

УДК: 528.94

DOI: 10.35595/2414-9179-2021-3-27-210–220

Г.С. Титов¹, А.И. Прасолова², П.Е. Каргашин³

ВЕБ-КАРТОГРАФИРОВАНИЕ РЕСУРСОВ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ ЯКУТИИ

АННОТАЦИЯ

Развитие возобновляемых источников энергии экономически и экологически оправдано на территориях децентрализованного энергоснабжения, так как позволяет заменить дизельную генерацию электроэнергии. Якутия, 64 % территории которой находится в зоне децентрализованного энергоснабжения, обладает высоким потенциалом для развития солнечной энергетики. При региональной инвентаризации больших объёмов многовременных данных о солнечных ресурсах полезны характерные особенности веб-картографирования – интерактивность, мультимасштабность, общедоступность. Для Якутии выполняется веб-картографирование суммарной солнечной радиации, приходящей на горизонтальную поверхность, с учётом облачности в день на квадратный метр. Этот показатель позволяет охарактеризовать потенциал ресурсов солнечной энергии на территории. Источником исходных данных является архив Surface meteorology and Solar Energy проекта NASA Prediction of Worldwide Energy Resource – SSE NASA POWER. Он содержит ежемесячные и среднегодовые глобальные сетки за каждый год с 1984 по 2018. Данные картографируются по узлам регулярной сетки, по муниципальным районам и по бассейнам рек. Пользователь может в интерактивном режиме задавать временной период с точностью до месяца и территориальное деление для составления карты. Всего созданное картографическое веб-приложение позволяет создать порядка 50 000 веб-карт по количеству вариантов запросов, доступных пользователю. Большой объём данных для веб-картографирования требует создания информационной системы для динамической поставки данных по запросам пользователей. Для эффективной динамической агрегации данных по различным территориальным единицам применяется оригинальный алгоритм предварительной обработки. Быстрота визуализации больших объёмов пространственных данных в браузере пользователя решается использованием картографической библиотеки DeckGL. Информационная система формируется на основе PostgreSQL и Flask. Применение веб-картографирования целесообразно для инвентаризации ресурсов солнечной энергии на региональном уровне. Оно позволяет углубить аналитическое содержание картографического произведения путём предоставления пользователю интерактивных инструментов работы с картой. Отличия в проектировании картографических веб-приложений по сравнению с обычными картами проявляются в подготовке исходных данных для картографирования.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: веб-картографирование, ресурсы солнечной энергии, Якутия.

¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Географический факультет, Ленинские горы, д. 1, 119991, Москва, Россия, *e-mail*: gberman.s.titov@gmail.com

² Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Географический факультет, Ленинские горы, д. 1, 119991, Москва, Россия, *e-mail*: prasolova.geo@yandex.ru

³ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Географический факультет, Ленинские горы, д. 1, 119991, Москва, Россия, *e-mail*: p.e.kargashin@mail.ru

German S. Titov¹, Anna I. Prasolova², Pavel E. Kargashin³

WEB-MAPPING OF SOLAR ENERGY POTENTIAL IN YAKUTIA

ABSTRACT

It is cost effective and environmentally rational to develop renewable energy sources in the territories of decentralized energy supply, since it allows replacing diesel power generation. Yakutia has a high potential for the development of solar energy and 64% of its area is in the zone of decentralized energy supply. The features of web mapping – interactivity, multiscale and availability — are useful for assessment of big multi-temporal data on solar resources at the regional scale.

Web mapping shows one parameter for Yakutia – all sky insolation incident on a horizontal surface per day per square meter. The parameter is used to assess the potential of solar energy resources in the territory. Initial data comes from the Surface meteorology and Solar Energy archive of the NASA Prediction of Worldwide Energy Resource – SSE NASA POWER project. It includes monthly and annual average global grids for each year from 1984 to 2018. The web application allows users to map the data by grid points, by administrative units and by watersheds. Users can interactively set a period with an accuracy of a month and a territorial division for drawing up a map. The web-based mapping application allows users to create about 50,000 web maps in total. The number based on query combinations available to the user.

A large amount of data used for web mapping requires the development of an information system for the dynamic delivery of data at the user’s request. Data preprocessing algorithm helps efficiently aggregate data “on-the-fly” for various territorial units. The DeckGL cartographic library gives high-performance visualization of big spatial data in the browser. We use PostgreSQL and Flask software to develop the information system.

Web mapping is useful for the assessment of solar energy resources specifically at the regional level. Interactive tools provided by the web-based mapping applications deepen the analytical content of the cartographic work. There are notable changes in the data preparation through the design of web-based mapping applications in comparison with regular maps.

KEYWORDS: web mapping, solar energy potential, Yakutia.

