемого источника энергии. Перечень преимуществ и ограничений представлен в виде таблицы.

Для визуализации всей доступной информации был выбран программный продукт QGIS (версия 2.18), позволяющий проводить анализ пригодности территории для объектов ВИЭ путем совмещения слоев с различной информацией.

Важным результатом третьей главы стала созданная группа слоев, представляющая информацию о природных ресурсах энергии солнца и ветра на территории Санкт-Петербурга и Ленинградской области, а также их технического и валового потенциалов. В результате серия полученных данных была представлена в виде атласа солнечного и ветрового энергетического природного потенциала территории Санкт-Петербурга и Ленинградской области.

Факторы ограничений и предпосылок, учитывающие особенности природного, социального, экономического характера, были представлены в виде тематических слоев, содержащих информацию о том или ином объекте, явлении и его свойствах, а также границе буферной зоны этого явления. Была разработана стилистика каждого слоя с использованием различных инструментов программы QGIS.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе проведения исследования получены следующие результаты.

1. В России вопросы, касающиеся развития возобновляемой энергетики, возникают в процессе исследования возможностей повышения энергетической эффективности и уровня энергосбережения. Перспектива энергетической независимости и экологической безопасности обосновывает внедрение новых передовых технологий и технологических укладов из разных областей знаний в сферу энергетики. Такими возможностями являются разработки геоинформационных систем, представляющие собой удобное и наглядное средство для анализа возможностей размещения энергообъектов ВИЭ с учетом природных, экономических и социальных условий территории.
2. Мировой и отечественный опыт использования инструментов геоинформационных систем в энергетической отрасли позволяет сделать вывод о том, что проблема недостаточного количества исследований о научных закономерностях, принципах, идеях, составляющих концептуальную и организационно-технологическую основу принятия управленческих решений по размещению объектов возобновляемой энергетики в РФ, является актуальной на сегодняшний день.
3. Исследование позволило выявить тот факт, что разработка системы поддержки принятия решений по размещению объектов возобновляемой энергетики в форме информационно-аналитической геоинформационной системы «Возобновляемые источники энергии Санкт-Петербурга и Ленинградской области» позволяет определять территории с максимальным потенциалом для размещения установок ВИЭ. Анализ теоретических и эмпирических исследований, рассматривающих содержание и характеристики геоинформационных систем в области возобновляемой энергетики, способствовал установлению структуры концепции проекта в соответствии с учетом требований к ее структуре и функционалу.
4. Методики расчетов ветроэнергетического потенциала, потенциала солнечной энергии и гидроэнергии малых рек позволяют выбрать необходимые показатели для наглядного отображения в ГИС ВИЭ СПб и ЛО, а также сформировать базы данных климатических характеристик региона.
5. Для цели оптимизации параметров установок ВИЭ обязательной задачей является определение критериев ограничений и предпосылок для размещения установок и поиска технологических решений ГИС, позволяющих синтезировать всю доступную информацию.

