УДК 621.311:002.53

© Коллектив авторов

П.Е. Каргашин, Б.А. Новаковский, С.В. Киселева, А.И. Прасолова, Н.С. Веревкина

БАЗА ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ДАННЫХ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ОБЪЕКТОВ ВОЗОБНОВЛЯЕМОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

Одна из важных отраслей для любого государства – электроэнергетика, которая обеспечивает работу промышленных и сельскохозяйственных предприятий, объектов сферы услуг, жилищно-коммунального хозяйства. Согласно основным нормативным документам, под объектами электроэнергетики понимают «имущественные объекты, непосредственно используемые в процессе производства, передачи электрической энергии, оперативно-диспетчерского управления в электроэнергетике и сбыта электрической энергии, в том числе объекты электросетевого хозяйства» [1]. В настоящее время за рубежом эта отрасль претерпевает существенные изменения, связанные с интенсивным вовлечением в производство новых источников энергии [2]. Эта тенденция в последние годы проявляется и в России. В федеральном законе «Об электроэнергетике» (редакция от 13.07.2015) есть разделы, которые учитывают и объекты генерации электроэнергии на основе возобновляемых источников, сформулированы правила квалификации для подобных энергоустановок [3]. Сооружение объектов генерации на базе возобновляемых источников энергии (далее ВИЭ) предусмотрено стратегией развития электроэнергетической отрасли до 2030 года [4].

Область ВИЭ быстро развивается в научном и техническом плане за счет появления новых материалов, новых конструкционных решений в установках ВИЭ, роста интереса предпринимателей к тематическим инвестициям и пр. По данным ОАО «Газпром промгаз» годовой прирост производства энергии в мировых масштабах составляет 30% в ветроэнергетике, 50-60% – в солнечной и в энергетике на биотопливе – 30-35%. В этом направлении работают крупные транснациональные корпорации, например, нефтегазовые компании BP, Shell, Petrobras, GazdeFrance, E.ON, Ruhrgas [10].

Функционирование и развитие электроэнергетики требует фундаментальных исследований и прикладных разработок в различных областях. К таким сферам относится и информационное обеспечение. В настоящее время информационные системы сопровождают производственные процессы при изысканиях, строительстве, эксплуатации и т.д. В их основе лежат базы данных, роль которых изменилась от хранения и вывода на экран данных, до поддержки принятия решений с помощью геоинформационных технологий пространственного моделирования. Новые аспекты использования баз данных приводят к необходимости оперировать не только атрибутивной, но и позиционной информацией. Оптимальным и современным решением стали базы пространственных данных (далее БПД) и построенные на их основе геоинформационные системы (далее ГИС).

Разработка баз данных, в том числе БПД, выполняется в несколько этапов. Процесс включает последовательное создание концептуальной, логической и физической моделей. Каждый этап предполагает более детальную характеристику базы данных [5]. На этапе концептуального моделирования выполняется описание предметной области, которое включает характеристику объектов, понятий и их свойств. Наполнение модели на этом этапе зависит от полноты наших тематических знаний, экспертных оценок специалистов, привлекаемых средств математического моделирования и т.д. В эталонном варианте создаваемая концептуальная модель должна обеспечивать хранение в базе данных всей необходимой информации с возможностью пополнения ее результатами текущего мониторинга и совершенствующегося математического моделирования, актуальными оценками экспертов и пр. При создании методологии построения концептуальной модели и наглядного представления результатов моделирования широко используются такие разделы математики, как теория графов, теория сетей, теория динамических систем с привлечением компьютерного программирования и элементов искусственного интеллекта [6, 7, 8, 9].

В основу разработки концептуальной модели обычно берется функционально-целевой подход, который позволяет представить сложную систему в виде иерархии более простых объектов. Особенностями концептуального моделирования при таком подходе является возможность использования при формальном описании знакомых и понятных эксперту терминов и понятий предметной области. Выполняется интеграция коллективных знаний о предметной области в единую формальную модель. Общие принципы проектирования применимы также и для БПД, однако любая предметная область привносит свои специфические черты в создаваемую модель данных.

В данной статье рассматриваются объекты, производящие электроэнергию на основе возобновляемых источников энергии. К таким объектам относят электростанции, использующие в качестве источника энергию солнца, ветра, недр и т.д.