ВВЕДЕНИЕ

Прогнозы ведущих коммерческих, научных и общественных организаций указывают на существенный рост возобновляемых источников энергии (ВИЭ) в глобальном энергетическом балансе. В краткосрочной перспективе их использование будет целесообразно на территориях децентрализованного энергоснабжения, где ВИЭ могут частично заменить дорогостоящее дизельное топливо [Elistratov *et al.*, 2014, с. 29–30; Remap..., 2017, с. 22–25]. Высоким потенциалом использования ВИЭ обладают северные и дальневосточные территории. По оценкам некоторых исследователей, в Якутии уже в 2013 году солнечная энергетика стала дешевле дизельной [Гречухина, 2016, с. 154–155].

¹ Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Leninskie Gory 1, 119991, Moscow, Russia, e-mail: gberman.s.titov@gmail.com

² Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Leninskie Gory 1, 119991, Moscow, Russia, e-mail: prasolova.geo@yandex.ru

³ Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Leninskie Gory 1, 119991, Moscow, Russia, e-mail: p.e.kargashin@mail.ru

В зоне децентрализованного энергоснабжения, которая составляет 64 % территории Якутии, проживает 15 % населения республики. Предпосылками развития солнечной энергетики в Якутии являются 1) устойчивая антициклональная деятельность и континентальность климата, обеспечивающие высокую продолжительность солнечного сияния в году и низкое влагосодержание атмосферы, которые увеличивают поступление энергии солнечного излучения на поверхность; 2) труднодоступность территорий, порождающая проблему транспортировки топлива для автономных энергогенераторов; 3) устаревание используемого электрогенерирующего оборудования, повышающее риск аварий и снижающее эффективность производства энергии; 4) нецелесообразность расширения зоны централизованного энергоснабжения; 5) необходимость диверсификации энергоснабжения для обеспечения энергетической безопасности; 5) планы по снижению выбросов углекислого газа.

Понимание объёмов доступных ресурсов обеспечивает информированное принятие решений, стимулирует инвестиционную активность, является драйвером технологического развития, увеличивает доверие населения к возобновляемой энергетике. Соответственно растёт потребность в количественной оценке ресурсов солнечной энергии. Инвентаризационное картографирование является базовым этапом такой оценки.

Возможности геоинформационного картографирования в настоящий момент расширяются за счет веб-технологий. Формируется направление веб-картографирования, особенностями которого являются интерактивность, мультимасштабность и общедоступность картографических произведений. Веб-картографирование может активно использоваться для оценки потенциала солнечной энергии [Титов, Прасолова, 2019; Dean et al., 2009, с. 1–2]. При этом сложности обобщения практического опыта создания картографических веб-приложений [Манёров и др., 2020, с. 230–231] следует связывать с динамичным развитием веб-технологий.

В настоящее время картографирование ресурсов возобновляемых источников энергии, в том числе с использованием веб-технологий, проводится на глобальном, макрорегиональном уровнях для решения научных задач и на локальном – в прикладных исследованиях. Однако в географических исследованиях значимым, наряду с вышеперечисленными, является региональный уровень [Каргашин и др., 2018, с. 262–264]. В то же время он часто не обеспечен картографическим материалом по возобновляемым источникам энергии. Ставится задача разработки картографического произведения, учитывающего специфику региональных исследований ресурсов солнечной энергии путём привлечения веб-технологий для картографирования.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Показателем, который позволяет охарактеризовать ресурсы солнечной энергии, доступные на конкретной территории, и их потенциал, является суммарная солнечная радиация, приходящая на горизонтальную поверхность с учётом облачности в день на квадратный метр [Попель и др., 2010, с. 33–34]. Для создаваемого картографического решения были использованы значения этого показателя за период с 1984 по 2018 год на территорию Якутии.

Источником этих данных служит архив Surface meteorology and Solar Energy проекта NASA Prediction of Worldwide Energy Resource – SSE NASA POWER. Он содержит ежемесячные и среднегодовые данные за каждый год с 1984 по 2018. Эти данные покрывают территорию всего земного шара сеткой с пространственным разрешением $0,5^\circ \times 0,5^\circ$, рассчитанной по результатам спутниковых измерений. Достоверность данных NASA SSE на территорию России приемлема для инженерных расчетов эффективности использования солнечных установок [Попель и др., 2010, с. 32–

33]. Источником данных о границах муниципальных районов является Публичная кадастровая карта Росреестра. Границы бассейнов рек построены на основе данных цифровой модели рельефа GMTED2010 и векторной гидрографической сети цифровой географической основы ВСЕГЕИ по методике, описанной А.Л. Энтиным, Т.Е. Самсоновым, И.К. Лурье [2019] (Рис. 1).

