

Оглавление

В.В. Наумова

О КОНФЕРЕНЦИЯХ ITES «СОВРЕМЕННЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ В ОБЛАСТИ НАУК О ЗЕМЛЕ», ПРОВОДИМЫХ НА ДАЛЬНЕМ ВОСТОКЕ РОССИИ

Е.М. Высоцкий, Н.К. Глазнев, М.В. Задорожный, В.П. Мокрушников

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МОБИЛЬНОЙ ПЛАТФОРМЫ «CARRYMAP» ПРИ ПОДГОТОВКЕ К ГЕОЛОГИЧЕСКОМУ КАРТИРОВАНИЮ ОЛОН-ОБОДСКОГО ЗОЛОТОРУДНОГО УЗЛА (ЮЖНАЯ МОНГОЛИЯ)

И.Н. Гансвинд

СОВРЕМЕННЫЕ КОСМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ ИЗУЧЕНИЯ ЗЕМЛИ КАК СИСТЕМЫ

Д.М. Ермаков, А.П. Чернушич

РАЗВИТИЕ СЕТЕВЫХ СЕРВИСОВ ГЕОПОРТАЛА СПУТНИКОВОГО РАДИОТЕПЛОВИДЕНИЯ: ПРОЕКТ ИКАР

Д.Е. Золотухин, Т.Н. Ивельская

О ЦУНАМИОПАСНОСТИ ЯПОНОМОРСКИХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

Н.П. Комендантова

УПРАВЛЕНИЕ РИСКАМИ И ФАКТОРЫ УЯЗВИМОСТИ КРИТИЧЕСКОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ

УДК 004.550

О КОНФЕРЕНЦИЯХ ITES «СОВРЕМЕННЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ В ОБЛАСТИ НАУК О ЗЕМЛЕ», ПРОВОДИМЫХ НА ДАЛЬНЕМ ВОСТОКЕ РОССИИ

В.В. Наумова

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки

«Дальневосточный геологический институт Дальневосточного отделения Российской академии наук»

fegi.naumova@yandex.ru

Аннотация

На Дальнем Востоке России, начиная с 2008 года, прошел ряд конференций ITES по современным информационным технологиям в области наук о Земле. Эта статья представляет собой исторический обзор этих конференций.

Ключевые слова: информационные технологии, науки о Земле

ВВЕДЕНИЕ

Конференции ITES «Современные информационные технологии для научных исследований в области наук о Земле», проводимые на Дальнем Востоке России, – это результат инициативы Лаборатории информационных технологий Дальневосточного геологического института (ДВГИ) Дальневосточного отделения Российской академии наук (ДВО РАН). Основным организатором этих конференций является ДВГИ ДВО РАН, а постоянными со-организаторами – Институт автоматизации и процессов управления (ИАПУ) ДВО РАН (г. Владивосток), Северо-Восточный комплексный научно-исследовательский институт (СВКНИИ) ДВО РАН (г. Магадан), Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН (г. Петропавловск-Камчатский), Геофизический центр РАН (г. Москва).

Цель конференций состоит в том, чтобы привлечь ведущих исследователей и экспертов в информационных технологиях, прикладной математике, геоинфор-

матике, геофизике, системном анализе, а также науках о Земле для обмена знаниями и опытом и обсуждения возможностей для подготовки и реализации совместных проектов и программ.

Организаторы полагают, что конференции способствуют повышению эффективности использования результатов научной деятельности органами исполнительной власти и организациями, связанными с контролем и управлением природными ресурсами, предупреждением и ликвидацией последствий чрезвычайных природных и антропогенных ситуаций, проектно-изыскательскими работами. Организаторы надеются, что эти конференции послужат стимулом для развития информационных технологий в научных исследованиях и образовании на Дальнем Востоке и будут способствовать привлечению молодежи в науку. Организаторами принято решение проводить конференции в удаленных научных центрах и городах Дальнего Востока России с периодичностью раз в 2 года.

Председателем Программного комитета всех четырех уже организованных и проведенных конференций названной серии был академик А.И. Ханчук (ДВГИ ДВО РАН), заместителем Председателя – д. г.-м. н. В.В. Наумова (ДВГИ ДВО РАН), ученым секретарем – И.С. Голубенко (СВКНИИ ДВО РАН). В состав Программного Комитета входят ведущие ученые, работающие в названных научных направлениях: академик А.Д. Гвишиани (Геофизический центр РАН); академик В.А. Левин (ИАПУ ДВО РАН / Московский государственный университет (МГУ) им. М.В. Ломоносова); академик И.В. Бычков (Институт динамики систем и теории управления Сибирского отделения (СО) РАН); член-корреспондент А.М. Федотов (Институт вычислительных технологий (ИВТ) СО РАН); д. т. н. О.Л. Жижимов (ИВТ СО РАН); д. ф.-м. н., профессор В.А. Серебряков, Вычислительный центр (ВЦ) им. А.А. Дородницына РАН; член-корреспондент Н.А. Горячев, СВКНИИ ДВО РАН; член-корреспондент Б.В. Левин (Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН); д. ф.-м. н., профессор Л.М. Митник (Тихоокеанский океанологический институт ДВО РАН); д. т. н. Г.М. Ружников (Институт динамики систем и теории управления им. В.М. Матросова СО РАН); Daniel Cassard (EuroGeoSurveys, Mineral Resources Deputy Chair & Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM), France); Jean-Claude Gullaneau (BRGM, Director Georesources Division, France); A. Ismail-Zadeh (Secretary

General, International Union of Geodesy and Geophysics (IUGG), Germany); Marko Komac (EuroGeoSurveys President, Geological Survey of Slovenia Director and Vice-President of the International Union of Geological Sciences, Slovenia, Ljubljana); Catherine Trufert (Research Director, BRGM, France); Liou Yuei-An (National Central University, Taiwan Group on Earth Observations, Taiwan).

**ВСЕРОССИЙСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «СОВРЕМЕННЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ»,
МАГАДАН, 20–24 АПРЕЛЯ 2008 ГОДА**

В этой конференции приняли участие 87 специалистов из 12 городов Российской Федерации, представляющие 4 института РАН из Москвы и Санкт-Петербурга, 7 институтов СО РАН, 15 институтов ДВО РАН, 6 университетов Сибири, Дальнего Востока, Москвы и Санкт-Петербурга и 3 федеральные государственные организации [9].



Рис. 1. Конференцию открывает член-корреспондент РАН Н.А. Горячев, директор СВКНИИ ДВО РАН

Заседания конференции прошли в режиме видеоконференцсвязи. Осуществлялась прямая трансляция заседаний в интернет.



Рис. 2. В режиме видеоконференцсвязи докладывает Ю.Л. Ижванов (Государственный НИИ информационных технологий и телекоммуникаций, г. Москва)

Доклады участников конференции представляли результаты научных исследований в следующих областях информатики:

- научные сайты и порталы в интернете;
- телекоммуникационные системы и их инфраструктура;
- технологии и системы хранения научных данных;
- технологии распределенных вычислений и GRID-технологии;
- технологии и опыт построения информационно-аналитических ГИС;
- системы дистанционного наблюдения за природными объектами;
- современный анализ данных и математическое моделирование природных процессов.

Во время работы конференции был проведен круглый стол «Проблемы интеграции распределенных пространственных данных и сервисов», его организатором был ВЦ им. А.А. Дородницына РАН. Заседание проведено при поддержке Целевой программы РАН «Информатизация научных учреждений и Президиума РАН».

Конференция отметила прогресс научных исследований в следующих областях:

- поддержка, развитие, мониторинг сетей РАН, а также их интеграция между собой и с образовательными сетями;
- разработка и создание информационно-аналитических ГИС;
- системы дистанционного мониторинга природных процессов.

Конференция рекомендовала усилить исследования в следующих областях:

- разработка и организация Центров и Сетей хранения научных данных, обеспечивающих оперативный доступ исследователей из научных организаций к тематическим базам данных на основе телекоммуникационной инфраструктуры корпоративных и глобальных сетей;
- разработка технологий GRID и распределенных вычислений.

Конференция посчитала целесообразным развернуть работы по созданию «Распределенной системы поддержки инфраструктуры геопространственных данных для научных исследований на основе отечественных и международных стандартов».

Конференция была организована при финансовой поддержке Целевой Программы ДВО РАН «Информационно-телекоммуникационные ресурсы ДВО РАН», а также спонсорской поддержке следующих организаций: Microsoft Corporation, Российское представительство, г. Москва; ОАО «Ростелеком», Дальневосточный филиал, г. Хабаровск; ООО «Стэл – компьютерные системы», г. Москва; Инженерно-технологический центр «СканЭкс» (ИТЦ СканЭкс), г. Москва; ООО «Северная географическая компания», г. Москва; Российское геологическое общество, Магаданский филиал, г. Магадан.

Программа конференции включала также ряд экскурсий: по городу, на Колымский аффинажный завод, станцию приема спутниковой информации УниСкан Компании «СканЭкс» в Магадане в составе коммерческой сети станций Дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) России.



Рис. 3. Докладывает А.С. Михальчук – представитель спонсора конференции, Дальневосточного филиала ОАО «Ростелеком», г. Хабаровск

ВСЕРОССИЙСКИЙ СЕМИНАР «СОВРЕМЕННЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ РАН В ОБЛАСТИ НАУК О ЗЕМЛЕ», ВЛАДИВОСТОК, 8–11 АПРЕЛЯ 2010 Г.

В Семинаре приняли участие более 120 специалистов из 36 институтов РАН из 16 городов РФ. Семинар проведен при спонсорской поддержке компаний: Cisco Systems; Microsoft; Polycom; Стэл – компьютерные системы.

В течение трех дней заслушаны 54 устных доклада, представлено 39 стендовых докладов и обсуждены результаты научных исследований по следующим направлениям: разработка новых методов, алгоритмов, программного обеспечения для анализа данных в области наук о Земле; организация российской сети передачи данных в области наук о Земле; разработка мультимедийных сетевых сервисов и научных порталов Отделения наук о Земле РАН; методы интеграции центров данных; распределенное хранение данных с использованием GRID-технологий; геоинформационное обеспечение фундаментальных исследований в области наук о Земле; инфраструктура пространственных данных; проблемы интеграции пространственных данных, сервисов и приложений; интеллектуальные ГИС.