Использование модели данных является основой для проектирования энергетических комплексов на базе возобновляемых источников энергии. Модель данных используется для описания технологической структуры энергокомплекса с учетом некоторых допущений и приемлемых погрешностей с целью воспроизводства его реальных свойств, а также в целях оптимизации структуры модели энергетического комплекса путем имитации процессов преобразования и потребления энергетических потоков в различных режимах функционирования [10].

Зарубежный опыт проектирования баз данных для возобновляемой энергетики рассмотрен в разных работах, в том числе [11, 12, 13]. Следует отметить ряд особенностей, присущих большинству разработок. Главная черта предлагаемых моделей заключается в том, что БД для сопровождения объектов возобновляемой энергетики отличаются широким спектром параметров и включают разделы: природа, экономика, управление, экология. Специфика представленных разработок отражена в структуре данных, однако в таких работах недостаточно раскрыта роль базы данных как инструмента работы, как основы принятия решений. На взгляд авторов, не менее важным является изложение принципов работы с ней еще при создании структуры БД или БПД.

В рамках исследований, проводимых по гранту РФФИ 13-08-01186 А «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"», выполнена разработка структуры и содержания базы пространственных данных для объектов возобновляемой энергетики, а также показаны типовые алгоритмы работы с данными, которые составляют основу специализированного набора инструментов геоинформационной системы.

Идея предлагаемого подхода заключается в том, что еще на этапе концептуального моделирования базы данных учитывается последующее ее использование, основные направления и приемы обработки данных. В число общих требований к создаваемой базе данных следует отнести:

– полное и достаточно подробное описание предметной области;
– логичное построение и наличие четкой структуры, отвечающей требованиям того научного направления, в рамках которого она создается;
– формулировка алгоритмов обработки данных для анализа и оценки территории в прикладных задачах.

В качестве исходного положения и основного направления использования данных рассматривался геоинформационный анализ и картографирование территорий потенциального размещения объектов возобновляемой энергетики. В частности, база данных должна быть пригодна для решения вопросов об оптимальном размещении энергоустановок на базе ВИЭ, оптимизации состава энергоустановок, обеспечения минимально возможной антропогенной нагрузки на окружающую среду и т.д. Представленный круг задач широкий и требует включения пространственной и атрибутивной информации о природе, уровне промышленного развития, социально-демографических характеристиках, состоянии окружающей среды.

Исходя из сказанного выше, целесообразно рассмотреть систему, которая состоит из природных и антропогенных компонентов. Сложность моделирования заключается в том, что компоненты системы функционируют не только в пространстве, но и взаимодействуют во времени. При разработке БД использован системный подход, и в основе концептуальной модели лежит рассмотрение природно-антропогенной системы, включающей как объект возобновляемой энергетики, так и объекты окружающей среды. Описываемая природно-антропогенная система состоит из 4 подсистем: природа, производство, общество, возобновляемая энергетика. Каждая из этих подсистем логически обособлена, и деление информации на 4 блока в соответствии с принадлежностью к подсистеме можно считать обоснованным.

Более подробная структура и содержание БПД приведено на рис. 1. В блоке «Природа» деление обусловлено компонентами природной среды и

выделено 5 частей: рельеф, растительный покров, почвенный покров, климат и атмосфера, водные объекты. Подобное деление вполне логично и в значительной степени является традиционным. Наиболее сложной задачей стало формирование списка параметров каждого из компонентов. В их число вошли те, которые влияют на проектирование объектов энергетики, в том числе подвергаются антропогенному воздействию. К числу таких параметров относятся морфометрические показатели, типы почв и растительности, климатические и метеорологические показатели (скорость ветра, солнечная радиация). Приведенные на рис. 1 показатели имеют разную пространственную локализацию: линейную, площадную.

Второй блок «Производство» объединяет объекты, которые являются потенциальными потребителями возобновляемой энергетики: промышленность, сельское хозяйство, ЖКХ, транспорт. Также в этот блок входит энергетика, в которую включена существующая электросетевая инфраструктура и объекты производства энергии. В третьем блоке «Общество» содержится информация о социальной сфере. При комплексном рассмотрении этот раздел необходим, особенно на уровне субъектов федерации и административных районов. В нем содержатся данные о численности и размещения населения, потенциальных трудовых ресурсах и т.д. Перечисленные параметры распределены по трем блокам: расселение, демография и социальная сфера.