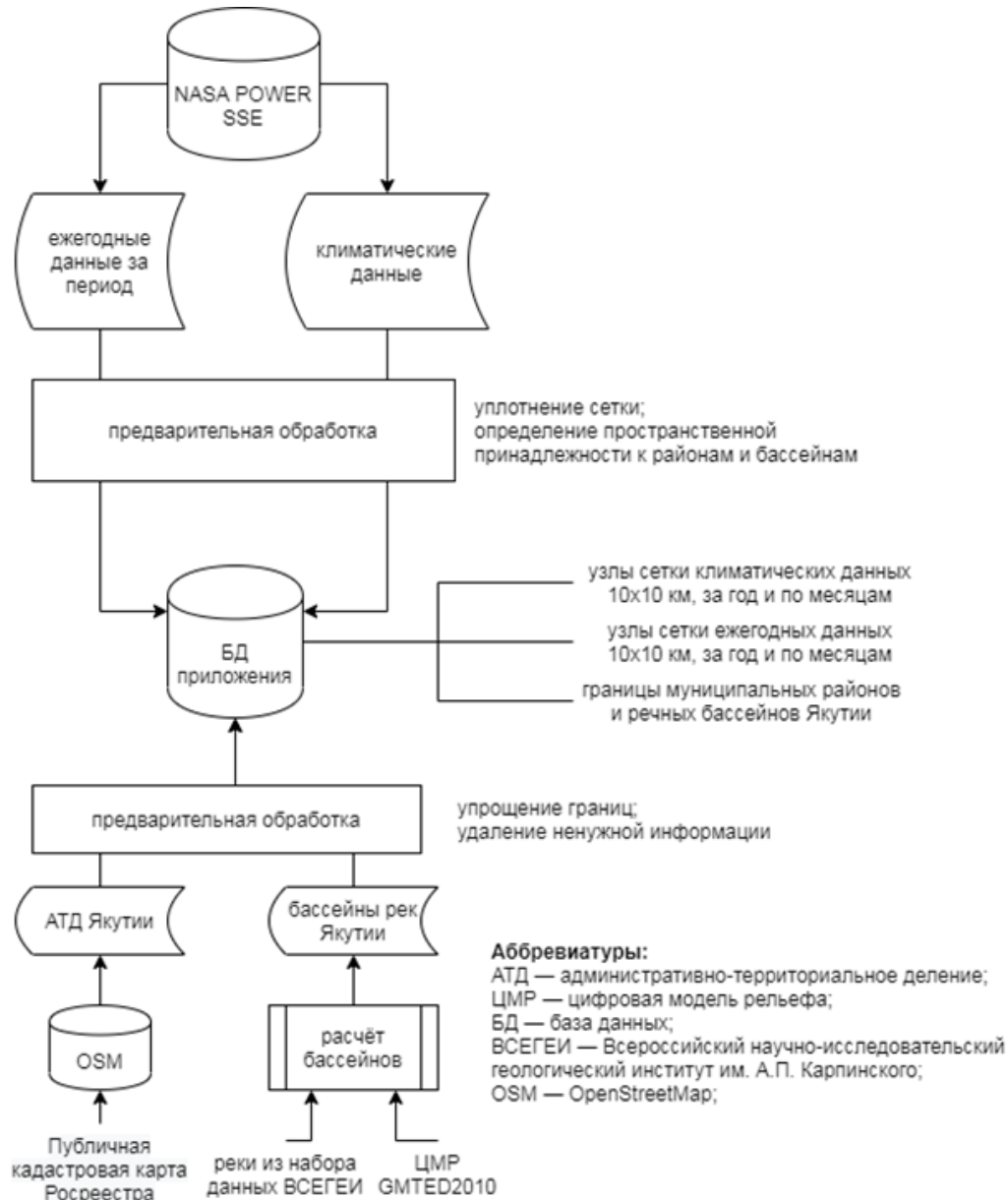


Рис. 1. Наполнение базы данных

Fig. 1. Filling of the database

Ключевой задачей предварительной обработки является обеспечение возможности эффективной динамической агрегации данных. Основными этапами обработки являются «уплотнение» сетки и определение принадлежности узлов сетки муниципальным районам и бассейнам рек¹ (Рис. 2). По «плотной» сетке возможна быстрая агрегация данных на

¹ Программный код предварительной обработке данных доступен по ссылке [https:// gist.github.com/gtitov/d430f96c537d93ddd6f8cd697cb2376c](https://gist.github.com/gtitov/d430f96c537d93ddd6f8cd697cb2376c).

сетку с более крупными ячейками. Эта агрегация выполняется в браузере. По «плотной» сетке со сведениями о принадлежности узлов к району и бассейну возможна быстрая агрегация данных по этим территориальным единицам. Быстрота обеспечивается тем, что для агрегации после предварительной обработки могут применяться стандартные запросы к базе данных, а не пространственные, которые работают на порядок медленнее. «Плотная» сетка со значениями о поступлении солнечной радиации и известной принадлежностью узлов к территориальным выделам является основным содержательным элементом базы данных.

