

УДК 004.942

МЕТОДИКА СБОРА, ОБРАБОТКИ И АНАЛИЗА СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ДАННЫХ В РАМКАХ МАТЕМАТИЧЕСКОГО И ИНФОРМАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ОБЪЕКТОВ БАЙКАЛЬСКОЙ ПРИРОДНОЙ ТЕРРИТОРИИ

Башарина О.Ю.*ФГБУН «Институт динамики систем и теории управления им. В.М. Матросова» СО РАН,
Иркутск, e-mail: basharinaolga@mail.ru;**ФГБОУ ВО «Уральский государственный экономический университет», Екатеринбург*

Статья посвящена актуальным вопросам экологического мониторинга природоохранных территорий. Представлена методика, позволяющая осуществлять сбор и анализ социально-экономических показателей для моделирования функционирования существующих и проектируемых на побережье озера Байкал инфраструктурных объектов. Данная методика адаптирует известные методы и подходы сбора, учета и анализа антропогенного воздействия на экологию региона. Она была эффективно использована в системе математического и информационного моделирования энергетического комплекса. Возможность моделирования разнородных туристических потоков с учетом природно-климатических, политических, общественных и других факторов позволяет прогнозировать пиковую нагрузку на инфраструктурные объекты, оценивать их уязвимость. А также рассчитывать необходимые объемы транспортных, коммунальных, услуг связи, здравоохранения, общественного питания и т.д. Представленные в статье подходы позволяют оценить экологический ущерб не только от туристической деятельности на Байкальской природной территории, но и от размещенных на ней тепло- и энергообъектов, которые являются одними из основных загрязнителей окружающей среды. Замена традиционных источников тепла и электроэнергии на альтернативные (возобновляемые) значительно снижает объемы потребляемого топлива и загрязняющих выбросов. Разработанная методика допускает свое естественное развитие и использование в других предметных областях.

Ключевые слова: Байкальская природная территория, инфраструктурные объекты, энергоснабжение, экология, математическое и информационное моделирование

METHODOLOGY FOR COLLECTING, PROCESSING, AND ANALYZING SOCIO-ECONOMIC DATA IN THE FRAMEWORK OF MATHEMATICAL AND INFORMATION MODELING OBJECTS AT THE BAIKAL NATURAL TERRITORY

Basharina O.Yu.*Matrosov Institute for System Dynamics and Control Theory of SB RAS, Irkutsk,
e-mail: basharinaolga@mail.ru;**Ural State University of Economics, Yekaterinburg*

The article is devoted the topical issues of environmental monitoring of protected areas. The presented methodology allows us to collect and analyses socio-economic indicators for modeling the functioning of existing and projected infrastructure facilities on the coast of Lake Baikal. This methodology adapts the well-known methods and approaches for collecting, recording, and analyzing the anthropogenic impact on the region's ecology. It was effectively used in the system of mathematical and information modeling the energy complex. The ability to model heterogeneous tourist flows, taking into account natural and climatic, political, social, and other factors, makes it possible to predict peak load on infrastructure objects and assess their vulnerability. In addition, this allows us to calculate the required volumes of transport, utilities, communication services, healthcare, catering, etc. The presented methodology make it possible to assess the environmental damage not only from tourism activities in the Baikal natural territory, but also from heat and power facilities located on this territory. Such facilities are one of the main environmental pollutants. Replacing traditional sources of heat and electricity with alternative (renewable) ones significantly reduces the amount of fuel consumed and polluting emissions. The developed methodology allows its development and use in other subject domains.

Keywords: Baikal natural territory, infrastructure objects, energy supply, ecology, mathematical and information modeling

В настоящее время задачи экологического мониторинга являются особо актуальными для охраняемых природных территорий, в частности Байкальской природной территории (БПТ), располагающей уникальными водными, земельными, биологическими и другими важными ресурсами. Ученые и исследователи предлагают различные методы сбора и учета социально-экономических показателей и оценки их влияния

на экологию. Одной из насущных экологических проблем является сокращение выбросов при работе систем тепло- и энергоснабжения [1–3].