Три указанных блока формируют значительную часть базы геоданных и характеризуют окружающую среду, ту часть природно-техногенной системы, в которой функционирует объект возобновляемой энергетики. Более детальная структура каждого определена исходя из принятых в географических исследованиях подходах к классификации объектов и явлений, но была уточнена с учетом специфики данного исследования.

Помимо характеристики окружающей среды в БПД особый раздел посвящен собственно объектам возобновляемой энергетики. Данные делятся на три блока: «Энергоустановка», «Внеплощадочные объекты», «Вспомогательные установки». В этих блоках содержится информация по удельной мощности, техническим характеристикам объекта генерации энергии. Более дробное деление блока данных «Энергоустановка» обусловлено видами ВИЭ: малая гидроэлектроэнергетика, ветровая, солнечная. Данные в этих блоках должны быть представлены с разной детальностью для выполнения анализа на разном пространственном уровне. Внеплощадочные объекты и вспомогательные установки представлены в первую очередь как точечные и линейные объекты. структура базы данных является типовой и может детализироваться на последующих стадиях разработки, в зависимости от природных и социально-экономических особенностей территории и частных задач использования базы данных.

Как указано выше, предлагаемый подход требует описания возможного применения БПД. Покажем это на примере анализа данных на разных стадиях жизненного цикла предприятия возобновляемой энергетики. С точки зрения природно-антропогенной системы необходимо рассмотреть несколько состояний этой системы и выделить ключевые связи между компонентами системы. Подобное рассмотрение уместно, например, в ключе проектирования объекта возобновляемой энергетики (ВЭ), поиска оптимального положения или выбора типа источника энергии.

Первое состояние – исходная система, включающая природные объекты, технические сооружения и общество. В территориальных границах этой системы планируется строительство объекта возобновляемой энергетики, то есть внедрение нового компонента в природно-техногенную систему. С точки зрения жизненного цикла объекта возобновляемой энергетики это соответствует прединвестиционной, предпроектной и проектной стадиям. Подобный анализ необходим в целях оптимизации местоположения и выбора нужного типа электростанции.

Второе состояние системы характеризуется наличием нового объекта, что неизбежно приводит к нарушению равновесного состояния, изменению существующих и возникновению новых связей, трансформации компонентов системы. Это соответствует таким стадиям жизненного цикла объектов ВЭ, как строительство и эксплуатация.

Третье состояние – природно-антропогенная система после вывода из эксплуатации объектов ВЭ, для которой необходимо выполнить анализ изменения окружающей среды за время существования объекта возобновляемой энергетики и прогноз восстановления природных комплексов.

Предлагаемая БПД содержит все необходимые данные для исследования всех состояний системы. Каждый этап анализа соответствует определенному состоянию системы, предъявляет специфические требования к исходным данным и алгоритмам обработки.

Первый этап анализа заключается в определении необходимости создания объекта ВИЭ. При изучении проверяется выполнение нескольких условий: во-первых, оценка существующих объемов выработки электроэнергии и возможностей ее поставки для предприятий промышленности, сельского хозяйства, коммунального хозяйства и