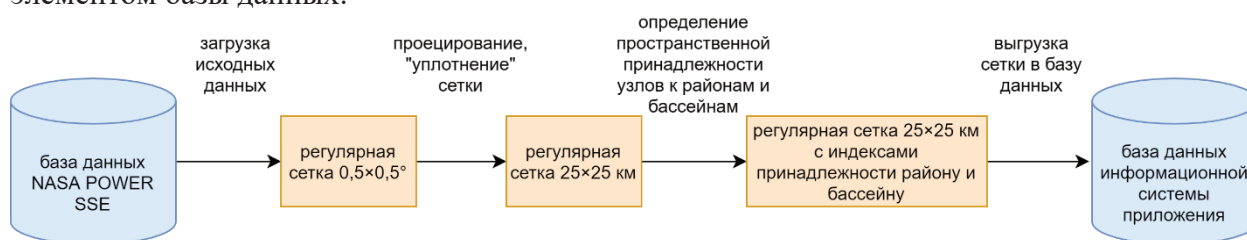


Рис. 2. Схема предварительной обработки данных

Fig. 2. Flowchart of data preprocessing

Данные, используемые для построения карты, присутствуют на карте не статически, а динамически изменяются в зависимости от действий пользователя. Поэтому для обращения к базе создаётся информационная система [Яблоков, Тикунов, 2016, с. 13], фактически, программируемый интерфейс для работы с базой данных. Информационная система поддерживает все запросы, необходимые для составления карт в веб-интерфейсе приложения (Табл. 1).

Табл. 1. Наборы данных, доступные через информационную систему

Table 1. Datasets available in information system

	регулярная сетка	районы	бассейны
климатические данные	климатические данные по регулярной сетке	климатические данные по районам	климатические данные по бассейнам
отдельный год	данные за отдельный год по регулярной сетке	данные за отдельный год по районам	данные за отдельный год по бассейнам
период в несколько лет	данные за период в несколько лет по регулярной сетке	данные за период в несколько лет по районам	данные за период в несколько лет по бассейнам

Веб-интерфейс (Рис. 3) включает веб-карту (1) и легенду к ней (2), график суммарных значений инсоляции по месяцам (3), панель запросов к данным по времени (4), панель параметров визуализации (5). Панель запросов к данным по времени даёт возможность запрашивать климатические данные, данные за отдельный год, данные за период в несколько лет. График суммарных значений инсоляции позволяет внутри заданного периода выбирать значения за отдельный месяц. Панель параметров визуализации содержит варианты границ для отображения явления, переключатель для перехода в трёхмерный режим, бегунок для задания нижнего percentиля показываемых данных (например, при значении нижнего percentиля 90 будет показано только 10 % ячеек с наиболее высокими значениями).