6. Результаты практической части исследования представлены в виде группы слоев, содержащих информацию о природном, техническом и валовом потенциалах выбранного типа возобновляемого источника энергии территории Санкт-Петербурга и Ленинградской области. Результат полученных данных также представлен в виде атласов природного потенциала энергии солнца и ветра по данным среднемесячных показателей.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Акишин А.С. Природно-ресурсный потенциал России и Волгоградской области: состояние, управление, перспективы: Учебное пособие. – Волгоград: Волгоградское научное издательство, 2006. – 336 с.;
2. Безруких П. П., Виссарионов В. И., Грибков С. В., Елистратов В. В., Сидоренко Г. И. и др.// Концепция использования ветровой энергии в России. М., 2005. – 126 с.;
3. Борисенко М. М., Стадник В. В. Атласы ветрового и солнечного климатов России. – СПб: Издательство ГГО им. А.И.Воейкова, 1997. – 173 с.;
4. Брылев В.А. Природные условия и ресурсы Волгоградской области / Под ред. В.А. Брылева. – Волгоград: Перемена, 1995. – 264 с.;
5. Васильев Ю.С., Хрисанов Н.И. Экология использования возобновляющихся энерго-источников. – Л.: Изд-во Ленингр. ун-та. 1991. 343 с.;
6. Гридасов М.В. Геоинформационное обеспечение развития ветровой энергетики (на примере Юга России)// Магистерская диссертация. Географический факультет МГУ имени М.В.Ломоносова. 2011 г.;
7. Елистратов В.В. Возобновляемая энергетика. Изд. 2-е доп. – СПб.: Наука, 2013. – 308 с.;
8. Возобновляемая энергетика на Северо-Западе России: Сборник докладов международного конгресса «Дни чистой энергии в Петербурге – 2010» / под общ. ред. д-ра техн. наук, проф. Елистратова В.В. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2010. – 144 с.;
9. Зысин Л.В., Сергеев В.В. Нетрадиционные возобновляемые источники энергии Часть 1. Возобновляемые источники энергии: Учебное пособие. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2008. – 192 с.;
10. Зайцев С.И. НИР: Разработка научных основ проектирования систем автономного энергоснабжения на базе возобновляемых источников энергии с учетом климатических условий регионов России и развитие геоинформационной системы «Возобновляемые источники энергии России, МГУ, 2013-2015.;
11. Контрерас В.М. Оценка ресурсов ВИЭ и их практическое использование для условий Венесуэлы// Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. СПбГПУ, Санкт-Петербург, 2017 г.;
12. Новаковский Б.А., Прасолова А.И., Киселева С.В., Рафикова Ю.Ю. Геоинформационные системы по возобновляемой энергетике // Доклад. Географический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова.

13. Попель О.С., Фрид С.Е., Киселева С.В., Коломиец Ю.Г., Лисицкая Н.В. Климатические данные для возобновляемой энергетики России (База климатических данных): Учебное пособие. М.: Изд-во МФТИ. 2010, 56 с;
14. Попель О.С., Фрид С.Е., Коломиец Ю.Г., Киселева С.В., Терехова Е.Н. Атлас ресурсов солнечной энергии на территории России. М.: Изд-во МФТИ. 2010. 83 с;
15. Рафикова Ю.Ю. Геоинформационное картографирование ресурсов возобновляемых источников энергии (на примере Юга России)// Диссертация на соискание ученой степени кандидата географических наук, МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, 2015 г;
16. Hermann S., Miketa A., Fichaux N. Estimating the renewable energy potential in Africa: a GIS-based approach // IRENA, 2014, 70 p..

*Статьи в журналах:*

1. Арефьев Н.В., Баденко В.Л., Масликова А.В. Оценка биогазового потенциала отходов животноводства Ленинградской области // Научно-технические ведомости СПбГПУ. 2014. № 3 (202). С. 107-113;
2. Баденко В.Л. Анализ экологических рисков в ГИС на основе нечетких множеств // Научно-технический журнал «Информация и Космос» №3, 2013. С. 78-84;
3. Баденко Н.В., Бакановичус Н.С., Воронков О.К., Иванов Т.С., Ломоносов А.А., Олешко В.А., Петрошенко М.В. Разработка методологического обеспечения процесса автоматизированного вычисления гидроэнергетического потенциала рек с использованием геоинформационных систем // Инженерно-строительный журнал. 2013. №6(41). С. 62–76;
4. Венцюлис Л.С., Скорик Ю.И. Возобновляемые источники энергии на территории Северо-Запада России //Региональная экология, Изд. Санкт-Петербургский научно зоопасности Российской академии наук, 2010, №4(30), С. 67-70;
5. Волков А.А., Седов А.В., Чельшков П.Д. Географическая информационная система (атлас) альтернативных источников энергии // Вестник МГСУ, 2013, С. 213-217;
6. Волкова Е.С., Мельник М.А. Энергетическая характеристика возобновляемых природных ресурсов региона средствами ГИС (на примере Томской области) // EARTH SCIENCES, 2016, С. 148-153;
7. Гаджиев Г.М. Геоинформационные технологии в малой гидроэнергетике // Вестник Дагестанского государственного университета, 2005, С. 154 -156;