Целью данного исследования является разработка методики сбора, обработки и анализа социально-экономических данных, адаптирующей известные методы и подходы применительно к электро-энергетическим комплексам. Полученные

таким образом данные экологического мониторинга используются в построении математических моделей как существующих, так и проектируемых энергетических инфраструктурных объектов. Сбор и анализ социально-экономических показателей позволяет рассчитать не только антропогенное воздействие на экологическую обстановку БПТ, но и исследовать, прогнозировать и оптимизировать технологические, экономические и экологические показатели функционирования изучаемых инфраструктурных объектов [4].

Разработанная методика включена в многоуровневую систему математического и информационного моделирования инфраструктурных объектов БПТ и базируется на проведении анализа уязвимости энергетического комплекса. Глобальный анализ уязвимости проводится на основе оценки производительности исследуемого объекта в критических условиях: неблагоприятных погодных условиях, колебаниях цен на энергоресурсы, значительном увеличении спроса на тепло- и электроэнергию и т.п. В локальном плане анализ уязвимости позволяет определить критические элементы энергетического комплекса, выход из строя которых будет иметь самые неблагоприятные последствия для функционирования всего комплекса [5].

Методика сбора, обработки и анализа социально-экономических данных включает в себя следующие этапы:

1. Определение (отбор) социально-экономических показателей, изменение значений которых может влиять на уязвимость энергокомплекса.

2. Сбор, редукция и корректировка ретроспективных данных. Проверка коррект-

ности информации, исключение аномальных данных и заполнение их пропусков.

3. Статистический анализ данных.

4. Моделирование и прогнозирование социально-экономических показателей.

5. Оценка качества прогнозных значений.

В понятие конфигурации энергетического комплекса, которая является одной из составляющих анализа его уязвимости, также входят социально-экономические показатели функционирования инфраструктурных объектов. Значения этих показателей напрямую зависят от числа потребителей услуг данных объектов: местного населения и различных категорий туристов.

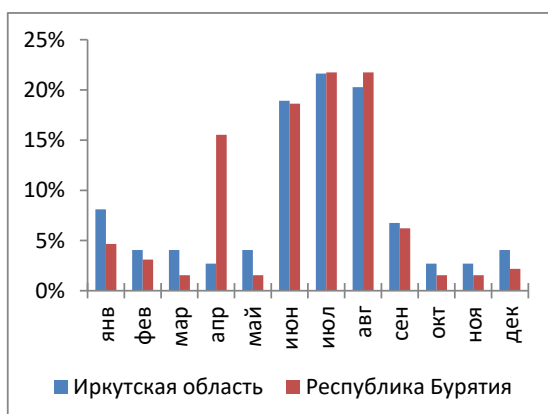
Население БПТ по состоянию на 01.01.2021 г. составляет 1,43 млн чел., а число туристов, посетивших Иркутскую область и Республику Бурятия за 2021 г., по данным региональных агентств по туризму составило около 1,5 млн чел. (без учета самоорганизованных туристов). Внутригодовая динамика туристических потоков подвержена сезонным колебаниям, связанным с природно-климатическими особенностями территории и периодами деловой активности и отдыха потенциальных туристов. Политические и общественные события также влияют на их число.

Ввиду отсутствия жесткой системы учета туристов, посещающих БПТ, сбор и анализ данных о туристических потоках можно реализовать на основе подхода, представленного в [6]. Он учитывает разнородность туристического потока в разрезе рекреационных местностей, использует различные методы сбора данных в зависимости от категории туристов (табл. 1) и позволяет провести моделирование потока туристов в определенный период (день, месяц, сезон, год).