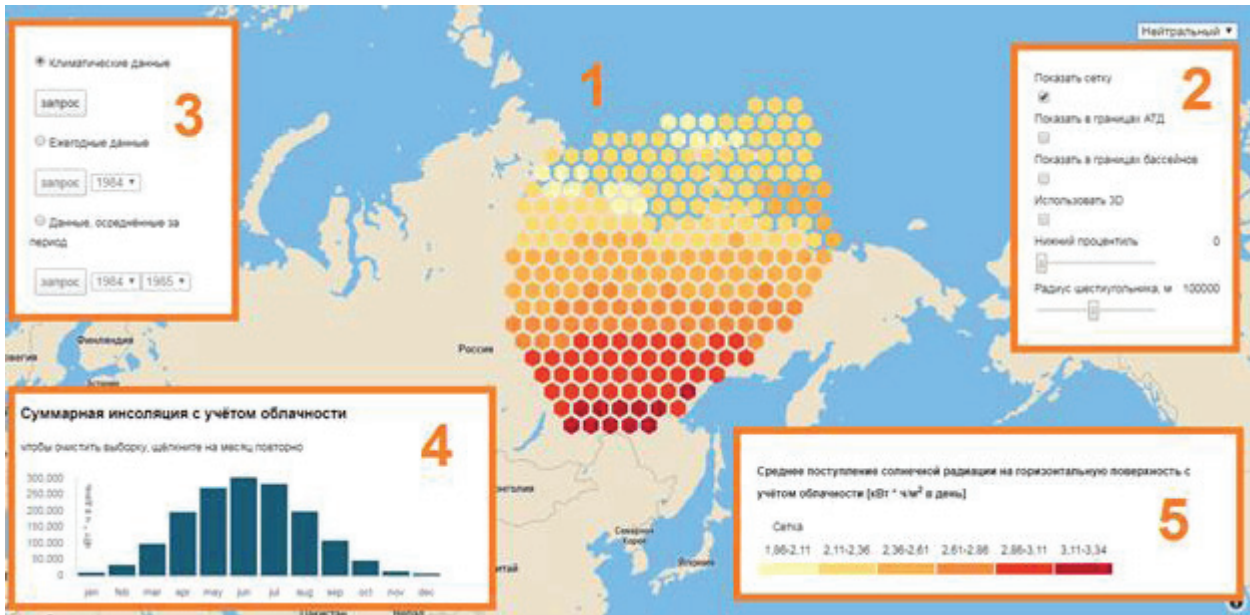


Рис. 3. Элементы веб-интерфейса

Fig. 3. Elements of the web interface

Предварительная обработка данных выполнялась в среде программирования RStudio. Информационная система создана с использованием сервера баз данных PostgreSQL, Python-модуля Flask. JavaScript-библиотека React применена для управления веб-интерфейсом и DeckGL – для картографирования. При создании веб-приложения используется только открытое и свободное программное обеспечение.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Картографическое веб-приложение является аналитическим и инвентаризационным. Оно подробно рассматривает один тематических сюжет – поступление суммарной солнечной радиации на горизонтальную поверхность на кв. м с учётом облачности в сутки на территорию Якутии¹.

Картографическое веб-приложение предоставляет на выбор три варианта пространственных единиц картографирования и 631 вариант по временному параметру (климатические данные + отдельные года + варианты сочетаний начального и конечного годов временных интервалов), то есть картографическое веб-приложение предоставляет 1 893 варианта по временному и пространственному параметрам. Так как при заданных временных и пространственных параметрах можно построить либо карту среднегодовых значений, либо значений за конкретный месяц, то число карт уже составляет 24609. Учитывая, что радиус ячейки регулярной сетки имеет 4 варианта значений в зависимости от масштаба карты, число карт, которые можно получить в веб-приложении, достигает 49218.

Такой набор карт обеспечивает исчерпывающую информацию о ресурсах солнечной энергии Якутии. Эта информация является основой разработки и эксплуатации объектов солнечной энергетики [Попель и др., 2010, с. 9]. Она применима на этапах обоснования инвестиций и проектирования энергоустановок, при оценке эффективности и безопасности их эксплуатации.

¹ Картографическое веб-приложение доступно по ссылке <http://autolab.geogr.msu.ru/solarsaha/>

Поступление суммарной солнечной радиации на горизонтальную поверхность на кв. м с учётом облачности в сутки ожидаемо демонстрирует широтную зональность и рост показателя к летним месяцам и падение к зимним. Однако, обращаясь к значениям показателя за «солнечные» месяцы (с апреля по июль), когда в регион приходит наибольшее количество киловатт-часов солнечной радиации на квадратный метр в день, видим, что широтная зональность нарушается (Рис. 4). Эта ситуация подтверждается данными ГГО имени А.И. Воейкова и объясняется длительным световым днём в северных широтах в летний период, прозрачностью воздуха и высокими значениями рассеянной солнечной радиации [Попель и др., 2010, с. 38]. Такие особенности пространственного распределения показателя доказывают полезность предоставления пользователю удобных инструментов работы с временной вариацией явления. Эти инструменты предоставляет веб-картографирование.

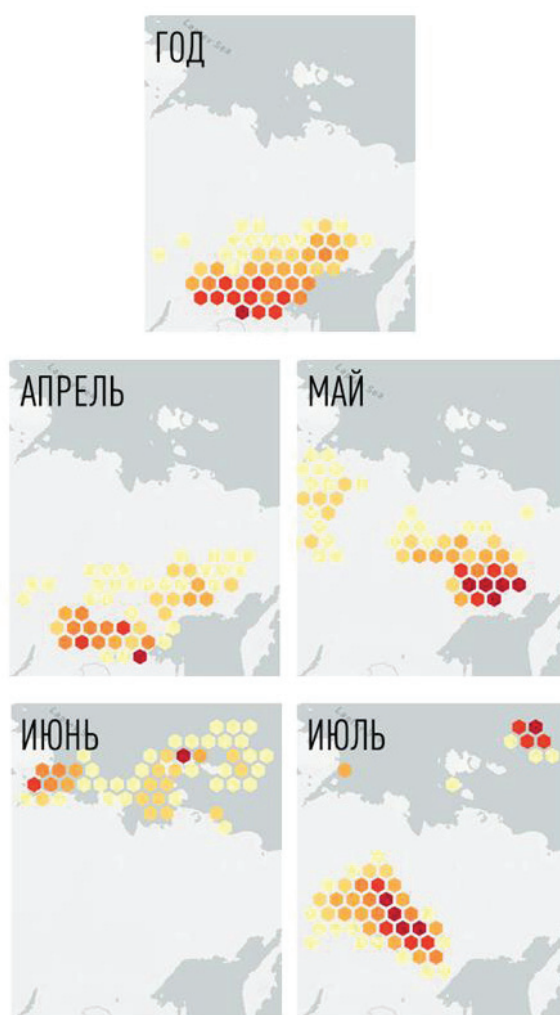


Рис. 4. 20 % ячеек с наибольшими значениями поступления солнечной радиации за период с 2008 по 2018 (темнее цвет — выше значение)