8. Гридасов М.В., Киселева С.В., Нефедова Л.В. и др. Разработка геоинформационной системы Возобновляемые источники энергии России: постановка задачи и выбор методов // Теплоэнергетика. — 2011. — № 11. — С. 38–46;
9. Иванов Т.С., Баденко Н.В., Олешко В.А. Геоинформационные методы поиска перспективных створов для строительства ГЭС // Инженерно-строительный журнал. 2013. №4(39). С. 70–82;
10. Киселева С.В., Тетерина Н.В. Оптимизация энергоснабжения удаленных территорий на основе возобновляемых источников энергии: проблематика и некоторые подходы // Рациональное природопользование: теория, практика, образование /Под. общ. ред. проф. М.В. Слипенчука. — Географический факультет МГУ Москва, 2012. — С. 228–231;
11. Нефедова Л.В. Структура базы данных по малой гидроэнергетике в рамках разработки ГИС "Возобновляемые источники энергии России" // ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЕ И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ. Труды 8-й Международной научно-технической конференции (16 - 17 мая 2012г. Москва, ГНУ ВИЭСХ). В 5-ти частях. Часть 4. Возобновляемые источники энергии. Местные энергоресурсы. Экология. — ГНУ ВИЭСХ Москва, 2012. — С. 123–128.
12. Новаковский Б.А., Прасолова А.И., Киселева С.В., Рафикова Ю.Ю. Картографирование ресурсов возобновляемых источников энергии (на примере энергии ветра) // Геодезия и картография, (11): С. 31–39, 2012;
13. Носкова. Е. Оценка ветроэнергетического потенциала территории забайкальского края // Вестник ЗаБГУ №07. 2015. – С. 13- 19;
14. Николаев. В.Г., Ганана С.В., Кудряшов Ю.И. Национальный кадастр ветроэнергетических ресурсов России и методические основы их определения. М.: Атмограф. 2007.
15. Попель О.С., Реутов Б.Ф., Антропов А.П. Перспективные направления использования возобновляемых источников энергии в централизованной и автономной энергетике // Теплоэнергетика №11. 2010. С. 2-11;
16. Пигольцина Г.Б. Ресурсы солнечной радиации Ленинградской области // Общество. Среда. Развитие (Тerra Humana). 2009. С.181-191;
17. Рафикова Ю. Ю., Нефедова Л. В. Опыт составления электронных карт ресурсов ветровой и солнечной энергии для ГИС "ВИЭ России" / electronic mapping of wind and solar energy resources for the gis "renewable energy sources of russia" // Материалы Первого Международного форума Возобновляемая энергетика. Пути повышения