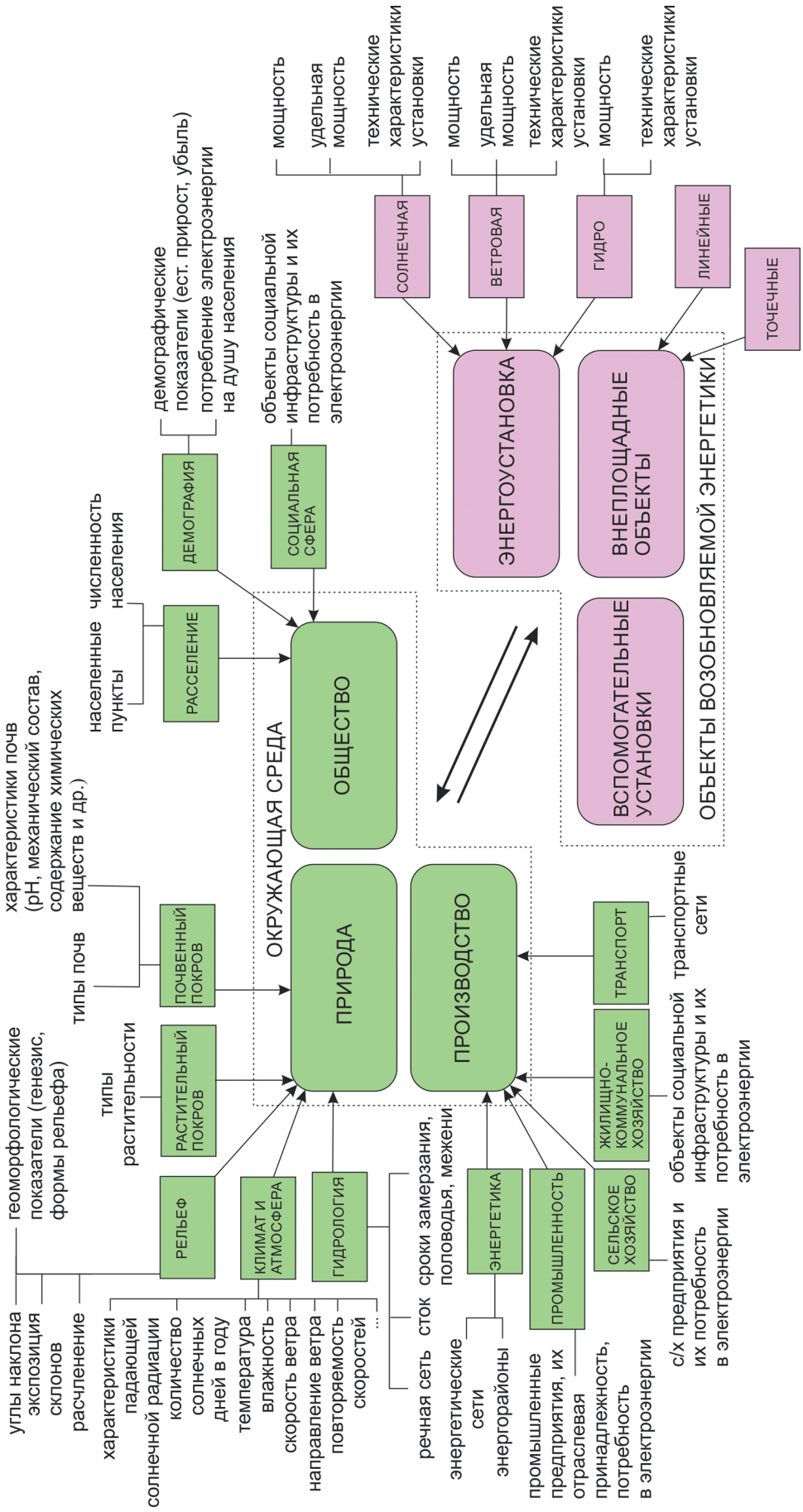

Рис. 1. Структура и содержание базы данных объектов возобновляемой энергетики

выяснение достаточности объемов электроэнергии; во-вторых, может ли объект возобновляемой энергетики обеспечить требуемый объем электроэнергии. Этот анализ выполняется на основе данных блоков «Производство», «Объект возобновляемой энергетики». Исследование соответствует прединвестиционной стадии реализации любого строительного проекта.

На втором этапе с помощью БД решается задача определения местоположения для объектов возобновляемой энергетики. На этой стадии недостаточно анализа статистических данных, а работа выполняется как с позиционными, так и с атрибутивными данными. С точки зрения геоинформационной обработки данных, эта задача сведена к анализу в двух направлениях:

1) поиск территорий, где необходимо размещение объектов возобновляемой энергетики;
2) поиск территории где возможно их размещение.