Fig. 4. 20 % of hexagons with highest values of insolation averaged over the period from 2008 to 2018 (the darker the color — the higher the value)

Выбор территориальной единицы картографирования влияет на пространственное распределение показателя (Рис. 5). Картографирование поступления солнечной радиации по природным территориальным выделам, например бассейнам рек, необходимо для

сопоставления потенциала ресурсов ВИЭ с природными свойствами территории. По административным – для увязки с социально-экономическими характеристиками. Прогнозировать воздействие от строительства и эксплуатации объектов возобновляемой энергетики корректно в границах природных выделов, а оценивать экономическую целесообразность — в административных границах. Интерактивность картографического веб-приложения даёт возможность показывать распределение показателя в границах разных территориальных выделов в рамках одного картографического произведения, что позволяет пользователю получить адекватное представление о пространственных особенностях явления.

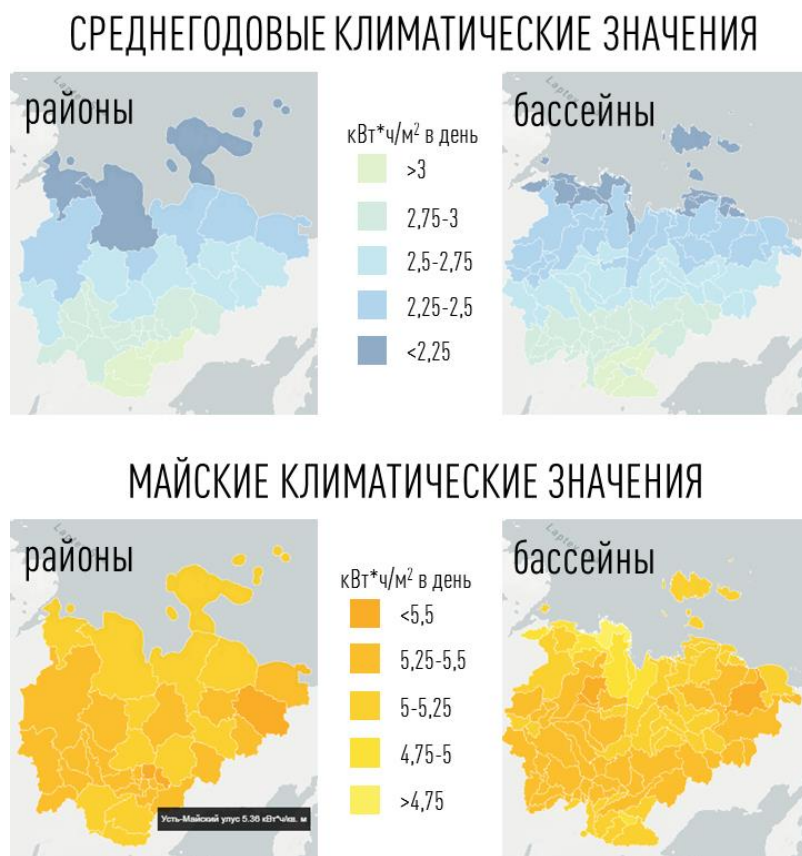


Рис. 5. Климатические значения поступления солнечной радиации по муниципальным районам (слева) и бассейнам рек (справа)

Fig. 5. Climatic values of insolation by administrative units (left) and watersheds (right)

Основными компонентами картографического веб-приложения являются информационная система и веб-интерфейс (Рис. 6). Информационная система может использоваться независимо для получения исходных данных, которые применяются в веб-приложении для построения карт. Такой подход не только следует принципам открытости в науке, но и повышает степень доверия к картографическому произведению, так как пользователь может изучить и использовать данные самостоятельно [McGrath, 1999].

Предобработка данных решает вопрос быстроты их агрегации. Быстрота при визуализации больших объёмов пространственных данных в браузере пользователя решается использованием картографической библиотеки DeckGL, использующей технологию WebGL для высокопроизводительной отрисовки объектов на карте.