- энергетической и экономической эффективности REENFOR–2013. — ОИВТ РАН Москва, 2013. — С. 298–301;
18. Рафикова Ю.Ю., Киселева С.В. Использование ГИС-технологий в области возобновляемой энергетики: зарубежный и отечественный опыт // *Альтернативная энергетика и экология*, Изд. Науч.-техн. центр ТАТА., 2014, №12. С. 96-100;
  19. Соловьев А.А. Аналитические методы прогнозы энергопотребления // *Энергетическая политика*. 2009. № 5. С. 17-23;
  20. Сукнева Л.В., Чельшков П.Д. Географическая информационная система (атлас) альтернативных источников энергии // *Вестник МГСУ*, 2013, №1. С. 213-217;
  21. Сушникова Е.В. Разработка ГИС «Возобновляемые источники энергии России»: работа над web-приложением // Московский Государственный Университет Инженерной Экологии / [http://gisre.ru/files/pdf/public/2012\\_mgu\\_sush.pdf](http://gisre.ru/files/pdf/public/2012_mgu_sush.pdf), 2012;
  22. Игнатьев С.Г., Киселева С.В. Развитие методов оценки ветроэнергетического потенциала и расчета годовой производительности ветроустановок// *Международный научный журнал «Альтернативная Энергетика и Экология»*, 2010, № 10(90), С.10-35;
  23. Федоров М.П., Кривошеев М.В. Возможности формирования энергобаланса Северо-Запада России;
  24. Шакун В. П. Разработка и развитие структуры ГИС "Возобновляемые источники энергии России // [http://gisre.ru/files/pdf/public/2012\\_mgu\\_shak.pdf](http://gisre.ru/files/pdf/public/2012_mgu_shak.pdf), 2012;
  25. Aydin N.Y., Kentel E., Duzgun H.S. GIS-based site selection methodology for hybrid renewable energy systems: A case study from western Turkey // *Energy Conversion and Management*, P. 90-106, 2013;
  26. Baban S.M. and J.T. Parry. Developing and applying a GIS-assisted approach to locating wind farms in the UK // *Renewable energy*. – 2001. - 24(1). – P. 59-71;
  27. Badenko V., Arefiev N. Estimation of Wind Energy Potential of the Territory // *Applied Mechanics and Materials*, v. 617, 2014. –С. 302 – 306;
  28. Chang K. Introduction to geographic information systems. Tata Mcgrew-Hill, New Delhi, 2015;
  29. Cherni J. A., Henaо F. Energy supply for sustainable rural livelihoods. A multi-criteria decision-support system. *Energy Policy*. DOI: 10.1039/c1eee01127h, 2007;
  30. Coppin P.A., Ayotte K.A. and Steggel N., 2003: —Wind Resource Assessment in Australia – A Planners Guide. A Report of the CSIRO Wind Energy Research Unit, CSIRO Land and Water;

31. Domínguez J., Amador J. Geographical information systems applied in the field of renewable energy sources // *Computers & Industrial Engineering*, Volume 52, Issue 3, April 2007, P. 322-326;
32. Fiorese G., Guariso G. A GIS-based approach to evaluate biomass potential from energy crops at regional scale // *Environmental Modelling & Software*, Volume 25, Issue 6, June 2010, P. 702-711;
33. Gapon S.V., Batlev N.N., «Defining the optimal location of alternative energy (solar and wind), (the Crimea as an example) » // *Geographical and geocological researches of Ukraine and adjacent territories*, vol. 1, DIP, 2013, P. 492 – 497;
34. Habte, A.; Sengupta, M.; Lopez, A. Evaluation of the National Solar Radiation Database (NSRDB): 1998-2015 // *NREL/TP-5D00-67722*, 2017;
35. Jimenez B., Monnich K., Durante F. Comparison between NCEP/NCAR and MERRA reanalysis data for long term correction in wind energy assessment // *Proceedings of the EWEA Annual Event 2012*, Copenhagen, Denmark. – 2012;
36. Lopez A., Roberts B., Heimiller D., Blair N., Porro G. US renewable energy technical potentials: a GIS-based analysis // *NREL is a national laboratory of the U.S. Department of Energy, Office of Energy Efficiency & Renewable Energy, operated by the Alliance for Sustainable Energy, LLC*, 2012;
37. Ľeteler M. and Mitasova H. *Open source gis: A grass gis approach*. 3. Edition, springer, New York, 2008;
38. Potter C.W., Lew D., McCaa J., Cheng S. Creating the dataset for the western wind and solar integration study (USA) *Wind engineering volume 32*, NO. 4, P. 325–338, 2008;
39. Pelland, S., Maalouf, C., Kenny, R., Leahy, L., Schneider, B., Bender, G. *Solar Energy Assessments: When Is a Typical Meteorological Year Good Enough* // *Conference: American Solar Energy Society National Solar Conference*, 2016;
40. Rafikova Yu.Yu., Novakovskiy B.A., Kiseleva S.V., Prasolova A.I. Renewable energy sources as an object of GIS mapping // *Materials of the 2015 IGU Regional Conference "Geography, culture and society for our future Earth"*, p. 313, Moscow, 2015;
41. Ramachandra T.V., Shruthi B.V. Wind energy potential mapping in Karnataka, India, using GIS // *Energy conversion and management*, Volume 46, Issues 9–10, June 2005, P.1561-1578;
42. Ramachandra T.V., Shruthi B.V. Spatial mapping of renewable energy potential // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 11, Issue 7, September 2007, P. 1460-1480;