Каждое из указанных направлений проверяется по соответствующим параметрам базы данных и описывает частный случай взаимодействия объекта возобновляемой энергетики с окружающей средой, причем как с природными, так и с антропогенными объектами. Эта процедура по своей сути аналогична работам, проводимым на предпроектной стадии, но в данном исследовании она формализована за счет использования базы данных и может быть представлена в виде блок-схемы. На рис. 2 и 3 показаны алгоритмы поиска наиболее удачной территории по каждому из направлений. Исходные данные относятся ко всем блокам созданной БПД.

На рис. 2 приведен общий алгоритм поиска территорий, в пределах которых возможно размещение объекта возобновляемой энергетики. Анализ начинается с изучения природных ресурсов и их достаточности для выработки энергии. Эта часть алгоритма позволяет выбрать те территории, на которых выявлены достаточные ресурсы для размещения электростанции. Также это позволяет оптимизировать тип электростанции и определить ее необходимые технические характеристики.

Выбранные участки являются основой для уточнения величины допустимости потенциального воздействия на природную среду. Результатом является выделение территорий с достаточным количеством ресурсов и одновременно допустимым или минимальным воздействием. Именно на этой стадии имеют значение не только исходные параметры природной среды, но и интегральные характеристики – устойчивость природных комплексов, способность к самовосстановлению. Этот пример иллюстрирует преимущество предлагаемого подхода к созданию баз данных, так как именно в процессе моделирования применения базы данных выявлены важные характеристики предметной области.

На заключительном этапе алгоритма предлагается учесть существующую электросеть и выявить возможности передачи электроэнергии в отдаленные районы. Итогом анализа является подбор перспективных площадок, на которых возможно размещение объектов возобновляемой энергетики с учетом природных ресурсов, современного состояния природных комплексов и электросетевой инфраструктуры. Такой анализ может выполняться на региональном, районном и местном уровнях исследования при наличии необходимых данных.

На рис. 3 представлен алгоритм, который позволяет выбрать участки, на которых возможно и необходимо размещение объектов возобновляемой энергетики. По схеме можно проследить основные действия и аналитические операции, необходимые для выбора территорий. Помимо поиска территории, в этом алгоритме предполагается всесторонний анализ социально-экономической обстановки на предмет использования местных производств, трудовых ресурсов, путей сообщения и т.д. Следует отметить, что в этом анализе используются данные, полученные с помощью предыдущего алгоритма.

Еще один пример использования базы данных для решения частных задач возобновляемой энергетики заключается в определении потенциальных изменений элементов системы и прогнозе развития системы в случае строительства объектов возобновляемой энергетики. В табл. 1 приведены типичные примеры взаимодействия элементов окружающей среды, представленных в блоках «Природа», «Технические объекты», «Общество» с объектами возобновляемой энергетики. Приведенные примеры показывают, на какие аспекты взаимодействия элементов системы следует обратить внимание в процессе строительства и эксплуатации объекта возобновляемой энергетики. Приведенный перечень также отражает наиболее активные связи между компонентами системы, изучение которых важно на стадии подготовки объекта возобновляемой энергетики к реконструкции или ликвидации.

Таким образом, рассмотрены возможности применения предложенной базы пространственных данных для исследований в рамках изучения этапов жизненного цикла предприятия возобновляемой энергетики. Итогами выполненной работы по созданию концептуальной модели базы пространственных данных для геоинформационной системы возобновляемой энергетики являются:

– определение перечня ключевых параметров объектов возобновляемой энергетики и окружающей среды для решения задач, связанных

с геоинформационным анализом территории в целях развития энергетики на базе ВИЭ;
- описание предметной области на основе системного подхода к объектам окружающей среды;
- применение предлагаемой модели базы данных для изучения жизненного цикла объекта возобновляемой энергетики;
- апробация разработанной модели на ряде тестовых сценариев, отражающих специфику взаимодействия объектов ВЭ и окружающей среды.

Рассмотренные в статье аспекты разработки баз пространственных данных позволяют сделать ряд выводов о принципах создания и оптимального наполнения для тех из них, которые предназначены для обслуживания нужд возобновляемой энергетики. Перспективным представляется подход, при котором описание предметной области учитывает не только необходимые объекты и явления, но также и особенности использования базы данных для решения научных и прикладных задач.