На пленарном заседании Семинара были заслушаны доклады по основным направлениям применения информационных технологий для наук о Земле. Эти доклады сделали: член-корреспондент А.Д. Гвишиани (Геофизический центр РАН); член-корреспондент А.А. Маловичко (Геофизическая служба РАН); академик А.И. Ханчук (ДВГИ ДВО РАН), академик Е.И. Гордеев (Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН); академик П.Я. Бакланов (Тихоокеанский институт географии ДВО РАН) и другие ученые. Впервые в РАН при проведении научного мероприятия активно использовались сеансы видеоконференцсвязи: 10 докладов ведущих российских ученых были заслушаны и обсуждены в режиме видеоконференцсвязи (12 активных точек) с институтами, расположенными в Москве и других городах РФ.



Рис. 4. Пленарное заседание семинара. На переднем плане сопредседатели семинара: член-корреспондент А.Д. Гвишиани, директор Геофизического центра РАН, и академик А.И. Ханчук, директор ДВГИ ДВО РАН

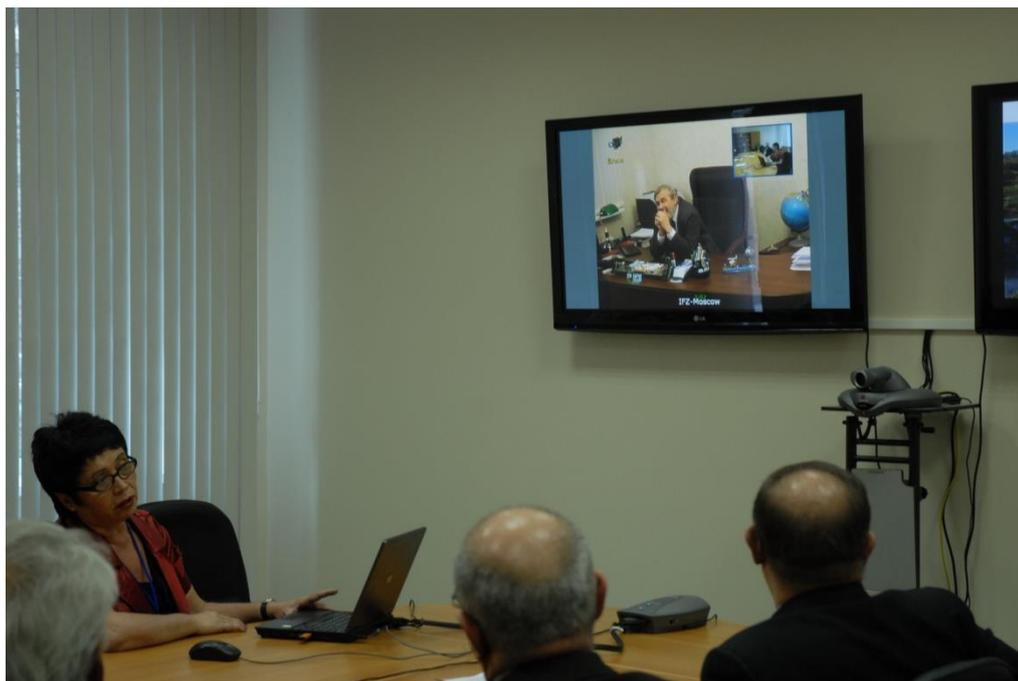


Рис. 5. Выступление академика-секретаря Отделения наук о Земле РАН
А.О. Глико в режиме видеоконференцсвязи

О.А. Глико, академик-секретарь Отделения наук о Земле РАН, директор Института физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН приветственное слово участникам Семинара из своего рабочего кабинета в Москве начал словами: «Конференция, которая проходит сейчас во Владивостоке, – выдающееся событие для всего Отделения наук о Земле ... Хочу сказать, что в развитии науки время от времени происходят существенные изменения, та или иная область становится более важной, более определяющей. Мне кажется, что сейчас огромное значение имеют системы наблюдений и системы обработки данных, объем которых все время возрастает. В этой связи естественным образом огромное значение приобретают методы искусственного интеллекта. Все это накладывается на развитие методов современных телекоммуникаций. Вопросы, которые обсуждаются на владивостокской конференции, имеют первостепенное значение. Очень важно, что эта конференция проходит во Владивостоке, потому что Дальневосточное отделение РАН стало лидером в развитии телекоммуникационных систем в Отделении наук о Земле. То, что было сделано в Дальневосточном отделении, дало толчок для развития подобных вещей в Отделении наук о Земле в целом. Здесь очень боль-

шую роль играет и будет играть Геофизический центр, которым руководит Алексей Джерменович Гвишиани, и я всячески приветствую то сотрудничество, которое установилось между московской частью Отделения и Дальневосточным отделением. Сейчас очень важно, что к этому сотрудничеству активно присоединяется и Сибирское отделение ...».

В рамках Семинара были проведены круглые столы:

- «Академическая инфраструктура пространственных данных: цели, задачи, технологические решения, пути реализации». Инициатор – ВЦ им. А.А. Дородницына РАН;
- «Спутниковый мониторинг для информационного обеспечения фундаментальных научных исследований РАН в области наук о Земле: текущее состояние, возможности развития и трудности. Инициатор: ЦКП регионального спутникового мониторинга окружающей среды ДВО РАН, ИАПУ ДВО РАН;
- «Cisco – новые подходы и стратегии построения Центров обработки данных (ЦОД) в условиях кризиса». Инициатор – спонсор семинара, компания Cisco Systems.



Рис. 6. Д. ф.-м. н., профессор В.А. Серебряков, ВЦ им. А.А. Дородницына РАН

Участники круглых столов отметили, что в настоящее время в разных городах РФ, в том числе в ДВО РАН, проводятся работы по созданию баз метаданных

пространственной информации, и решили организовать координационную группу по созданию Академической инфраструктуры пространственных данных.

Было отмечено, что потенциал средств и методов ДЗЗ из космоса для проведения фундаментальных научных исследований природных и антропогенных явлений и процессов в атмосфере, океане и на суше достаточно высок. Вместе с тем, в России наблюдаются низкий уровень тематической обработки данных дистанционного зондирования, ограниченность доступа к имеющимся технологиям, накопленным спутниковым данным, а также сложность их получения и обмена. Поэтому Семинаром было рекомендовано: сосредоточить усилия на интеграции центров приема, обработки и хранения данных для целей фундаментальных научных исследований РАН в области наук о Земле на территории Российской Федерации; развивать высокотехнологичные средства обработки спутниковых данных с возможностью управления этой обработкой; комплексно использовать источники разнородной информации для получения спутниковых карт требуемого качества и точности. Реализация этих предложений будет содействовать развитию технологий получения, обработки, распространения и использования пространственных данных. Разработка сложных и дорогостоящих технологий обработки пространственных данных (спутниковых в первую очередь) и решение на этой основе фундаментальных научных задач будет способствовать более успешному выходу на международный уровень.

Во время Семинара работала Выставка современных информационных технологий, в которой приняли участие спонсоры Семинара: Microsoft, Cisco Systems, Polusom, Стэл – компьютерные системы, а также Центральная научная библиотека ДВО РАН, представившая наиболее значимые публикации сотрудников ДВО РАН по теме Семинара.

Решением Семинара было рекомендовано создать рабочую группу для разработки возможной Программы Отделения наук о Земле РАН по геоинформатике в составе: соруководители – академик А.И. Ханчук (первый заместитель Председателя ДВО РАН, директор ДВГИ ДВО РАН, г. Владивосток); член-корреспондент А.Д. Гвишиани (директор Геофизического центра РАН, г. Москва). Члены группы: д. г.-м. н. В.В. Наумова (ДВГИ ДВО РАН, г. Владивосток); д. ф.-м. н., профессор В.А. Серебряков (ВЦ РАН/ Межведомственный Суперкомпьютерный Центр РАН, г.

Москва); д. ф.-м. н., профессор Е.И. Гордов (Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, главный научный сотрудник; Сибирский центр климатоэкологических исследований и образования, директор, г. Томск); к. т. н. А.М. Мерзлый (Геофизический центр РАН, г. Москва).

При разработке Программы рекомендовано сконцентрировать внимание на следующих направлениях:

- развитие алгоритмических методов для анализа данных в области наук о Земле, в том числе и методов искусственного интеллекта;
- геоинформационное обеспечение фундаментальных исследований в области наук о Земле РАН; создание распределенной инфраструктуры пространственных метаданных Отделения наук о Земле РАН;
- разработка методов создания тематических центров хранения данных в области наук о Земле; методы интеграции центров данных; организация распределенного хранения тематических данных с использованием GRID-технологий;
- интеграция вычислительных и информационных ресурсов Отделения наук о Земле РАН на основе GRID-технологий;
- разработка систем удаленного мониторинга природных объектов на основе современных информационных технологий;
- спутниковый мониторинг природных объектов; интеграция центров приема, обработки и хранения данных для целей фундаментальных научных исследований РАН в области наук о Земле на территории Российской Федерации; развитие высокотехнологичных средств обработки спутниковых данных с возможностью управления этой обработкой; комплексирование источников разнородной информации для получения спутниковых карт требуемого качества и точности.

Заключительный день Семинара, 11 апреля, его участники провели на берегу моря, в спортивно-оздоровительном лагере «Политехник». Солнечный день, шашлыки, прогулки по побережью, дружеские беседы прибавили настроения и оптимизма для последующей работы.

МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «СОВРЕМЕННЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ В ОБЛАСТИ НАУК О ЗЕМЛЕ», ПЕТРОПАВЛОВСК-КАМЧАТСКИЙ, 8–13 СЕНТЯБРЯ 2014 ГОДА

В Конференции приняли участие более 180 ученых из 6 стран мира: Австрии, Франции, Китая, Казахстана, Узбекистана и РФ [8]. Российские участники из 19 городов РФ представляли 62 организации: 44 института РАН, 3 ведомственных НИИ, 9 университетов, 6 других организаций. Треть участников Конференции – молодые ученые.

В течение трех дней, с 9 по 11 сентября 2014 г., на заседаниях Конференции заслушаны и обсуждены 121 устный и 56 стендовых докладов на 7 секциях по различным направлениям.



Рис. 7. Открытие Конференции

На пленарной секции представлены результаты крупных международных и российских проектов: «ONEGEOLOGY» (М. Комас, О. Петров, Г.В. Брехов, Geological Survey of Slovenia, Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А.П. Карпинского), европейские проекты Геологической службы Франции (Catherine Truffert, French Geological Survey), «INTERMAGNET» (А.Д. Гвишани, А.А. Соловьев, Р.И. Красноперов, Геофизический центр РАН), Института

космических исследований РАН (Л.М. Зеленый, Е.А. Лупян, С.А. Барталев), Росгидрометцентра РФ (В.Н. Копылов, Н.Н. Михайлов, Е.Д. Вязилов). Основные результаты работ на Дальнем Востоке России представили в своих докладах Е.И. Гордеев (Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН), А.И. Ханчук (ДВГИ ДВО РАН), В.А. Левин (ИАПУ ДВО РАН), С.И. Смагин (Вычислительный центр ДВО РАН).