43. Resch B., Sagl G., Törnros T., Bachmaier A. GIS-based planning and modeling for renewable energy: Challenges and future research avenues // International Journal of Geo-Information, ISPRS Int. J. Geo-Inf. 2014, 3(2), 662-692;
44. Rodrigues M., Montañés C., Fueyo N. A method for the assessment of the visual impact caused by the large-scale deployment of renewable-energy facilities // Environmental Impact Assessment Review, Volume 30, Issue 4, July 2010, P. 240-246;
45. Rylatt M., Gadsden S., Lomas K. GIS-based decision support for solar energy planning in urban environments // Computers, Environment and Urban Systems, 25 (6), p. 579-603;
46. Sørensen B., Meibom P. GIS tools for renewable energy modelling // Renewable Energy, Volume 16, Issues 1–4, January–April 1999, P. 1262-1267;
47. Stackhouse Jr P.W., Zhang T., Chandler W.S., Whitlock C.H., Hoell, J.M., Westberg D.J., Perez R., Wilcox S. Satellite Based Assessment of the NSRDB Site Irradiances and Time Series from NASA and SUNY/Albany Algorithms // Proceedings ASES Annual Meeting, San Diego, California, 2008;
48. Van Hoesen J., Letendre S. Evaluating potential renewable energy resources in Poultney, Vermont: A GIS-based approach to supporting rural community energy planning // Renewable Energy, P. 2114-2122, 2010;
49. Voivontas D., Assimacopoulos D., Koukios E.G. Assessment of biomass potential for power production: a GIS based method // Biomass and bioenergy, Volume 20, Issue 2, February 2001, P. 101-112;
50. Walt T., Lou H., Christopher R. Autonomous and autonomic Systems. Applications to NASA department of exploration systems. New York. 2009;
51. Wang Q., M'Ikiugu M.M., Kinoshita I. A GIS-based approach in support of spatial planning for renewable energy: A case study of Fukushima, Japan // Sustainability, 2014 6(4), P. 2087-2117;
52. Yue C.D., Wang S.S. GIS-based evaluation of multifarious local renewable energy sources: a case study of the Chigu area of southwestern Taiwan - Energy Policy, 2006.

*Нормативно-правовая база:*

1. Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности, и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации: Федеральный

закон от 23.11.2009 N 261-ФЗ // Система «КонсультантПлюс» [Электрон. ресурс].

Режим доступа: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_93978/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_93978/)

2. Об электроэнергетике: Федеральный закон от 04.11.2007 №35 (с изменениями на 29.12.2017) // Система «ТехЭксперт» [Электрон. ресурс]. Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/901856089>;
3. Энергосбережение и повышение энергетической эффективности на период до 2020 года: Государственная программа Российской Федерации (Утвержденная распоряжением Правительства РФ от 27 декабря 2010 года N 2446-р) // Система «КонсультантПлюс» [Электрон. ресурс]. Режим доступа: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_94570](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_94570);
4. Об Энергетической стратегии России на период до 2030 года: Распоряжение Правительства РФ от 13.11.2009 N 1715-р // Система «КонсультантПлюс» [Электрон. ресурс]. Режим доступа: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_94054/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_94054/).