Приведенные в статье принципиальные алгоритмы анализа территории для потенциального размещения объектов возобновляемой энергетики определяют, какая информация должна включаться в базу данных. Показано, что базы пространственных данных, содержащие не только семантическую, но и

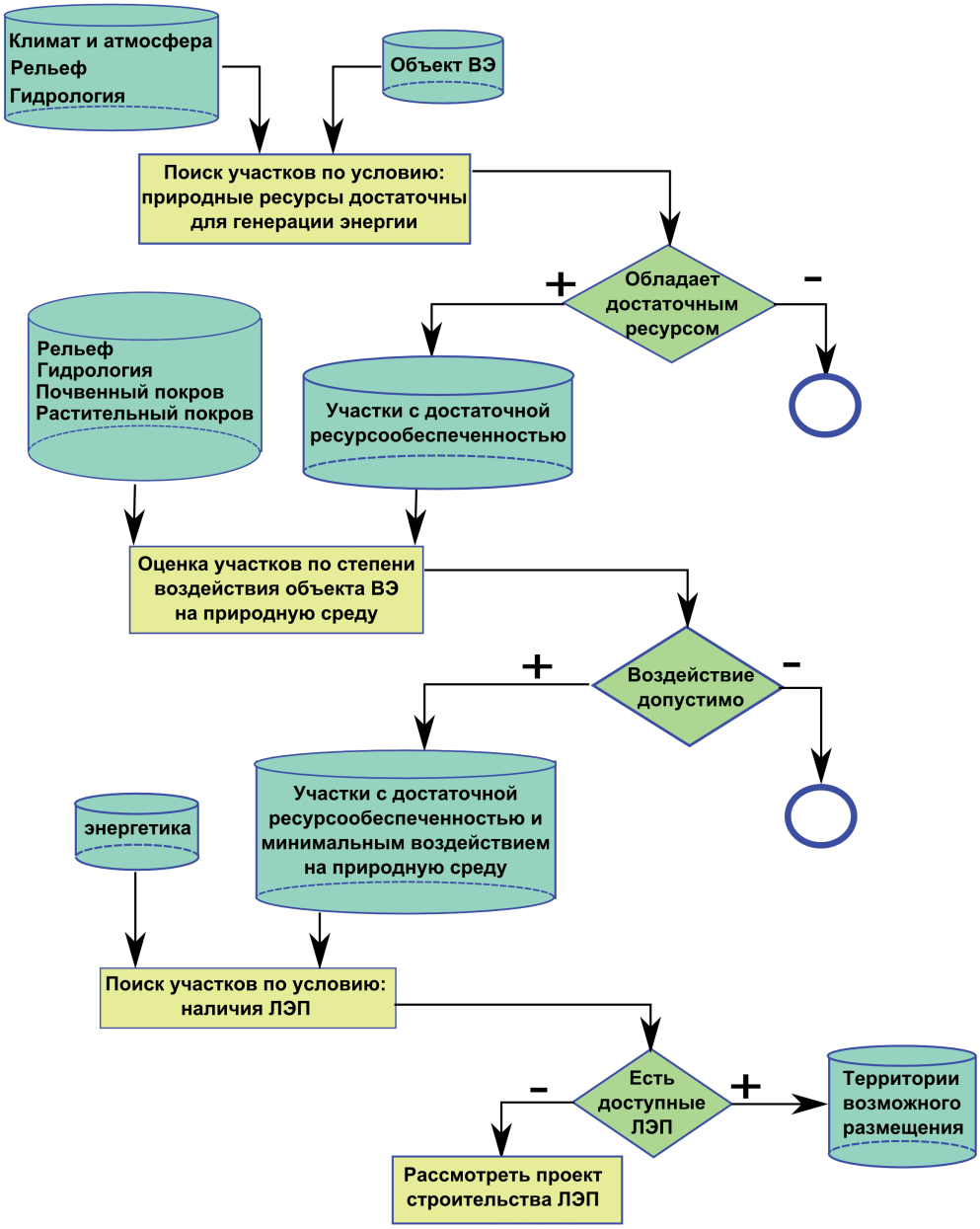

Рис. 2. Алгоритм поиска территорий, для которых возможно размещение объектов возобновляемой энергетики