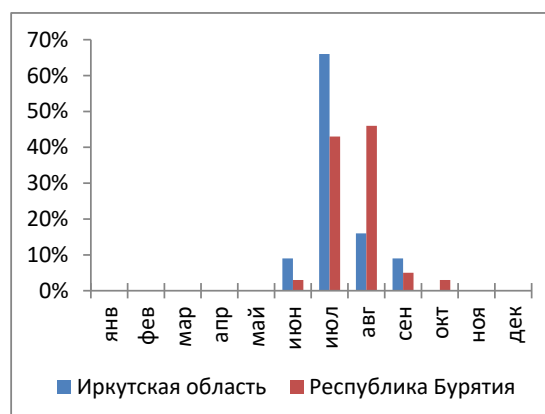
Таблица 1

Методы сбора данных по категориям туристического потока

Категория туристического потока	Методы и основные источники сбора данных
Организованный отдых в коллективных средствах размещения	Статистические данные из официальных и интернет-источников
Самостоятельный палаточный отдых	Полевые наблюдения; интервьюирование
Маршрутный туризм	Данные о регистрации туристических групп в МЧС
Экотуризм на особо охраняемых природных территориях	Данные о выданных разрешениях на посещение объектов; полевые наблюдения; интервьюирование
Зимний спортивный отдых на горнолыжных курортах	Данные о числе купленных абонементов
Экскурсионный туризм	Сбор официальной статистики посещаемости экскурсионных объектов; полевые наблюдения; интервьюирование
Отдых с размещением в домохозяйствах местного населения	Полевые наблюдения; интервьюирование



(а)



(б)

Показатели динамики потока туристов: организованных (а) и самостоятельных (б), %

Сложность получения полного объема данных на основе представленных выше методов определяет необходимость расчета показателей туристического маркетинга, например максимального и среднесуточного числа туристов, числа единовременно пребывающих туристов, средней продолжительности пребывания и т.д. Взаимодополнение исходных и расчетных данных позволяет выполнить экспертную оценку показателей туристического потока.

Использование данной методики позволяет рассчитать различные показатели потока туристов, например коэффициент загруженности для отдельного или комплекса туристических объектов или рекреационной местности. На рисунке показана динамика прибывающих на БПТ потоков организованных и самостоятельных туристов, выраженная в процентах от годового объема [7].

Внутригодовая динамика этого показателя позволяет анализировать и прогнозировать пиковые нагрузки на различные инфраструктурные объекты. В рамках исследования возмущающим фактором для функционирования энергосистемы могут быть не только аномально низкие температуры воздуха, но и высокие значения объемов туристического потока.

Расчет пиковой нагрузки теплосетей при данных возмущениях можно осуществить на основе статистических данных о количестве отапливаемых объектов и их характеристиках. В пределах исследуемой природной территории достаточно много мелких источников тепла, таких как электродвигатели и электроотопительные устройства и печи, использующие

в качестве топлива дрова и уголь. Данные источники широко применяются в индивидуальных жилых и хозяйственных помещениях, туристических и базах отдыха, но, к сожалению, нет данных учета их потребностей в топливе.

Таким образом, необходимо иметь возможность оценить нагрузку на электрические сети в связи с повышенным потреблением электроэнергии на отопление в холодное время года и при наплыве туристов. Среднедушевое потребление электроэнергии для целей отопления можно рассчитать по следующей формуле [8]:

$$E = \frac{(P_w - P_s) \cdot t}{k},$$

где P_w – максимальная мощность электропотребления зимой, кВт·ч; P_s – максимальная мощность электропотребления летом, кВт·ч; t – время использования максимальной мощности электропотребления, ч; k – число потребителей, чел.

Данная формула позволяет определить среднедушевой расход электроэнергии на отопление как для отдельного частного дома, так и для турбазы или поселка с учетом местного населения и числа туристов.

Моделирование туристического потока дает возможность оценить не только уязвимость энергетического комплекса, но и его влияние на экологию региона, ведь он относится к основным источникам загрязнений окружающей среды. Таким образом, переход на альтернативные источники возобновляемой электроэнергии является на сегодня первоочередной и острой задачей федерального и регионального уровней по защите БПТ.

Таблица 2

Коэффициенты объемов потребления топлива и загрязняющих выбросов

Производство энергии / число объектов	Потреб- ление топлива	Масса выбросов и отходов				
		Твердые частицы	Оксиды серы	Оксиды азота	Оксиды углерода	Золошлаковые отходы
Производство электроэнергии с помощью возобновляемых ис- точников энергии / 5 объектов	0,534	–	0,501	0,572	–	–
Производство тепловой энергии с помощью теплонасосных уста- новок вместо угольных котель- ных / 6 объектов	0	0,989	0,996	0,998	0,995	0,994

Проведен широкий спектр научных исследований по оценке влияния объектов энергетики на окружающую среду и возможности перехода на более энергоэффективные и экологически чистые возобновляемые источники энергии [2, 9]. Для производства электроэнергии на БПТ можно использовать: фото- и ветроэлектростанции, малые гидроэлектростанции, газогенераторные электростанции; а для производства тепловой энергии: системы солнечного теплоснабжения, системы с тепловыми насосами, системы теплоснабжения с ветроустановками, котельные на древесном топливе и другие источники [10].