*Интернет-ресурсы:*

1. [www.vtenergydashboard.org/energy-atlas](http://www.vtenergydashboard.org/energy-atlas)
2. [www.nrel.gov/gis/about.html](http://www.nrel.gov/gis/about.html)
3. [www.3tier.com](http://www.3tier.com)
4. [www.eosweb.larc.nasa.gov/sse/](http://www.eosweb.larc.nasa.gov/sse/)
5. [www.wrdc.mgo.rssi.ru](http://www.wrdc.mgo.rssi.ru)
6. [www.solargis.info/imaps/](http://www.solargis.info/imaps/)
7. The NASA Surface Meteorology and Solar Energy Data Set // 2007. [www.eosweb.larc.nasa.gov/sse/](http://www.eosweb.larc.nasa.gov/sse/)
8. [www.winds.solab.rshu.ru/](http://www.winds.solab.rshu.ru/)

## ПРИЛОЖЕНИЯ

### Приложение 1.

	Тип	Широта	Долгота	Мощность, кВт	Статус	Назначение	Район размещения	Ссылка
1	ВЭС	60.01	29.73	5	проектируемая	сетевая	остров Котлин 5 ВЭУ NEG Mikon NM 600/43	<a href="http://www.cleandex.ru">www.cleandex.ru</a>
2	ВЭС ООО «Красное»	59.73	30.08	75	Действующая с 2001 года	сетевая	Красное село, Ленинградская область Агрегат «Wind Matic»	<a href="http://rushydro.ru">rushydro.ru</a>
3	ВДЭС	59.93	30.61	5	действующая	автономная (с возможностью параллельной работы с сетью)	Янино-2, Ленинградская область «Ветропарк-Инжиниринг», генераторы «Бриз» (частное лицо)	<a href="http://elektrostroyka.ru">elektrostroyka.ru</a>
4	ВДЭС	59.78	30.78	5	действующая	автономная (с возможностью параллельной работы с сетью)	Большие пороги, Ленинградская область «Ветропарк-Инжиниринг», генераторы «Бриз» (частное лицо)	<a href="http://elektrostroyka.ru">elektrostroyka.ru</a>
5	ВДЭС	59.94	29.52	5	действующая	автономная (с возможностью параллельной работы с сетью)	Пос. Б.Ижора, Ленинградская область «Ветропарк-Инжиниринг», генераторы «Бриз» (частное лицо)	<a href="http://elektrostroyka.ru">elektrostroyka.ru</a>
6	ВДЭС	59.95	31.58	5	действующая	автономная (с возможностью параллельной работы с сетью)	Пос. Лаврово, Ленинградская область «Ветропарк-Инжиниринг», генераторы «Бриз» (частное лицо)	<a href="http://elektrostroyka.ru">elektrostroyka.ru</a>

							лицо)	
7	ВДЭС	59.71	28.88	5	действующая	автономная (с возможностью параллельной работы с сетью)	Дер. Вожаны, Ленинградская область «Ветропарк-Инжиниринг», генераторы «Бриз» (частное лицо)	elektrostroyka.ru
8	ВЭС г. Усть-Луга	59.67	28.25	300 МВт	проектируемая (ввод в эксплуатацию в 2030 году)	сетевая	г. Усть-Луга, Ленинградская область	minenergo.gov.ru
9	СЭС	59.91	32.76	1.08	действующая	автономная	Дер. Мелекса. Волховской р-н, Ленинградская обл. (частный дом) Проектирование и установка: компания Helios House.	www.helios-house.ru
10	СЭС	59.80	32.35	920 Вт	действующая	автономная	Дер. Вындин Остров. берег реки Волхов, окрестности г. Волхов, Ленинградская обл. (дачный дом) Проектирование и установка: компания Helios House.	www.helios-house.ru
11	СЭС	59.93	30.66	920 Вт	действующая	автономная	дер. Колтуши, Всевожский р-н, Ленинградская обл. (частный дом) Проектирование и установка: компания Helios House.	www.helios-house.ru