Все секционные доклады участников Конференции условно можно разделить на несколько групп.

Секция 1: разработка новых информационных технологий и систем обработки данных для дальнейшего применения в научных исследованиях в области наук о Земле, а также адаптация и применение этих методов при решении конкретных научных задач.

На Секции 1 были представлены результаты по разработке и применению современных технологических решений для создания различных сетей мониторинга природных объектов: оперативной службы сбора данных сети наземных станций глобальных навигационных спутниковых систем; комплексных сетей для обнаружения и идентификации радиоимпульсов, а также созданию оперативных служб сбора данных с этих сетей. Представленные доклады показали, что в настоящее время в РФ созданы и разрабатываются различные сети удаленного мониторинга природных объектов и процессов, а также организуются оперативные службы сбора данных. При этом производится огромное количество новых данных, для которых необходимо организовать современные системы хранения и тематического анализа.

Секция 2: дистанционное зондирование, спутниковый мониторинг окружающей среды, методы анализа спутниковых данных, сервисы оперативного доступа к спутниковым данным и системам их обработки.

Данное направление относится к наиболее бурно развивающимся направлениям в науках о Земле в РФ. Все доклады делятся на две группы: разработка новых методов, технологий и систем обработки данных и непосредственно применение данных дистанционного зондирования для решения научных задач в области наук о Земле.



Рис. 8. Заседание секции проводит д. ф.-м. н. В.Н. Чебров, директор Камчатского филиала Геофизической службы РАН

Широкое применение данных дистанционного зондирования в науках о Земле сдерживается в РФ отсутствием доступа к спутниковым данным (в частности, данным высокого разрешения) на территории РФ через интернет, а также пока еще недостаточным знанием научными сотрудниками, работающими в этой области наук, методов и технологий обработки спутниковых данных.

Секция 3: геоинформационное обеспечение фундаментальных исследований в области наук о Земле.

Доклады этой секции в основном содержали информацию о применении ГИС-технологий для решения различных задач в области наук о Земле. ГИС-технологии также применялись авторами докладов для подготовки карт различного тематического содержания. Ряд докладов был посвящен созданию картографических веб-сервисов.

Секция 4: математическое моделирование природных процессов.

Доклады этой секции имеют широкий спектр применения математических методов для решения задач в области наук о Земле: в физике атмосферы; океанологии; геологии; экологии, при прогнозе чрезвычайных природных ситуаций.

Секция 5: открытый доступ как современная практика научной коммуникации; электронные библиотеки и коллекции; интеграция территориально распределенных разнородных научных данных в области наук о Земле; инфраструктура пространственных данных; проблемы интеграции пространственных данных, сервисов и приложений.

На этой секции были представлены доклады следующей тематики: интеграция разнотипных данных; извлечение данных и знаний из научных тестов.

Секция 6: виртуальные научные среды и лаборатории; унифицированные коммуникации; облачные технологии; корпоративные порталы, опыт построения и проблемы; высокоскоростные вычисления.

Секция 7: тематические базы данных и информационные системы; предметно-ориентированные системы.

На этой секции были представлены разнообразные предметно-ориентированные системы, построенные на различных подходах и технологических решениях.

Во время работы Конференции представители ее Генерального спонсора (компании Polysom) провели круглый стол «ВИДЕО-сотрудничество – оставайтесь на связи в любом месте, в любое время, с помощью любого устройства». Представители спонсора Конференции (компании ESRI CIS) провели для всех желающих мастер-класс «От интеграции данных к созданию геопортала на основе платформы ArcGIS».

На закрытии Конференции прошло награждение молодых ученых за лучшие доклады. Почетные грамоты и подарки от спонсоров получили сотрудники ДВО РАН: Д.В. Мельников, Институт вулканологии и сейсмологии; А.В. Паршин, Институт геохимии им. А.П. Виноградова; А.А. Долгая, Институт вулканологии и сейсмологии; Е.Г. Егидарев, Тихоокеанский институт географии; А.О. Кадочников, Институт вычислительного моделирования. Специальный приз спонсора Конференции – компании ESRI CIS – получил О.Э. Якубайлик, Институт вычислительного моделирования.

После окончания Конференции сотрудниками Института вулканологии и сейсмологии ДВО РАН для участников Конференции были организованы экскур-

сии: «По историческим местам Петропавловска-Камчатского», «К вулканам Горелый и Мутновский» и вертолетная экскурсия к вулкану Ксудач, которые поставили впечатляющую, эмоциональную и завершающую точку мероприятия.



Рис.9. Экскурсия к вулканам Горелый и Мутновский

Конференция была проведена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 14-07-20017), Генерального спонсора – компании Polysom, спонсора – компании ESRI CIS.

Информационными партнерами Конференции выступили крупные международные организации и объединения: Society of Economic Geologists, International Association on the Genesis of Ore Deposits, International initiative of the geological surveys of the world – OneGeology, International Union of Geological Sciences (IUGS).

IV МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «СОВРЕМЕННЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ В ОБЛАСТИ НАУК О ЗЕМЛЕ», Г. ЮЖНО-САХАЛИНСК, 7–11 АВГУСТА 2016 ГОДА

В Конференции приняли участие более 130 человек из 8 стран мира: России, Франции, Австрии, Канады, Казахстана, Узбекистана, Белоруси, Вьетнама [6]. Они представили результаты научных исследований из 30 институтов РАН, 15 университетов России, 20 компаний и организаций РФ и мира. Примерно половина участников Конференции – молодые ученые.

В течение трех дней были заслушаны и обсуждены 85 устных и 32 стендовых докладов, а также результаты научных исследований по следующим направлениям:

- информационные технологии и методы прикладной математики для изучения природных рисков;
- геоинформационное обеспечение научных и прикладных исследований в области наук о Земле; инфраструктура пространственных данных; проблемы интеграции пространственных данных, сервисов и приложений; интеллектуальные ГИС;
- тезаурусы, онтологии, концептуальное моделирование; семантический Веб и связанные данные; сервисы и семантическое структурирование контента; применение в науках о Земле;
- технологии и опыт построения научных информационных инфраструктур для наук о Земле; электронные библиотеки и цифровые коллекции: модели, архитектура и инфраструктура, инструментальные средства разработки; интеллектуальный анализ данных, извлечение фактов и знаний из научных публикаций;
- современные методы и технологии ДЗЗ из Космоса; сервисы оперативного доступа к спутниковым данным и системам их обработки; методы анализа спутниковых данных;
- организация сетей сбора, хранения и обработки информации в области наук о Земле;
- математическое моделирование в науках о Земле;

- современные информационные технологии для создания систем демонстрации и популяризации результатов и достижений науки, профильных интернет-ресурсов научно-популярного характера в области наук о Земле.

Открытие Конференции и Пленарное заседание прошли в большом конференц-зале Правительства Сахалинской области.



Рис. 10. Открытие Конференции прошло в большом конференц-зале
Правительства Сахалинской области

В докладе академика А.И. Ханчука и д. г.-м. н. В.В. Наумовой (ДВГИ ДВО РАН) отмечено, что в настоящее время на Дальнем Востоке России наблюдается все более возрастающая роль информационных технологий для решения научных задач в науках о Земле. Осуществляются организация сетей сбора, хранения и обработки информации, а также разработка систем оперативного мониторинга природных объектов. Широко применяются современные методы и технологии дистанционного зондирования Земли из Космоса. Создаются территориально-распределенные информационные инфраструктуры поддержки и сопровождения научных исследований.

В докладе академика В.А. Левина, А.И. Алексанина, М.Г. Алексаниной (ИАПУ ДВО РАН) рассмотрены вопросы решения актуальной задачи эффективного

использования Северного морского пути, отмечено развитие его информационного обеспечения, особенно с использованием спутников всех назначений – связи, дистанционного зондирования, навигации. Рассмотрены технологии расчета физических и динамических параметров поверхности океана и атмосферы по информации с метеорологических спутников NOAA, TERRA, AQUA, SUOMI-NPP, которые принимаются и обрабатываются в Центре коллективного пользования регионального спутникового мониторинга окружающей среды ДВО РАН, а также вопросы оперативной поставки данных и сервисов их обработки в порты и на суда в море.

Для системы DSpace, которая широко используется при создании научных цифровых хранилищ, д. т. н. О.Л. Жижимовым (ИВТ СО РАН) обсуждены некоторые методы использования географической информации, представленной в виде геометрических объектов, а также географических терминов. Хранилища, основанные на DSpace, в настоящее время содержат большое количество документов, так или иначе связанных с географической информацией. В то же время, в базовой версии DSpace нет возможности обрабатывать географический информационный компонент. В докладе изложены два варианта интеграции географических метаданных в DSpace: путем прямого задания координат геометрических объектов и со ссылкой на записи специализированного тезауруса географических названий.

В докладе академика Е.И. Гордеева (Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН) с соавторами отмечено, что совместными усилиями специалистов ИВиС ДВО РАН, ИКИ РАН, ВЦ ДВО РАН и ДВ НИЦ Планета создана информационная система (ИС) «Дистанционный мониторинг активности вулканов Камчатки и Курил (VolSatView)», ориентированная на непрерывный мониторинг и исследования вулканической активности региона. ИС VolSatView позволяет совместно обрабатывать оперативную и ретроспективную спутниковую информацию (анализировать термальные аномалии, пепловые облака и шлейфы, спектральные характеристики вулканогенных объектов и др.), сопоставлять ее с видеоинформацией, выполнять моделирование распространения пепловых шлейфов, классифицировать различные вулканогенные объекты. В VolSatView организованы комплексная обработка и анализ разнородной информации (спутниковой, метеорологической и др.) совместно с данными, поступающими из ИС VOKKIA Геопортала ИВиС ДВО РАН и АИС Сигнал ВЦ ДВО РАН.

Членом-корреспондентом Б.В. Левиным (Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН) обсуждались законы Кеплера и сейсмическая активность.