В табл. 2 представлены результаты замены традиционных энергоисточников на возобновляемые в виде коэффициентов изменения объемов потребления топлива и загрязняющих выбросов по отношению к существующей ситуации. Ожидаемое снижение массы выбросов в атмосферу при замене источников электро- и теплоэнергии на возобновляемые будет составлять 9,2 т/год и 170 т/год соответственно [2].

Расчет показателей туристического потока также позволяет оценить влияние автомобильного транспорта на экологическую обстановку БПТ и нагрузку на транспортную инфраструктуру региона [7, 11]. Помимо загрязнения почвы, воды, воздуха горюче-смазочными материалами и выхлопными газами, автомобили разрушают при-

родные ландшафты, растительность, среду обитания редких живых организмов. Анализ показателей транспортного потока необходим при осуществлении программы развития туристско-рекреационной зоны и комплекса природоохранных мероприятий, направленных на снижение негативного воздействия автотранспорта на окружающую среду, на побережье Байкала.

Оценка числа туристов позволяет определить необходимые для местного населения и отдыхающих объемы медицинских, транспортных и других социальных услуг. Эти данные могут быть использованы при строительстве различных инфраструктурных объектов, прогнозировании антропогенного воздействия на экологию региона и т.п. [7].

Согласно аналитическому отчету по разработке региональной концепции развития системы водоотведения в центральной экологической зоне Байкальской природной территории [12] ни одна из пяти существующих канализационных очистных станций не обеспечивает очистку сточных вод до требований приказа Минприроды России от 5 марта 2010 г. № 63. Половина стоков сбрасывается на грунт без очистки.

Кроме того, на объем сточных вод значительное влияние оказывает неуклонно возрастающее с каждым годом число организованных и самодельных туристов (табл. 3).

Таблица 3

Статистические данные

Район	Население, чел.			Прирост числа туристов в 2018 г. по сравнению с 2008 г., чел.	Объем сточных вод, м³/сут.		
	2008 г.	2018 г.	Динамика		2008 г.	2018 г.	Динамика
Ольхонский	9642	9636	-6	+5648	485,6	1600	1114,4
Иркутский	6467	6876	409	+2488	358,6	1300	941,4
Слюдянский	40190	38746	-1473	+1324	6824,3	9832	3007,7

Последствия загрязнения окружающей среды отражаются в социальной и производственной сферах экономики как финансовые и материальные затраты по их предотвращению или устранению. Оценить эти затраты можно, используя методику определения предотвращенного экологического ущерба, согласно которой для экономического района рассчитываются удельные стоимостные оценки ущерба от выброса 1 условной тонны приведенной массы загрязняющих веществ. Таким образом, можно рассчитать возможные антропогенные последствия на экологию региона [3].

Заключение

Предложена методика сбора, обработки, хранения и анализа социально-экономических данных, используемая для мониторинга процессов функционирования инфраструктурных объектов БПТ. Применение данной методики является одним из этапов концептуального моделирования объектов энергетического комплекса. Методика использована при реализации сервиса имитационного моделирования природосберегающего оборудования инфраструктурных объектов БПТ [13], функционирующего в гетерогенной распределенной среде с мультиагентным управлением вычислениями [14]. Возможно развитие и использование разработанной методики в других предметных областях.

Исследование проведено при поддержке РФФИ и Правительства Иркутской области, проект № 20-47-380002-р_а «Математическое и информационное моделирование инфраструктурных объектов Байкальской природной территории», а также Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, проект № FWEW-2021-0005 «Технологии разработки и анализа предметно-ориентированных интеллектуальных систем группового управления в недетерминированных распределенных средах» (Рег. № 121032400051-9).