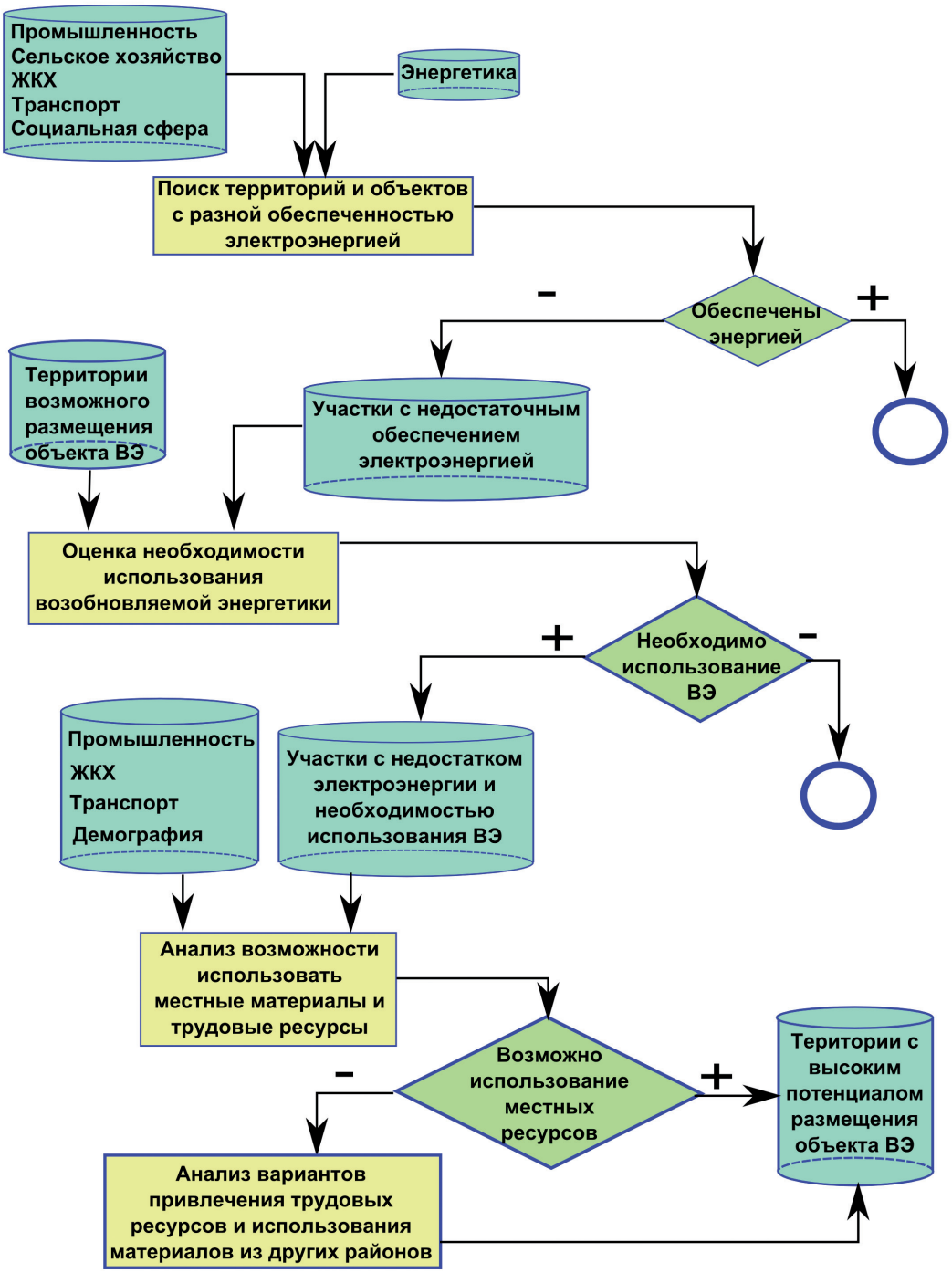

Рис. 3. Алгоритм выбора потенциальных участков для строительства объектов ВЭ

позиционную информацию, имеют более широкий спектр применения по сравнению с традиционными базами данных.

Выполненные исследования опираются на системный подход и моделирование процессов, происходящих на территории при изменении количества компонентов системы за счет строительства объекта возобновляемой энергии. Такое рассмотрение позволяет использовать результаты работы как в научных, так и прикладных задачах.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, проект № 13-08-01186.