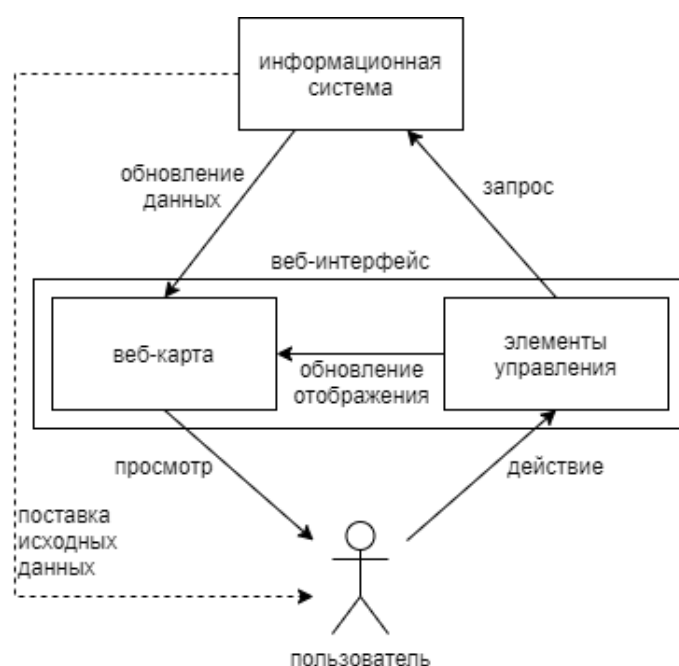


Рис. 6. Взаимодействие компонентов картографического веб-приложения

Fig. 6. Interconnection of web map application components

ВЫВОДЫ

Характерные особенности веб-картографирования – интерактивность, мультимасштабность, общедоступность – важны при региональной инвентаризации ресурсов солнечной энергии. Общедоступность расширяет круг пользователей и способствует информированию населения о потенциале ВИЭ. Использование мультимасштабности пока затруднено недостатком исходных данных. Интерактивность картографического веб-приложения предоставляет пользователям возможность работы с большими объемами данных о ресурсах солнечной энергии в понятном (user-friendly) интерфейсе, для использования которого не требуется специализированного программного обеспечения и профессиональных навыков.

Региональное картографическое веб-приложение о ресурсах солнечной энергии по сравнению с глобальными использует меньший объем исходной информации. Это позволяет расширить спектр функций взаимодействия пользователя с картографическим содержанием без ущерба быстрдействию. Высокая интерактивность веб-карты увеличивает число картографических образов, которые могут сформироваться у пользователя [Берлянт, 1986, с. 62–65, 87]. За счёт этого картографическая информативность при региональном веб-картографировании солнечных ресурсов может быть больше, чем при глобальном.

Веб-картографирование углубляет аналитическое содержание произведения, предоставляя возможность отображения явления в его пространственной (по разным территориальным выделам) и временной (за разные периоды) вариации. Возможность сопоставления объемов энергетических ресурсов с природными и социально-экономическими характеристиками территории, возможность отслеживания динамики доступного объема ресурсов ВИЭ повышают надёжность оценки территории с точки зрения её перспективности для возобновляемой энергетики.

При проектировании картографических веб-приложений модифицируются традиционные подходы к проектированию картографических произведений. Существенное от-

личие обнаруживается на этапе подготовки данных для картографирования. Карты в веб-приложении не статичны, поэтому создаётся информационная система, которая возвращает необходимые для составления карты данные в зависимости от действий пользователя. При проектировании должны учитываться свойства интерактивности и мультимасштабности веб-карт.

Перспективы развития исследования можно связать с масштабированием приложения, например, на всю территорию России, и с обеспечением интероперабельности. Расширение потребует переработки технической стороны приложения для обеспечения производительной работы с увеличивающимся объёмом данных. Интероперабельность позволит приложению обмениваться данными со внешними ресурсами. Это свойство обеспечивается использованием стандартов обмена картографической информацией в Интернете, которые разрабатываются, например, Open Geospatial Consortium (OGC).

БЛАГОДАРНОСТИ

Исследование выполнено в рамках государственного задания № 121051400061–9.

ACKNOWLEDGEMENTS

This study was conducted under the state project № 121051400061–9.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Берлянт А.М.* Образ пространства: карта и информация. М.: Мысль, 1986. 240 с.
2. *Гречухина И.А.* Экономические механизмы развития возобновляемой энергетики. Дис. ... канд. экон. н. М., 2016. 194 с.
3. *Каргашин П.Е., Новаковский Б.А., Прасолова А.И.* Разработка регионального атласа ресурсов возобновляемой энергетики Крымского полуострова. Материалы международной конференции «ИнтерКарто/ИнтерГИС», 2018. Т. 24. Ч. 1. С. 262–272. DOI: 10.24057/2414-9179-2018-1-24-262-272
4. *Манёров М.Р., Сюзюмов А.А., Тюрин С.В.* Методические принципы разработки интерактивных веб-карт на примере объекта Всемирного наследия ЮНЕСКО «Геодезическая дуга Струве». ИнтерКарто. ИнтерГИС. Геоинформационное обеспечение устойчивого развития территорий: Материалы Междунар. конф. М.: Издательство Московского университета, 2020. Т. 26. Ч. 4. С. 228–241. DOI: 10.35595/2414-9179-2020-4-26-228-241.
5. *Попель О.С., Фрид С.Е., Коломиец Ю.Г., Киселева С.В., Терехова Е.Н.* Атлас ресурсов солнечной энергии на территории России. Москва: Объединённый институт высоких температур РАН, 2010.
6. *Титов Г.С., Прасолова А.И.* Возможности веб-картографирования для исследования солнечных ресурсов. Сборник III Всероссийской научно-практической конференции «Геодезия, картография, геоинформатика и кадастры. Наука и образование», 2019. С. 273–275.
7. *Энтин А.Л., Самсонов Т.Е., Лурье И.К.* Согласование цифровых моделей рельефа и гидрографической сети для определения границ бассейнов. Геодезия и картография, 2019. № 1. С. 94–101. DOI: 10.22389/0016-7126-2019-943-1-94-101.
8. *Яблоков В.М., Тикунов В.С.* Атласные информационные системы для устойчивого развития территорий. Материалы Международной конференции «ИнтерКарто/ИнтерГИС», 2016. Т. 22. Ч. 1. С. 13–33. DOI: 10.24057/2414-9179-2016-1-22-13-33.
9. *Dean J., Kandt A., Burman K., Lisell L., Helm C.* Analysis of Web-Based Solar Photovoltaic Mapping Tools. ASME 2009 3rd International Conference on Energy