Современные сети станций GPS обеспечивают синхронные временные ряды мониторинга приблизительно от 11000 станций, расположенных по всему миру. Таким образом, возникает проблема совместного анализа большого числа (несколько тысяч) временных рядов. В докладе д. ф.-м. н. А.А. Любушина (Институт физики Земли РАН) был представлен метод, который обеспечивает инструмент для решения этой проблемы. Метод основан на использовании иерархических Фурье-агрегированных сигналов и имеет целью обнаружение временных интервалов и частотных полос, когда возникает когерентная составляющая между компонентами шума всех временных рядов. Разработанный метод был применен для анализа 3-х компонентных ежесуточных временных рядов GPS от сетей в США (4512 станций) и в Европе (2122 станций).

Одно из наиболее перспективных направлений современной океанологии – развертывание систем комплексного оперативного мониторинга обширных морских акваторий. В ДВО РАН с 2008 г. специалистами Тихоокеанского океанологического института при поддержке «Группы глобальных сетей» ИАПУ ДВО РАН ведутся работы по развертыванию системы мониторинга залива Петра Великого. К. т. н. В.К. Фищенко с соавторами представил развернутый доклад о создании данной системы.

М.А. Сергеева (Группа компаний «СКАНЭКС») представила обобщающий доклад на тему «Дистанционное зондирование Земли: современные возможности и перспективы на будущее».

Секционные заседания и стендовая сессия Конференции проходили в здании Специального конструкторского бюро средств автоматизации морских исследований ДВО РАН.



Рис. 11. На заседании одной из секций. Председатель секции – д. т. н. О.Л. Жижимов, ИВТ СО РАН

Представленные доклады показали, что:

- в настоящее время в РФ созданы и разрабатываются различные сети удаленного мониторинга природных объектов и процессов, а также организуются оперативные службы сбора данных; при этом производится огромное количество новых данных, для которых необходимо организовывать современные системы хранения и тематического анализа;

- применение данных дистанционного зондирования в науках о Земле относится к наиболее бурно развивающемуся направлению; объем информации, получаемой со спутников, растет, и на сегодняшний день остро стоит проблема обработки и управления большими массивами данных; являются насущными задачами интеграция спутниковых данных, предоставление к ним веб-доступа и организация веб-сервисов их тематической обработки;

- имеется слабое использование данных с российских космических аппаратов ДЗЗ, что обусловлено отсутствием современных технологий калибровок спут-

никовых данных, узким ассортиментом технологий тематической обработки данных при широком спектре стоящих задач и отсутствием подробной информации о спутниковых приборах и точности тематических продуктов;

- наличие развитой информационной инфраструктуры является необходимым условием обеспечения эффективности научных исследований; интеграция информационных и вычислительных ресурсов в единую среду и организация доступа к ним являются одним из важнейших направлений развития современных информационных технологий.

Неофициальное вечернее заседание Конференции было посвящено вопросам изучения снега и лавин. Свою информацию на нем представили ученые Сахалинского филиала Дальневосточного геологического института ДВО РАН.

На закрытии были подведены итоги Конференции и произведено награждение молодых ученых за лучшие доклады.

В рамках своей программы поддержки научных исследований в области наук о Земле компания Esri CIS предоставила лицензию на программное обеспечение ArcGIS for Desktop Personal Use автору лучшего, по мнению компании, доклада на Конференции – А.В. Паршину (Институт геохимии СО РАН, г. Иркутск) за доклад «Геоинформационные технологии для разведки грунтовой воды, основанные на открытых ГИС и геоданных».

Книгами, посвященными геоинформационным технологиям, компанией Esri CIS награждены:

- Т.Е. Хромова (Институт географии РАН, г. Москва) – за доклад «Управление гляциологическими данными в среде ГИС»;
- Е.Г. Егидарев (Тихоокеанский институт географии ДВО РАН, г. Владивосток) – за доклад «Использование данных дистанционного зондирования для мониторинга наводнений на крупных реках. На примере реки Амур».

Группа Компаний «СКАНЭКС» выделила лучших, по мнению экспертов компании, участников, и они получили сертификаты на доступ к данным дистанционного зондирования Земли на любой выбранный ими регион, а также лицензии на программное обеспечение ScanEx Image Processor®:

- А.В. Скороходов (Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск) – за доклад «Исследование проявлений атмосферных гравитационных волн над водной поверхностью по спутниковым снимкам MODIS»;
- В.С. Еременко (ДВГИ ДВО РАН, г. Владивосток) – за доклад «Принципы формирования системы, обеспечивающей распределенную обработку спутниковых данных по запросу».



Рис. 12. Вручение Д.М. Ермакову специального приза группы компаний «СКАНЭКС»

Специальный приз группы компаний «СКАНЭКС» вручен Д.М. Ермакову (Институт радиотехники и электроники РАН, г. Фрязино) за доклад «Разработка сетевых сервисов Геопортала спутникового радиотепловидения».

В Решении конференции отмечены прогресс научных исследований в РФ по всем рассмотренным направлениям и их соответствие мировым научным тенденциям; предложено МГУ им. М.В. Ломоносова рассмотреть возможность стать со-организатором данной серии международных конференций. Это позволит привлечь к участию в Конференциях на Дальнем Востоке сотрудников, студентов и аспирантов различных факультетов МГУ, что, несомненно, поднимет научный уровень Конференций.

Несмотря на все возрастающее количество молодых ученых, работающих в данном научном направлении в России, была отмечена явно недостаточная обеспеченность направления научными кадрами. Во всех институтах РАН, относящихся к Отделению наук о Земле, работают лишь маленькие лаборатории и группы этого направления. Поэтому этим лабораториям необходимо более тесно сотрудничать с сотрудниками институтов РАН, которые работают в области информационных технологий, прикладной математики и космических исследований.

Экскурсия «К Грязевому вулкану» была проведена сотрудниками Института морской геологии и геофизики ДВО РАН за день до открытия Конференции. Оргкомитетом были организованы экскурсия по городу, а по завершении Конференции – выезд на берег Охотского моря, который поставил заключительную точку Конференции на Сахалине.



Рис. 13. Экскурсия по городу

Конференция была проведена при финансовой поддержке Федерального Агентства научных организаций РФ, РФФИ (проект № 16-07-20413), компании «INTEL Corporation» и Международной ассоциации генезиса рудных месторождений (IAGOD). Информационные партнеры Конференции: компания «ESRI-GIS.

Москва», группа компаний «SCANEX», компания «Совзонд» и журнал «Геоматика».

Конференция прошла в режиме прямой трансляции в интернете. Опубликованы видеозаписи докладов: <http://video.fareastgeology.ru/records/19>; создан виртуальный логотип Конференции: http://video._fareastgeology.ru/records/18. Сайты всех Конференций, описанных выше, доступны на интернет-ресурсе Лаборатории информационных технологий ДВГИ ДВО РАН: <http://fareastgeology.ru/conference>. Видеоархив Конференций: <http://video.fareastgeology.ru>; фотогалереи: <http://fareastgeology.ru/photo>.

Материалы Конференций в виде кратких абстрактов на двух языках, русском и английском, опубликованы в издательстве Дальнаука [5, 10, 11].

Тематические выпуски избранных докладов конференций по представлению Программного комитета осуществили: журнал «Открытое образование» [2, 3]; Вестник Камчатской региональной ассоциации Учебно-научный центр (КРА-УНЦ), Науки о Земле [4].

Настоящий номер журнала «Электронные библиотеки» сформирован на основе избранных докладов Конференции ITES-2016, которая прошла на Сахалине 7–11 августа 2016 г. Тематика статей представляет большой спектр современных задач информатики для таких наук, как геология, геофизика, география, океанология, горные науки и др.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. IV Международная конференция «Современные информационные технологии для научных исследований в области наук о Земле» // Геоматика. 2016. № 2. С. 71.

2. Открытое образование. Тематический выпуск «Информационные технологии в научных исследованиях». 2008. № 4 (069).

3. Открытое образование. Тематический выпуск «Информационные технологии в науках о Земле». 2010. №5 (82).

4. Вестник Камчатской региональной ассоциации Учебно-научный центр, Науки о Земле. Тематический выпуск. 2015. № 1, выпуск 25.

5. Материалы Всероссийской конференции «Современные информационные технологии для научных исследований», Магадан, 20–24 апреля 2008 г. Магадан: Северо-Восточный научный центр ДВО РАН, 2008. 230 с.

6. *Наумова В.В.* IV Международная конференция «Современные информационные технологии для научных исследований в области наук о Земле. ITES-2016» // Вестник ДВО РАН. 2016. № 5. С. 164–167.

7. *Наумова В.В.* Современные информационные технологии для фундаментальных исследований в области наук о Земле // Вестник Отделения наук о Земле РАН. 2010. № 2. http://onznews.wdcb.ru/news10/info_100504.html.

8. *Наумова В.В., Голубенко И.С.* Международная конференция «Современные информационные технологии для фундаментальных научных исследований в области наук о Земле» ITES-2014 // Вестник Камчатской региональной ассоциации Учебно-научный центр, Науки о Земле. 2015. № 1, Вып. 25. С. 56–59.

9. *Наумова В.В., Голубенко И.С.* Всероссийская конференция «Современные информационные технологии для научных исследований» // Открытое образование. 2008. № 4 (069). С. 4–6.

10. Modern Information Technologies in Earth Sciences: Proceedings of the International Conference, Petropavlovsk on Kamchatka, September 8–13, 2014. Vladivostok: Dalnauka, 2014. 178 p.

11. Modern Information Technologies in Earth Sciences: Proceedings of the International Conference, 7–11 August 2016, Yuzhno-Sakhalinsk – Vladivostok: Dalnauka, 2016. 114 p.

ABOUT THE ITES CONFERENCES “THE MODERN INFORMATION TECHNOLOGIES FOR EARTH SCIENCES” IN THE RUSSIAN FAR EAST

Vera V. NAUMOVA

Far East Geological Institute of Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences

fegi.naumova@yandex.ru

Abstract

Series of Conferences took place on the modern information technologies in the Earth Sciences in Russian Far East. This publication represents the historical review of these Conferences.