Ключевые слова: возобновляемые источники энергии, базы пространственных данных, геоинформационные технологии, концептуальное моделирование, анализ пространственных данных.

ЛИТЕРАТУРА

1. Об электроэнергетике : федер. закон от 26.03.2003 № 35-ФЗ (ред. от 03.11.2015) : [принят Гос. Думой

Таблица 1

Характеристика потенциального взаимодействия элементов системы

Объект системы	Специфика взаимодействия	Последствия
Почвенный покров	Нарушение почвенного покрова территории размещения объектов	Смена типа почв
Почвенный покров	Изменение в ближайшей окрестности	Изменение почвенных характеристик (механических, химических)
Растительность	Уничтожение растительного покрова	Смена типа растительности
Растительность	Изменение в ближайшей окрестности	Смена типа растительности, возможно замещение исходных видов рудеральными
Рельеф	Планировка поверхности	Изменение морфометрических показателей
Водные объекты	Использует в качестве источника энергии в зависимости от типа ВИЭ	Не выяснены
Энергетика	Появляется новый элемент подсистемы	Изменение конфигурация энергосистемы
Промышленность, сельское хозяйство, жилищно-коммунальное хозяйство	Использует энергию возобновляемых источников	Создание нового источника энергии, независимого от традиционной энергетики
Промышленность	Объект возобновляемой энергетики потребляет продукцию и материалы	Использование местной продукции
Транспорт	Требует создания новых дорог, ЛЭП	Изменение транспортной сети и конфигурации сети ЛЭП
Трудовые ресурсы	Объект возобновляемой энергетики использует местные трудовые ресурсы	Создание рабочих мест

21 февраля 2003 г. : одобр. Советом Федерации 12 марта 2003 г.].
2. Министерство энергетики РФ [Электронный ресурс]. – URL: http://minenergo.gov.ru/activity/vie/policy_and_legal_framework/ (дата обращения: 15.06.2015).
3. Правила квалификации генерирующего объекта, функционирующего на основе использования возобновляемых источников энергии : утверждены постановлением Правительства Российской Федерации от 3 июня 2008 года, № 426.
4. Энергетическая стратегия России на период до 2030 года : утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 13 ноября 2009 г. № 1715-р.
5. Data Modeling [Electronic resource]. – URL: http://www.1keydata.com/datawarehousing/data-modeling-levels.html (date of accsess: 25.06.2015).
6. Емельянов С.В., Попков Ю.С., Олейник А.Г., Путилов В.А. Информационные технологии регионального управления – М. : Едиториал УРСС, 2004. – 400 с.
7. Путилов В.А., Горохов А.В. Системная динамика регионального развития. – Мурманск : НИЦ «Пазори», 2002. – 306 с.
8. Поспелов Г.С. Искусственный интеллект – основа новой информационной технологии. – М. : Наука, 1988. – 278 с.
9. Sterman J. Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World. – McGraw-Hill, 2000. – 982 p.
10. Толмачев В.Н., Кирюхин С.Н., Журавский М.А., Сибгатуллин А.Р. Применение методов имитационного математического моделирования для повышения эффективности функционирования ветроэнергетических комплексов // Наука и техника в газовой промышленности. – 2013. – № 3. – С. 39-48.
11. Calvert K., Pearce J.M., Mabee W.E. Toward renewable energy geo-information infrastructures: Applications of GIScience and remote sensing that build institutional capacity // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – Elsevier, 2013. – Vol. 18. – Issue C. – P. 416-429.
12. Burger J., Gochfeld M. A Conceptual Framework Evaluating Ecological Footprints and Monitoring Renewable Energy: Wind, Solar, Hydro, and Geothermal // Energy and Power Engineering. – 2012. – Vol. 4. – P. 303-314.
13. Resch B., Sagl G., Törnros T., Bachmaier A., Eggers J.-B., Herkel S., Narmsara S., Gündra H. GIS-Based Planning and Modeling for Renewable Energy: Challenges and Future Research Avenues // ISPRS International Journal of Geo-Information. – 2014. – Vol. 3. – Issue 2. – P. 662-692.