12	СЭС	60.75	30.31	1.08	действующая	автономная	Пос Яблоновка, Приозерский р-н, Ленинградская обл. (частный дом в Яблоновке 1) Проектирование и установка: компания Helios House.	www.helios-house.ru
13	СЭС	60.74	30.32	720 Вт	действующая	автономная	пос.Яблоновка, Приозерский р-н, Ленинградская обл. (частный дом в Яблоновке 2) Проектирование и установка: компания Helios House.	www.helios-house.ru
14	СЭС	60.56	30.24	460 Вт	действующая	автономная	пос.Сосново, Приозерский р-н, Ленинградская обл. (дачный дом под Сосново) Проектирование и установка: компания Helios House.	www.helios-house.ru
15	Мини-СЭС	60.75	28.91	360 Вт	действующая	автономная	(частный дом в Смирново) пос. Смирново, Выборгский р-н, Ленинградская обл. Проектирование и установка: компания Helios House.	www.helios-house.ru
16	Гибридная СЭС с газовым генератором	60.11	30.24	11.76 кВт 2,76 кВт (солнце) + 9 кВт (газовый генератор)	действующая	автономная	посёлок на Выборгском шоссе, под г.Сертолово, Всевожский р-н, Ленинградская обл. Проектирование и установка: компания Helios House.	www.helios-house.ru

17	СЭС	59.93	30.65	920 Вт	действующая	автономная	дер.Колтуши, Всеволожский р-н, Ленинградская обл. (частный дом) Проектирование и установка: компания Helios House.	www.helios-house.ru
18	СЭС	59.72	29.86	1.84	действующая	автономная	пос. Ропша, Ломоносовский р-н, Ленинградская обл. (СЭС на частном энергоэффективном доме в Ропше) Проектирование и установка: компания Helios House.	www.helios-house.ru
19	СЭС	59.84	29.89	1.08	действующая	автономная	дер.Санино, Ленинградская область, Ломоносовский район (СЭС частного дома в деревне Санино) Проектирование и установка: компания Helios House.	www.helios-house.ru
20	Мини-СЭС	59.84	29.87	360 Вт	действующая	автономная	дер. Низино, Ленинградская область, Ломоносовский район (частный дом в Низино) Проектирование и установка: компания Helios House.	www.helios-house.ru
21	Гибридная СЭС с газовым генератором	59.83	29.87	17.23 кВт 4,23 кВт (солнце) + 13 кВт (газовый генератор)	действующая	автономная	дер. Низино, Ленинградская область, Ломоносовский район Проектирование и установка: компания Helios House.	www.helios-house.ru

22	СЭС	59.40	29.63	1.2	действующая	автономная	дер.Калитино, Волосовский р-н, Ленинградская обл. (частный коттедж в Калитине) Проектирование и установка: компания Helios House.	www.helios-house.ru
23	СЭС	59.46	28.82	2.76	действующая	автономная	дер.Фёдоровка, Кингисеппский р-н, Ленинградская обл. (дачный дом в Фёдоровке) Проектирование и установка: компания Helios House.	www.helios-house.ru
24	СЭС	59.90	29.05	2.7	действующая	автономная	окрестности г. Сосновый бор, Ленинградская обл. (частный дом близ Соснового бора) Проектирование и установка: компания Helios House.	www.helios-house.ru
25	СЭС	60.16	29.25	2.16	строящаяся	сетевая	пос.Пески, Ленинградская обл. (частный дом в Песках) Проектирование и установка: компания Helios House.	www.helios-house.ru