Key words: Information technologies, Earth Sciences

REFERENCES

1. IV Mezhdunarodnaya Konferentsiya «Sovremennyye informatsionnyye tekhnologii dlya nauchnykh issledovaniy v oblasti nauk o Zemle» // Geomatika. 2016. № 2. S. 71.
2. Otkrytoye obrazovaniye. Tematicheskiy vypusk «Informatsionnyye tekhnologii v nauchnykh issledovaniyakh». 2008. # 4 (069).
3. Otkrytoye obrazovaniye. Tematicheskiy vypusk «Informatsionnyye tekhnologii v naukakh o Zemle». 2010. # 5 (82).
4. Vestnik Kamchatskoy regionalnoy assotsiatsii Uchebno-nauchnyy tsentr. Nauki o Zemle. Tematicheskiy vypusk. 2015. # 1. vypusk 25.
5. Materialy Vserossiyskoy konferentsii «Sovremennyye informatsionnyye tekhnologii dlya nauchnykh issledovaniy». Magadan. 20–24 aprelya 2008 g. Magadan: Severo-Vostochnyy nauchnyy tsentr DVO RAN. 2008. 230 s.
6. Naumova V.V. IV Mezhdunarodnaya konferentsiya «Sovremennyye informatsionnyye tekhnologii dlya nauchnykh issledovaniy v oblasti nauk o Zemle. ITES-2016» // Vestnik DVO RAN. 2016. # 5. S. 164–167.
7. Naumova V.V. Sovremennyye informatsionnyye tekhnologii dlya fundamentalnykh issledovaniy v oblasti nauk o Zemle // Vestnik Otdeleniya nauk o Zemle RAN. 2010. № 2. http://onznews.wdcb.ru/news10/info_100504.html.

8. *Naumova V.V., Golubenko I.S.* Mezhdunarodnaya konferentsiya «Sovremennyye informatsionnyye tekhnologii dlya fundamentalnykh nauchnykh issledovaniy v oblasti nauk o Zemle» ITES-2014 // Vestnik Kamchatskoy regionalnoy assotsiatsii Uchebno-nauchnyy tsentr. Nauki o Zemle. 2015. # 1. Vyp. 25. S. 56–59.

9. *Naumova V.V., Golubenko I.S.* Vserossiyskaya konferentsiya «Sovremennyye informatsionnyye tekhnologii dlya nauchnykh issledovaniy» // Otkrytoye obrazovaniye. 2008. # 4 (069). S. 4–6.

10. Modern Information Technologies in Earth Sciences: Proceedings of the International Conference. Petropavlovsk on Kamchatka. September 8–13. 2014. Vladivostok: Dalnauka. 2014. 178 p.

11. Modern Information Technologies in Earth Sciences: Proceedings of the International Conference. 7–11 August 2016. Yuzhno-Sakhalinsk – Vladivostok: Dalnauka. 2016. 114 p.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ



НАУМОВА Вера Викторовна – доктор геолого-минералогических наук, главный научный сотрудник, руководитель Лаборатории информационных технологий Дальневосточного геологического института Дальневосточного отделения Российской академии наук, г. Владивосток, Россия.

Vera V. NAUMOVA – prof., chief researcher, head of Laboratory of Information Technologies, Far East Geological Institute of Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Vladivostok, Russia.

email: fegi.naumova@yandex.ru

Материал поступил в редакцию 2 февраля 2017 года

УДК 550.85; 004.65

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МОБИЛЬНОЙ ПЛАТФОРМЫ «CARRYMAP» ПРИ ПОДГОТОВКЕ К ГЕОЛОГИЧЕСКОМУ КАРТИРОВАНИЮ ОЛОН-ОБОДСКОГО ЗОЛОТОРУДНОГО УЗЛА (ЮЖНАЯ МОНГОЛИЯ)

Е.М. Высоцкий¹, Н.К. Глазнев², М.В. Задорожный¹, В.П. Мокрушников¹

¹*Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева Сибирского отделения
Российской академии наук;*

²*ООО Дата Ист*

vysotsky@igm.nsc.ru, nglaznev@dataeast.com, zador@igm.nsc.ru,
viktorm@igm.nsc.ru

Аннотация

Изложен опыт освоения новой мобильной картографической платформы CarryMap при подготовке к детальному геолого-структурному картированию и геохимическому изучению Олон-Ободского рудного узла (Южная Монголия). Авторы консолидировали все имеющиеся картографические материалы и данные по опробованию в одном приложении для мобильных устройств.

Ключевые слова: база геоданных, ГИС, геологическая съемка, месторождения полезных ископаемых, Data Mining

ВВЕДЕНИЕ

При современном уровне развития IT-технологий задача повышения эффективности учета, хранения и обработки информации, которая накапливается на всех стадиях исследовательских работ, становится чисто технической. До сих пор в распоряжении сотрудников Института геологии и минералогии им. В.С. Соболева Сибирского отделения РАН (ИГМ СО РАН) не было информационного инструмента, размещенного на современной мобильной платформе и облегчающего задачи геологического картирования в то время, как в западной геологической практике это достаточно распространенное программное обеспечение [1–3].

ВОЗМОЖНОСТИ CARRYMAP

Новая мобильная картографическая платформа CarryMap [4], разработанная компанией DataEast, позволяет пользователям ArcGIS при помощи расширения CarryMap Builder конвертировать проекты карт для работы с ними на мобильных устройствах (рис. 1). При конвертации данных происходит полное сохранение исходных данных из MXD, включая символы, атрибуты, связи и вложения. При экспорте карты в ArcGIS можно установить защиту при помощи пароля, даты использования и ID-устройства. В результате открыть карту можно будет только на определенных устройствах, и/или в разрешенный промежуток времени, и/или зная пароль. Можно оформить карту в индивидуальном и узнаваемом стиле: добавить название карты, название организации и имя издателя, адрес сайта организации, логотип, водяные знаки (текст или изображение).

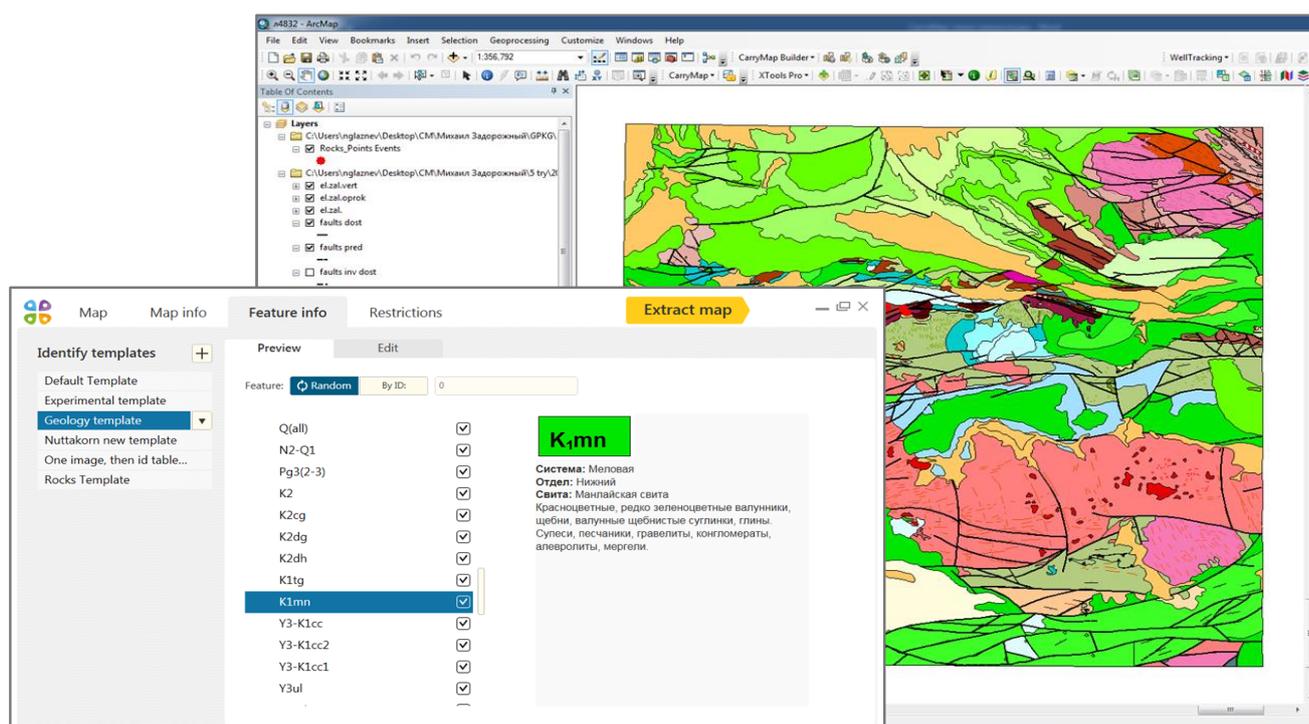


Рис. 1. CarryMap Builder – расширение для ArcGIS

При работе с созданной мобильной картой в мобильных приложениях CarryMap для iOS и Android определение своего местоположения, поиск и идентификация объектов, сбор данных возможны без доступа к интернету. Чтобы сделать

мобильные карты более информативными и наглядными, можно добавлять онлайн-подложки данных из ArcGIS Online и OpenStreetMap.

В целях повышения эффективности сбора разнородной информации в условиях полевых работ в ИГМ СО РАН был разработан «Электронный дневник геолога «ГЕОобраз» [5] (свидетельство о государственной регистрации № 2012617164). Однако перенести интерфейс БД и картографическую информацию на мобильное устройство для коллектива геологов-рудников было крайне сложной задачей.

ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТА

Для проверки работоспособности CarryMap мы конвертировали готовый проект интерактивной геологической карты, подготовленной в среде ArcGIS 10.2. Векторная карта содержит 2339 линейных и полигональных объектов. Особенности этого проекта заключаются в следующем:

- каждый слой легенды представлен отдельным shp-файлом;
- вся атрибутивная информация, которая была сосредоточена в легенде, формализована и консолидирована в виде базы данных в среде MS Access (рис. 2);
- информация об объектах (осадочных породах, плутоногенно-вулканогенных образованиях, дизъюнктивных нарушениях, элементах залегания) хранится в разных таблицах и формализуется с помощью специально разработанных справочников.