Список литературы

1. Санеев Б.Г., Майсюк Е.П., Иванова И.Ю. Оценка экологических последствий от объектов энергетики при реализации перспективных проектов освоения месторождений арктических территорий восточных регионов России // Арктика: экология и экономика. 2021. Т. 11. № 4. С. 466–480. DOI: 10.25283/2223-4594-2021-4-466-480.
2. Санеев Б.Г., Иванова И.Ю. План мероприятий развития экологически чистого энергоснабжения центральной экологической зоны Байкальской природной территории / Пояснительная записка к научно-исследовательской работе «Разработка программы эффективного и экологически чистого развития теплоэнергоснабжения центральной экологической зоны Байкальской природной территории на основании использования возобновляемых источников энергии (тепловых насосов, солнечной и ветряной энергии), малых ГЭС и энергосберегающих технологий» ИСЭМ СО РАН, 2020. [Электронный ресурс]. URL: http://www.sbras.ru/files/news/docs/126_po_energetike_14.12.2020.pdf (дата обращения: 28.04.2022).
3. Ботоева Н.Б. Аудит антропогенного загрязнения воздушной среды в центральной экологической зоне Байкальской природной территории // Управление экономическими системами: электронный научный журнал. 2018. № 9 (115). С. 9.
4. Феоктистов А.Г., Костромин Р.О., Горский С.А. Разработка интеллектуальной технологии поддержки принятия решений в системах массового обслуживания на основе их имитационного моделирования на суперкомпьютерах // Современные наукоемкие технологии. 2020. № 2. С. 76–80. DOI: 10.17513/snt.37918.
5. Еделев А.В., Береснева Н.М., Горский С.А. Анализ уязвимости энергетической инфраструктуры и его реализация // Современные наукоемкие технологии. 2022. № 1. С. 47–52. DOI: 10.17513/snt.39008.
6. Евстропьева О.В., Бибаева А.Ю., Санжеев Э.Д. Моделирование туристских потоков на региональном и локальном уровнях. Опыт реализации в ЦЭЗ БПТ // Современные проблемы сервиса и туризма. 2019. Т. 13. № 1. С. 85–97. DOI: 10.24411/1995-0411-2019-10110.
7. Евстропьева О.В. Региональные эффекты развития международной и национальной системы туризма (на примере Байкальского региона): дис. ... докт. геогр. наук. Иркутск, 2021. 454 с.
8. Борисов Г.О. Варианты теплоэнергоснабжения Центральной экологической зоны Байкальской природной территории // Вестник Бурятского научного центра Сибирского отделения Российской академии наук. 2017. № 2 (26). С. 103–109.
9. Борисов Г.О., Убонова Д.З. Проблемы и перспективы энергоснабжения центральной экологической зоны Байкальской природной территории // Экономический вестник Восточно-Сибирского государственного университета технологий и управления. 2019. № 8. С. 25–32. DOI: 10.38028/ESI.2020.17.1.007.
10. Карамов Д.Н., Еделев А.В., Феоктистов А.Г. Моделирование энергоснабжения объектов охраняемой Байкальской природной территории на основе возобновляемых источников энергии // Международный технико-экономический журнал. 2020. № 5. С. 7–24. DOI: 10.34286/1995-4646-2020-74-5-7-24.
11. Воложина С.Ж., Новикова С.А., Ясько Ф.М. Загрязнение атмосферного воздуха выбросами автомобильного транспорта на территории туристско-рекреационной зоны побережья озера Байкал // Известия Иркутского государственного университета. Серия: Науки о Земле. 2017. Т. 22. С. 15–29.
12. Аналитический отчет по разработке региональной концепции развития системы водоотведения в центральной экологической зоне Байкальской природной территории. М.: Автономная некоммерческая организация «Информационный центр в проектировании», 2019. [Электронный ресурс]. URL: <https://irkobl.ru/sites/gkh/documents/komhoz/Аналитический%20отчет%20АНО%20ИЦП.pdf> (дата обращения: 28.04.2022).
13. Феоктистов А.Г., Костромин Р.О., Сидоров И.А., Горский С.А., Башарина О.Ю. Цифровые двойники процессов работы природосберегающего оборудования инфраструктурного объекта // Современные наукоемкие технологии. 2021. № 1. С. 57–62. DOI: 10.17513/snt.38471.
14. Феоктистов А.Г., Костромин Р.О., Горский С.А., Бычков И.В., Черных А.Н., Башарина О.Ю. Алгоритмы планирования вычислений с учетом избыточности и неопределенности // Труды ИСП РАН. 2021. Т. 34. № 1. С. 123–140. DOI: 10.15514/ISPRAS-2022-34(1)-9.