26	СЭС	60.26	29.24	460 Вт	действующая	автономная	пос. Уткино, Выборгский р-н, Ленинградская обл. (частный дом в Уткино 1) Проектирование и установка: компания Helios House.	www.helios-house.ru
27	СЭС	60.26	29.22	460 Вт	действующая	автономная	пос. Уткино, Выборгский р-н, Ленинградская обл. (дачный дом в Уткино 2) Проектирование и установка: компания Helios House.	www.helios-house.ru
28	СЭС Маяк Крестовый	60.49	28.25	130 Вт	действующая Год ввода в эксплуатацию: 2010	автономная	Близ Дер. Кирьямо, Финский залив, Балтийское море, Ленинградская обл. Исполнитель: НИЦ «Курчатовский институт», Эксплуатирующая организация: ВМФ	НИЦ «Курчатовский институт»
29	СЭС Маяк Халли	60.40	28.14	520 Вт	действующая Год ввода в эксплуатацию: 2010	автономная	остров Халли, Финский залив, Балтийское море, Ленинградская обл. Исполнитель: НИЦ «Курчатовский институт», Эксплуатирующая организация: ВМФ	НИЦ «Курчатовский институт»
30	СЭС Светящийся навигационный знак Малый Фискаар	60.48	28.09	130 Вт	действующая Год ввода в эксплуатацию: 2010	автономная	остров Малый Фискаар, Финский залив, Балтийское море, Ленинградская обл. Исполнитель: НИЦ «Курчатовский институт», Эксплуатирующая организация: ВМФ	НИЦ «Курчатовский институт»

31	СЭС Равица-Северный	60.34	28.64	130 Вт	действующая Год ввода в эксплуатацию: 2010	автономная	остров Равица, Финский залив, Балтийское море, Кингисепский р-н, Ленинградская обл. Исполнитель: НИЦ «Курчатовский институт», Эксплуатирующая организация: ВМФ	НИЦ «Курчатовский институт»
32	СЭС Сярккялуото	60.30	28.79	130 Вт	действующая Год ввода в эксплуатацию: 2010	автономная	остров Сярккялуото, Финский залив, Балтийское море, Ленинградская обл. Исполнитель: НИЦ «Курчатовский институт», Эксплуатирующая организация: ВМФ	НИЦ «Курчатовский институт»
33	СЭС Большой Березовый	60.26	28.70	260 Вт	действующая Год ввода в эксплуатацию: 2010	автономная	остров Большой Березовый, Финский залив, Балтийское море, Ленинградская обл. Исполнитель: НИЦ «Курчатовский институт», Эксплуатирующая организация: ВМФ	НИЦ «Курчатовский институт»
34	СЭС Светящийся навигационный знак Кирьямо	59.65	28.03	300 Вт	действующая Год ввода в эксплуатацию: 2005	автономная	Финский залив, Балтийское море, Кингисепский р-н, Ленинградская обл. Исполнитель: НИЦ «Курчатовский институт», Эксплуатирующая организация: ВМФ	НИЦ «Курчатовский институт»

35	СЭС Светящийся навигационный знак Малый Тютерс	59.81	26.91	150 Вт	действующая Год ввода в эксплуатацию: 2005	автономная	остров Малый Тютерс, Финский залив, Балтийское море, Ленинградская обл. Исполнитель: НИЦ «Курчатовский институт», Эксплуатирующая организация: ВМФ	НИЦ «Курчатовский институт»
36	МГЭС Лужская- I	58.65	29.89	0.37 МВт Среднегодовая выработка : 2.22 млн кВтч	действующая Год ввода в эксплуатацию: 1952	Водный объект: р.Быстрица	Ленинградская область, г.Луга	
37	МГЭС Лужская- II	58.73	29.84	0.54 МВт Среднегодовая выработка : 0.2 млн кВтч	действующая Год ввода в эксплуатацию: 1956	Водный объект: р.Быстрица	Ленинградская область, г.Луга Строитель/Владелец: ТГК-1	

38	МГЭС Ивановская	59.28	28.87	0.06 МВт	действующая Год ввода в эксплуатацию: 1999	Водный объект: Запруда	Ленинградская область, Ивановское Строитель/Владелец: Рыбзавод	
----	--------------------	-------	-------	----------	-----------------------------------------------	---------------------------	-------------------------------------------------------------------------	--