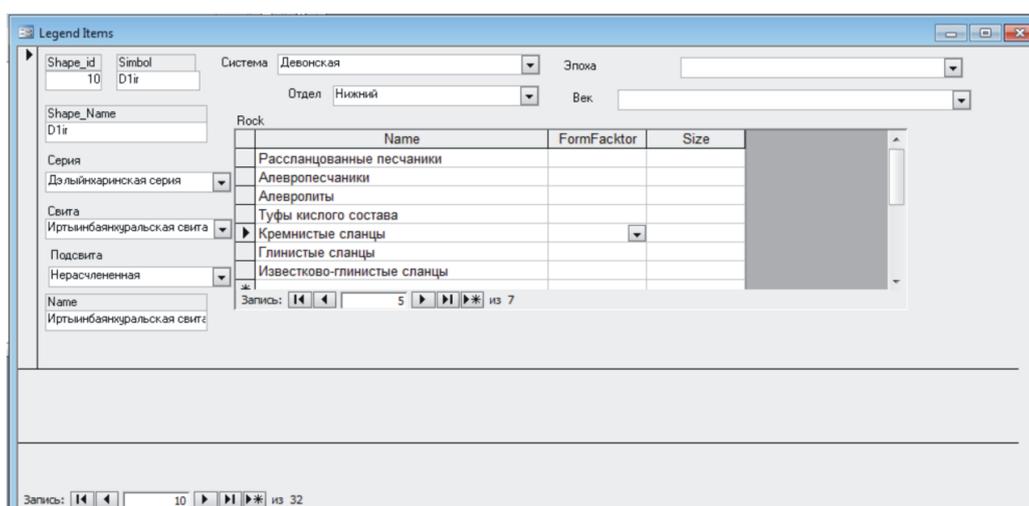


Рис. 2. Интерфейс легенды к геологической карте в среде MS Access

Помимо векторной карты проект содержит и несколько растровых: геологическая карта М1:200000, карта МПИ М1:200000, карта шлихового опробования

M1:200000, схема линейных и кольцевых структурных элементов М 1:500000, четыре топографических карты М1:100000. Также на мобильное устройство мы перенесли данные опробования, консолидированные в базе данных, созданной при помощи АИС «ГЕООбраз». Собрана информация по опробованию, проведенному сотрудниками ИГМ СО РАН в разные годы (2001, 2003, 2011, 2013). БД содержит геолого-геохимическую информацию о 93-х образцах, отобранных в пределах Олон-Ободского рудного узла. Эта информация касается всех этапов изучения каменного материала на камеральной стадии:

- документирование концентратов, шлифов и аншлифов (в том числе фотографии);
- данные атомно-абсорбционного анализа;
- данные микрозондового рентгеноспектрального анализа самородного золота по четырём элементам (Au, Ag, Hg, Cu);
- данные микрозондового рентгеноспектрального анализа сульфидов и теллуридов по 10-ти элементам;
- данные определения абсолютного возраста Ar-Ar методом по серициту, заключенному в кварцевых жилах;
- данные пробирного анализа золота из кварцевых жил на уч. Хуримт-Худук.

Все анализы выполнены в «ЦКП Многоэлементных и изотопных исследований СО РАН».

Вся эта информация была с помощью CarryMap Builder конвертирована в мобильную карту формата SMF2 для переноса на мобильное устройство в качестве справочного сопровождения предстоящих полевых работ. Размер конечного файла SMF2 составляет 36 Mb.

МОБИЛЬНАЯ ВЕРСИЯ

При работе с мобильным приложением CarryMap на мобильном устройстве в полевых условиях возможно:

- пользоваться интерактивной геологической картой (рис. 3);
- производить измерение расстояний и площадей для определения длины пути или оценки площади территорий;

- записывать GPS-треки по пути следования и отображать их на карте, создавать и редактировать атрибуты;
- создавать пространственные объекты – точки, линии и полигоны, редактировать их геометрию, символику и атрибуты.

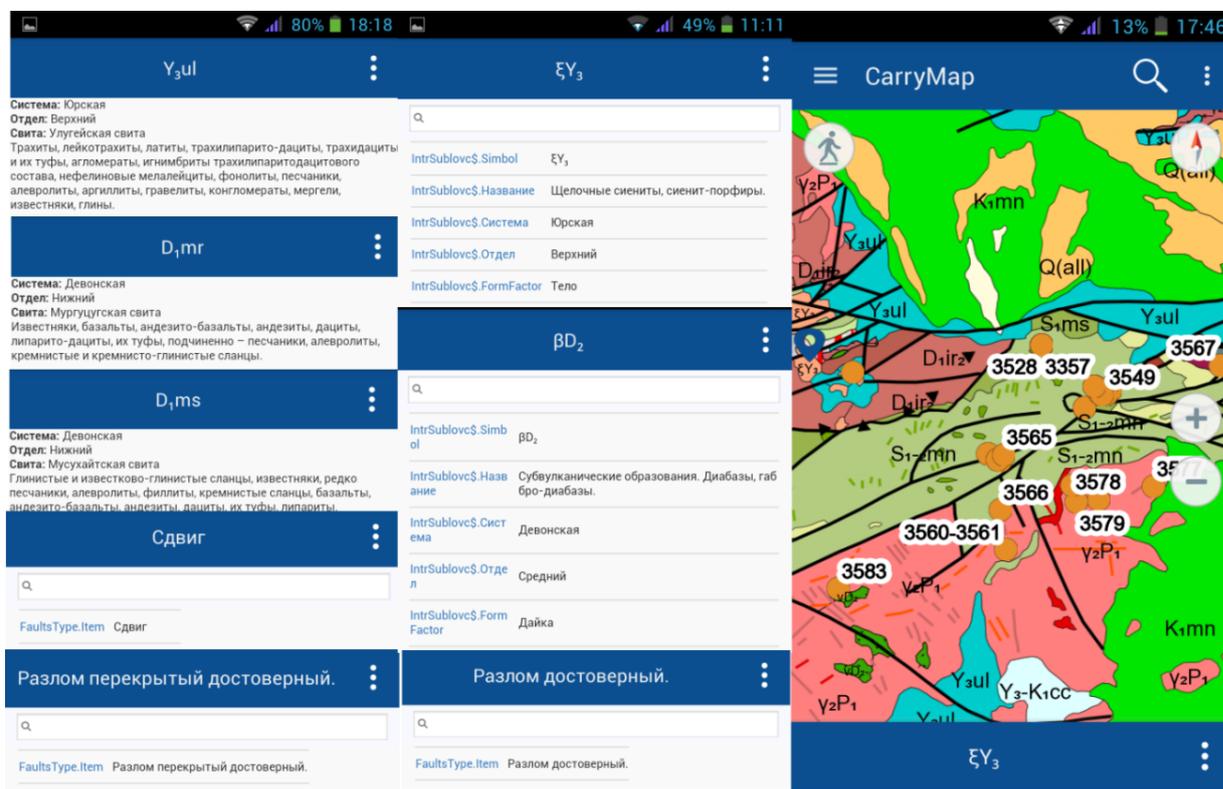


Рис. 3. Вид интерактивной геологической карты на мобильном устройстве под управлением Android 4.2

СБОР ДАННЫХ

Для сбора данных предусмотрено создание шаблонов для полевых сотрудников с учетом стандартов, принятых в конкретной организации (рис. 4). К стандартным атрибутивным данным можно добавлять файлы мультимедиа. В нашем случае шаблоном для сбора информации являлась БД в среде MS Access, созданная при помощи АИС «ГЕОобраз».

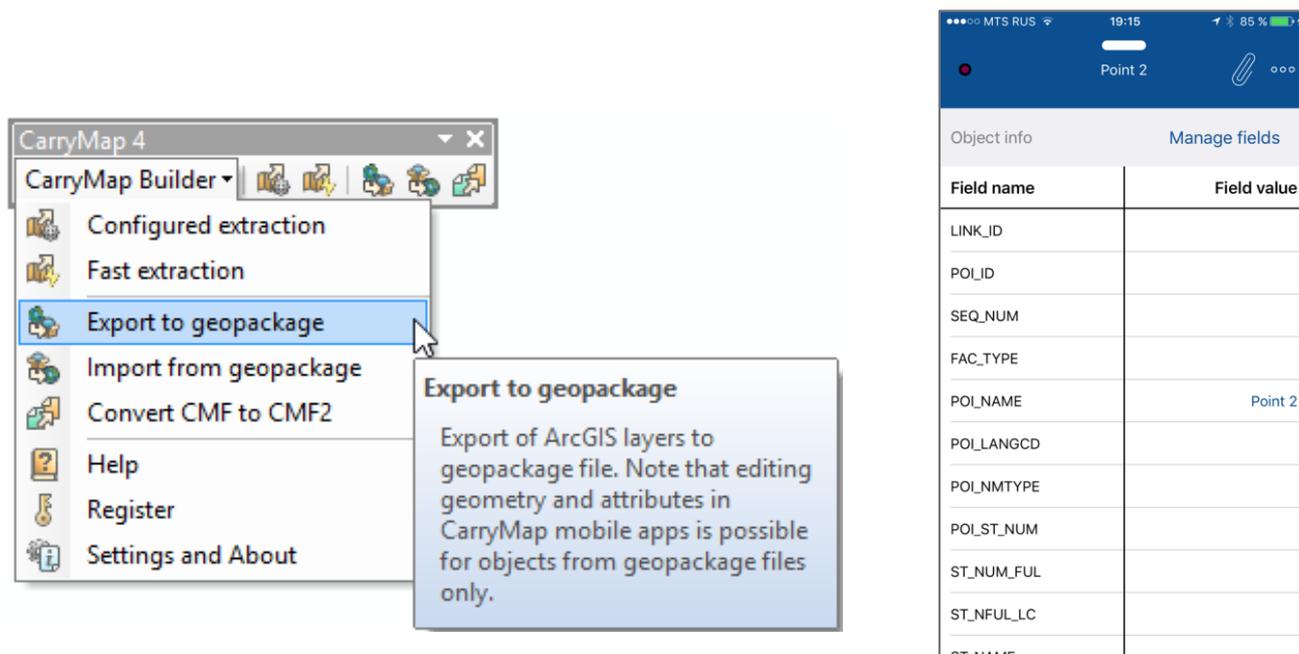


Рис. 4. Экспорт атрибутивной информации в виде GeoPackage

Данные, собранные во время полевых работ в виде GeoPackage, могут быть импортированы обратно в ArcGIS для продолжения работы с ними уже в камеральных условиях. Также предусмотрена выгрузка и загрузка карт и данных на популярные облачные хранилища из приложения в форматах GPKG либо KML для постоянного доступа к необходимой информации или коллективной работы.

Авторы ведут подготовку к очередному сезону полевых работ, посвященных изучению Олон-Ободского рудного узла, входящего в Южно-Гобийский золоторудный пояс (Монголия). Минерало-геохимическими исследованиями установлено, что рудный узел представлен рядом золоторудных месторождений Cu-Pb-Te-Au-Sb-Hg геохимического профиля. Возраст оруденения по результатам Ar-Ar датирования серицита из золотоносных кварцевых жил определен как карбон-пермский (270–300 млн. лет).

По результатам полевых работ 2017-го года авторы планируют уточнить геолого-структурные особенности строения рудного узла, что поможет лучше сформулировать поисковые критерии для данного объекта и выявить новые перспективные площади.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Возможность создавать пространственные объекты, находясь в поле, редактировать их, насыщать атрибутивной информацией, возможность пользоваться справочной геологической информацией, независимость от наличия интернета – всё это делает приложение CarryMap удобным инструментом для геологического картирования и геолого-геохимических исследований.