- Sustainability, Volume 1. San Francisco, California, USA: ASMEDC, 2009. P. 85–96. DOI: 10.1115/ES2009-90461.
10. *Elistratov V., Knezevic M., Denisov R., Konishchev M.* Problems of constructing wind-diesel power plants in harsh climatic conditions. *Journal of Applied Engineering Science*, 2014. T. 12. № 1. P. 29–36. DOI: 10.5937/jaes12-5632.
 11. *McGranaghan M.* The Web, cartography and trust. *Cartographic Perspectives*, 1999. № 32. P. 3–5. DOI: 10.14714/CP32.624.
 12. *REmap 2030 Renewable Energy Prospects for Russian Federation.* Abu Dhabi: IRENA, 2017. 92 p.

REFERENCES

1. *Berliant A.M.* An image of space: map and information. Moscow: Mysl', 1986. 240 p. (in Russian).
2. *Dean J., Kandt A., Burman K., Lisell L., Helm C.* Analysis of Web-Based Solar Photovoltaic Mapping Tools. ASME 2009 3rd International Conference on Energy Sustainability, Volume 1. San Francisco, California, USA: ASMEDC, 2009. P. 85–96. DOI: 10.1115/ES2009-90461.
3. *Elistratov V., Knezevic M., Denisov R., Konishchev M.* Problems of constructing wind-diesel power plants in harsh climatic conditions. *Journal of Applied Engineering Science*, 2014. T. 12. No 1. P. 29–36. DOI: 10.5937/jaes12-5632.
4. *Entin A.L., Samsonov T.E., Lurie I.K.* Harmonization of digital elevation models and hydrographic network for basin delineation. *Geodesy and cartography = Geodezia i Kartografia*, 2019. No 943(1). P. 94–101 (in Russian). DOI: 10.22389/0016-7126-2019-943-1-94-101.
5. *Grechukhina I.A.* Economic mechanisms for the development of renewable energy. PhD dissertation. Moscow, 2016. 194 p. (in Russian).
6. *Kargashin P.E., Novakovskiy B.A., Prasolova A.I.* Development of a regional renewable energy atlas of the Crimean Peninsula. *Proceedings of the International conference «InterCarto. InterGIS»*, 2018. V. 24. Part 1, P. 262–272 (in Russian). DOI: 10.24057/2414-9179-2018-1-24-262-272.
7. *Manerov M.R., Syuzumov A.A., Tyurin S.V.* Methodical framework for developing interactive web maps based on the example of Struve Geodetic Arc UNESCO World Heritage Site *InterCarto. InterGIS. GI support of sustainable development of territories: Proceedings of the International conference.* Moscow: Moscow University Press, 2020. V. 26. Part 4. P. 228–241 (in Russian). DOI: 10.35595/2414-9179-2020-4-26-228-241.
8. *McGranaghan M.* The Web, cartography and trust. *Cartographic Perspectives*, 1999. No 32. P. 3–5. DOI: 10.14714/CP32.624.
9. *Popel O.S., Frid S.E., Kolomiets Y.G., Kiseleva S.V., Terekhova E.N.* Atlas of solar energy resources in Russia. Moscow: Joint Institute for High Temperatures of the Russian Academy of Sciences, 2010 (in Russian).
10. *Remap 2030 Renewable Energy Prospects for Russian Federation.* Abu Dhabi: IRENA, 2017. 92 p.
11. *Titov G.S., Prasolova A.I.* Possibilities of web mapping for the study of solar resources. *Proceedings of the III All-Russian Scientific and Practical Conference “Geodesy, Cartography, Geoinformatics and Cadastres. Science and education”*, 2019. P. 273–275 (in Russian).
12. *Yablokov V.M., Tikunov V.S.* Atlas information systems for sustainable development of territories *Proceedings of the International conference «InterCarto. InterGIS»*, 2016. V. 22. Part 1. P. 13–33 (in Russian). DOI: 10.24057/2414-9179-2016-1-22-13-33.