Благодарности

Работа выполнена в рамках государственного задания, проект VII.72.2.1. Авторы выражают благодарность генеральному директору DataEast LLC В.А. Ананьеву, а также исполнительному директору фонда «Технопарк Академгородка» А.Л. Логвинскому.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Mauro De Donatis, Lorenzo Bruciatelli.* MAP IT: The GIS software for field mapping with tablet pc // Computers & Geosciences. 2006. No 32. P. 673–680.
 2. Collector for ArcGIS. http://esri-cis.ru/products/collector_for_arcgis/.
 3. GeobankMobile. <http://www.micromine.com/geobank-mining-software/about-geobank-mobile-field-logging-software/>.
 4. Мобильная картографическая платформа CarryMap. <https://carrymap.com>.
 5. *Задорожный М.В., Лысов А.И.* «АИС ГЕОбраз: электронный дневник геолога» // Информатизация и связь. 2013. № 5. С. 130–134.
-

USAGE OF THE «CARRYMAP» MAP MOBILE PLATFORM IN PREPARING FOR GEOLOGICAL MAPPING OF THE OLON-OBOD GOLD ORE CLUSTER (SOUTHERN MONGOLIA)

E.M. Vysotsky¹, N.K. Glaznev², M.V. Zadorozhnyy¹, V.P. Mokrushnikov¹

¹*The V.S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy of the Russian Academy of Sciences (IGM SB RAS);*

²*DataEast LLC*

vysotsky@igm.nsc.ru, nglaznev@dataeast.com, zador@igm.nsc.ru, viktorm@igm.nsc.ru

Abstract

The article describes the experience of usage of new mobile map platform «CarryMap» in preparation for the detailed geostructural mapping and geochemical study of the Olon-Obod gold ore cluster (Southern Mongolia). The authors accumulated all types of geological information into a single ArcGIS project. The project contains raster maps, vector maps, and digital geological information. We converted this project in CMF2 and placed on mobile iOS & Android devices.

Keywords: *DataBase, GIS, geological mapping, mineral deposits, DataMining*

REFERENCES

1. Mauro De Donatis, Lorenzo Bruciatelli. MAP IT: The GIS software for field mapping with tablet pc // Computers & Geosciences, 2006, No 32. P. 673–680.
2. Collector for ArcGIS. http://esri-cis.ru/products/collector_for_arcgis/.
3. GeobankMobile. <http://www.micromine.com/geobank-mining-software/about-geobank-mobile-field-logging-software/>.
4. CarryMap. <https://carrymap.com>.
5. Zadorozhnyy M.V., Lysov A.I. «AIS «GEOбраз»: digital notebook for geologist» // Informatization and communication. 2013. № 5. С. 130–134.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ



ВЫСОЦКИЙ Евгений Михайлович – научный сотрудник лаборатории литогеодинамики осадочных бассейнов. ГИС в науках о Земле, геоморфология, цифровая картография.

VISOTSKY Evgeniy Mikhailovich – researcher of the laboratory of litogeodynamic of sedimentary basins. GIS in geosciences, geomorphology, digital cartography.

email: vysotsky@igm.nsc.ru



ГЛАЗНЕВ Никита Кириллович – сотрудник компании DataEast, менеджер продукта CarryMap.

GLAZNEV Nikita Kirillovich – DataEast staff member, CarryMap product manager.

email: nglaznev@dataeast.com



ЗАДОРЖНЫЙ Михаил Васильевич – младший научный сотрудник лаборатории рудообразующих систем и металлогении. Специалист по разработке геологических баз данных, формализации первичных описаний геологических объектов.

ZADOROZHNYI Mikhail Vasilevich – junior researcher of the laboratory of ore-forming systems and metallogeny. Developer of geological databases, specialist of formalization a primary geological information.

email: zador@igm.nsc.ru



МОКРУШНИКОВ Виктор Павлович – аспирант лаборатории геодинамики и магматизма. Геолого-структурное картирование, ГИС.

MOKRUSHNIKOV Viktor Pavlovich – graduate student of the laboratory of geodynamics and magmatism. Geological and structural mapping, GIS.

email: viktorm@igm.nsc.ru

Материал поступил в редакцию 14 декабря 2016 года

УДК 528.8 (15)

СОВРЕМЕННЫЕ КОСМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ ИЗУЧЕНИЯ ЗЕМЛИ КАК СИСТЕМЫ

И.Н. Гансвинд

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Научный геоинформационный центр Российской академии наук»

ignik-1g@yandex.ru

Аннотация

Систематические спутниковые наблюдения позволили проследить изменения на Земле на протяжении десятилетий. Низкие околополярные орбиты служат идеальной платформой для измерений параметров гравитационного и магнитного полей. Переход к определению параметров движения путем непрерывного GPS-слежения, межспутниковые измерения и градиентометрия обеспечили получение данных для анализа гравитационного поля с привлечением океанской топографии. Группировка спутников позволяет проводить измерения магнитного поля одновременно в разных точках пространства. Накопленный объем спутниковых данных нуждается в междисциплинарном структурировании и усвоении в моделях.

Ключевые слова: *GPS-слежение за низкоорбитальными спутниками, межспутниковые измерения, спутниковая гравитационная градиометрия, океанская топография геопотенциальные модели, спутниковая «магнитная градиометрия», мониторинг солнечно-земных связей.*

ВВЕДЕНИЕ

На протяжении последних десятилетий в рамках многих международных программ (GEOSS, ESM, ESSP и др.) проводится систематически глобальный космический мониторинг Земли, направленный как на получение оперативных данных для решения прикладных задач (состояние растительности, прогноз урожайности, координация спасательных работ в зонах стихийных бедствий и т. п.), так и в интересах наук о Земле: измерения климатообразующих параметров состояния

атмосферы, земного покрова, океана, криосферы и характера процессов в этих средах [1].

Исследования Земли как системы были бы далеко не полными без получения данных о фигуре Земли, поля силы тяжести и магнитном поле. Спутники на низких околополярных орбитах служат идеальной платформой для высокоточных измерений параметров гравитационного и магнитного полей Земли. Получение данных на достаточно протяженной пространственно-временной шкале обеспечивается при выполнении ряда условий. Длительное существование на низкой орбите достигается выбором формы и массово-геометрических характеристик спутника с малым аэродинамическим сопротивлением. Межспутниковые измерения координат и скоростей при непрерывном GPS-слежении реализуют технологию высокой-низкой. Прецизионные измерения вариаций взаимного расстояния в группе из пары идентичных спутников GRACE (низкий-низкий) служат для получения данных об усредненной и переменной составляющих гравитационного поля Земли (ГПЗ). Поддержание ионными двигателями орбиты спутника GOCE позволило проводить градиентометрические наблюдения на высотах до 229 км и получить надежные и точные данные для определения геоида и картирования аномалий гравитационного поля. Регулярная спутниковая альтиметрия при использовании измерений температуры и солености морской воды на разных горизонтах позволяет восстанавливать океанскую топографию [2].

Как показал опыт, измерение параметров магнитного поля Земли (МПЗ) требуется проводить одновременно в разных точках пространства. Группировка из трех спутников SWARM позволила улучшить определение как статического поля, так и его вариаций при помощи «магнитной градиентометрии».

Низкоорбитальные спутниковые измерения не позволяют создавать глобальные гравитационные модели высокого разрешения, если не использовать наземные гравиметрические данные, альтиметрию и анализ возмущений спутниковых орбит.

НИЗКООРБИТАЛЬНЫЕ СПУТНИКИ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ГРАВИТАЦИОННОГО ПОЛЯ ЗЕМЛИ

Околополярные орбиты служат для непрерывного охвата планеты наблюдениями. Преимуществом низких орбит являются высокое разрешение и качество измерений, недостатком – растущее с уменьшением высоты аэродинамическое сопротивление. Продолжительность существования спутника на возможно более низких высотах (от 500 км и ниже) зависит от формы, массово-геометрических характеристик аппарата, возможности компенсации действующих на него негравитационных сил и характера изменений плотности атмосферы на высотах полета, подверженной вариациям, связанным с солнечной активностью. Чем выше солнечная активность, тем больше плотность – на высоте 400 км плотность может изменяться в несколько раз.

Измерения на орбите параметров гравитационного поля складываются из межспутниковых (высокий–низкий, низкий–низкий), спутниковой градиентометрии, измерений высоты водной поверхности Мирового океана, анализа возмущений орбит спутников.

Технология спутник–спутник состоит в измерении расстояний и скорости изменения расстояния между спутниками. Это могут быть два спутника, следующих один за другим по близким орбитам на расстоянии от 50 до 300 км. Другая возможность – спутники высокий и низкий, орбита которых отслеживается по навигационным измерениям GPS или других спутников глобальной навигационной системы.

Спутник, который можно точно и непрерывно наблюдать, является зондом в гравитационном поле Земли. Вызванные полем возмущения его орбиты проявляются как трёхмерные наблюдаемые ускорения спутника. В спутниковой градиентометрии измеряются разности ускорений силы тяжести, действующей на пробные массы внутри аппарата.

Цель анализа глобального гравитационного поля – построение модели потенциала, представленной коэффициентами разложения по гармоникам сферических функций и отнесённой к поверхности Земли, по измерениям вдоль орбиты спутника. Большая часть методов анализа гравитационного поля по спутниковым

измерениям была разработана около сорок лет назад, но их реализация стала возможной вместе с непрерывным GPS-слежением за низкоорбитальными спутниками CHAMP, GRACE, GOCE. [3]

Таблица 1. Низкоорбитальные спутники для измерений параметров ГПЗ

	CHAMP	GRACE	GOCE	GRACE-FO
Дата запуска	2000	2002	2009	≈2017
Количество спутников	1	2	1	2
Высота орбиты (км)	450-350	450-300	250	500
Масса (кг)	400	430	1100	600
Наклонение орбиты (град)	87,3	89,5	96,6	—
Точность акселерометра (м/с ²)	$3 \cdot 10^{-9}$	$1 \cdot 10^{-10}$	$1 \cdot 10^{-12}$	—
Точность измерения взаимного расстояния (μм)	—	10 (дальномер К-диапазона)	—	0,5 (лазерный дальномер)

Миссией CHAMP реализована технология высокий–низкий, выполнено первое исследование с GPS-приёмником в космосе (16 каналов и многоантенная система, 2 канала использовались для радиопросвечивания атмосферы и ионосферы путём затменных наблюдений спутников GPS). Точные измерения на протяжении десяти лет ГПЗ и МПЗ (5 лет измерений на высотах, больших 300 км, и несколько месяцев – на меньших 300 км к концу срока активного существования) позволили изучать их пространственные и временные вариации на длительном интервале.

Успех миссии CHAMP был развит в проекте GRACE, реализовавшем технологию низкий–низкий. Спутники-близнецы следуют друг за другом по компланарным орбитам на удалении около 200 км. Высокая точность измерения расстояния

между спутниками дальномерами К-диапазона с погрешностью, не превышающей 10 мкм, позволяет отслеживать вариации силы тяготения по изменениям их взаимного расстояния. Наряду с непрерывными GPS-измерениями, позволяющими получать значения потенциала по измерениям орбит (высокий–низкий), по разностям расстояний находятся производные потенциала. Форма спутника и значительная часть аппаратуры (акселерометр, астроблок, сборка лазерных отражателей) были унаследованы от CHAMP).

Обновление глобальной карты ГПЗ с периодом в 30 суток позволило количественно оценить распределение масс на поверхности Земли и в её недрах на пространственно-временной шкале. В результате торможения в атмосфере высота орбиты спутников понизилась с 500 км до 400 км и ниже. На смену готовится запуск спутников GRACE-FO с усовершенствованной аппаратурой при сохранении преимущественности наблюдений.

Спутник ESA GOCE, выведенный в марте 2009 года на ССО с высотой 280 км, проработал 4 года. От предшествующих CAMP и GRACE его отличают:

- низкая орбита (260–229 км), поддерживаемая ионными двигателями, компенсирующими негравитационные силы (воздействие атмосферы, солнечное давление);
- форма «аэродинамическая стрела» статически устойчивая в атмосфере;
- новый принцип измерений.

Система измерений состоит из трёхкомпонентного электростатического гравитационного градиометра и навигационной подсистемы с использованием GPS и лазерной локации. По данным измерений определяется тензор вторых производных гравитационного потенциала. Градиометр состоит из шести акселерометров, попарно установленных по трём взаимно ортогональным осям с началом в центре масс аппарата, связанным с корпусом КА.

Траекторные измерения по технологии спутник–спутник и средствами лазерной локации определяют отклонения спутника в координатно-временном поле от расчётного, таким образом, сам аппарат является элементом системы измерений вариаций гравитационного поля.

Принцип работы акселерометра основан на измерении электрического поля, необходимого для удержания пробной массы в неизменном положении.

Расстояние между эталонными массами в парах акселерометров составляет 0.5 м и сохраняется постоянным при отклонении не более чем на 0.01 ангстрема на временном интервале порядка 3 мин.

Ускорение, измеряемое отдельным акселерометром:

$$\bar{a} = -\nabla^2\bar{V} \cdot \bar{r} + \dot{\bar{\omega}} \times \bar{r} + \bar{\omega} \times (\bar{\omega} \times \bar{r}) + \bar{a}_n,$$

где \bar{V} – гравитационный потенциал; \bar{r} – положение акселерометра в связанных осях; $\dot{\bar{\omega}}$ – вектор углового ускорения аппарата; $\bar{\omega}$ – вектор угловой скорости; \bar{a}_n – ускорение аппарата, вызванное внешними неконсервативными силами.

Разности ускорений, измеренных каждым датчиком пары вдоль их осей, позволяют вычислить диагональные члены тензора градиента силы тяжести. Общая мода акселерометров используется для контроля приложенного к аппарату ускорения негравитационных сил. Ускорения общей моды вычисляются на борту в реальном времени и подаются на вход системы управления ориентацией и компенсацией. Если общая составляющая ускорения направлена по полёту, система отреагирует либо увеличением, либо уменьшением тяги непрерывно работающих ионных двигателей, которые для создания импульса используют ионизированные атомы ксенона, обеспечивая условия движения, близкие к свободному падению. После исчерпания запаса ксенона GOCE прекратил существование в ноябре 2013 года. Низкая орбита спутника и высокая точность акселерометров позволили к окончанию срока активного существования улучшить точность определения геоида до 1–2 см при пространственном разрешении порядка 100 км. Метод высокий–низкий, GPS-анализ орбиты даёт информацию о длинноволновой части поля силы тяжести, тогда как градиометрия позволяет определить коротковолновую часть. В то время, как GRACE показывает наивысшую точность для низких гармоник гравитационного потенциала до 70-го порядка и может выявлять изменения гравитационного поля на этом уровне, GOCE достигает наилучших результатов между степенями 70 и 350 и может обеспечить геоид с точностью 1–2 см для коротких полуволн с длиной около 80 км. Использование данных GRACE приводит к одноосному градиометру в космосе.

Высокоточные градиентометрические наблюдения используются для решения широкого круга задач в физике Земли, геодезии, геологии, геодинамике, океанологии наряду с прикладными задачами построения моделей квазигеоидов

для региональных территорий и геологических моделей, оценки минеральных ресурсов, поиска областей с высоким геотермальным потенциалом, служат для повышения точности спутниковых навигационных измерений, использующих системы взаимосогласованных геодезических параметров, включая параметры гравитационного поля Земли.

СПУТНИКОВЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ ВЫСОТЫ ВОДНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Спутниковые измерения высоты водной поверхности позволяют восстанавливать океанскую топографию. Альтиметрические измерения соответствуют высоте водной поверхности по отношению к поверхности относимости (эллипсоида, принятого в системе навигации спутника) и дают отклонение свободной поверхности моря от средних её значений по трассе спутника. Однако с использованием многолетних наблюдений распределения температуры и солёности морской воды по глубине удаётся восстанавливать топографию морской поверхности, характеризующую отклонений высоты поверхности моря от геоида [2].

Метод спутниковой альтиметрии требует точного знания относительного положения спутника, в первую очередь его радиальной составляющей, для чего нужны точные траекторные определения. Система траекторных измерений использует около пятидесяти наземных радиомаяков, GPS-измерения и лазерную локацию.

Регулярные наблюдения уровня океана проводятся с 1992 г. сначала американо-французским спутником TOPEX/Poseidon, затем сменившим его Jason, в 2008 г. выведен на подобную низкую околоземную орбиту (наклонение 66° , высота 1336 км, период повторного прохождения 9.9 сут), спутник Jason-2 с полезной нагрузкой, как у предшественника: импульсный высотомер Poseidon-3, трёхканальный СВЧ-радиометр AMR-2, измеряющий количество пара над океаном. В январе 2016 г. запущен КА Jason-3 с набором инструментов, аналогичным Jason-2. Индийско-французский океанографический спутник SARAL с 2013 г. измеряет расстояние до поверхности океана с погрешностью 8 мм.

Существенным дополнением к дистанционным спутниковым наблюдениям служат измерения температуры и солёности морской воды на разных горизонтах с помощью дрейфующих-ныряющих буёв глобальной сети Арго. Масштабная

наблюдательная система спутниковой альтиметрии и зондирующих буёв Арго – основа постоянного мониторинга поверхности океанов и морей, исследований пространственно-временной изменчивости уровня моря, циркуляции вод в Мировом Океане, переноса тепла, накопленного водой.

Данные спутниковой альтиметрии используются при разработке глобальных геопотенциальных моделей. Для моделей только по данным GOCE и GRACE разрешение ограничено до степени и гармоник не выше 260. Наиболее высокое разрешение достигнуто в комбинированных моделях с использованием наземной гравиметрии, океанской топографии, лазерной локации спутника: в модели EGM 2008 до степени гармоник 2190, в моделях EIGEN-6C и EIGEN-6C2 до 1420 и 1949 соответственно.

Геодезические приложения на основе высокочастотной области ГПЗ позволяют создавать модели квазигеоида для региональных территорий.

СПУТНИКОВЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ЗЕМЛИ

Создание глобальной модели магнитного поля Земли требует плотного охвата однородными наблюдениями всей планеты. Изучение параметров МПЗ проводится с 1979 г. спутниками MagSat, «Эрстед», CHAMP, SAC-C. Как показал приобретённый опыт, во избежание пространственно-временных неопределённостей необходимы одновременные измерения в разных точках пространства. Для этого требуется группировка спутников. Три одинаковых спутника Swarm («рой»), форма которых такая же, как у CHAMP, выведены на полярную орбиту в ноябре 2013 г. и проводят измерения в соответствии со структурой группировки. По данным двух из них, следующих на небольшом удалении друг от друга на орбите высотой 450 км и наклоном 87.4° , можно найти градиент поля в направлении восток–запад. Третий спутник группировки обращается на высоте 530 км по орбите с наклоном 87.75° и другим временем прохождения восходящего узла орбиты. Вследствие разной скорости прецессии плоскостей орбит верхнего спутника и нижних со временем станут взаимно перпендикулярными.

Магнитометры, скалярный на метастабильном гелии-4 с оптической накачкой и векторный, установлены на выносной девятиметровой штанге: скалярный – на её конце, на максимальном удалении от корпуса, векторный – в средней части на оптической скамье со звёздными датчиками. «Магнитная градиентометрия»

по измерениям двух нижних датчиков позволила улучшить определения как статического поля, так и его вариаций. Магнитные измерения вместе с сейсмической томографией и измерениями параметров ГПЗ на длительном временном интервале позволяют судить о движении потоков в жидком ядре Земли, с которыми связаны вариации МПЗ. Основная задача анализа измерений – разделить вклады в МПЗ от ядра Земли, мантии, коры, океана, ионосферы, магнитосферы.

На передней стороне трапециевидного корпуса спутников Swarm установлен прибор, измеряющий компоненты электрического поля, плотность, дрейф, ускорение электронов плазмы. На точность оценивания главного и литосферного полей влияют погрешности измерения внешнего поля, которое в отличие от поля внутренних источников, изменяется на короткой временной шкале. Многие явления в ионосфере и магнитосфере вызываются их взаимодействием с солнечным ветром.

В окрестностях точки Лагранжа L1 работает климатическая обсерватория DSCOVR, приборы которой на линии Солнце–Земля позволяют наряду с исследованиями глобального энергетического баланса Земли наблюдать события на Солнце и оперативно, в пределах часа, предупреждать о корональных выбросах, опасных для объектов на Земле и в околоземном пространстве, зависящих от космической погоды. Комплексное использование данных Swarm и DSCOVR открывает перспективы мониторинга солнечно-земных связей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изучение Земли как системы спутниковыми методами в рамках ряда международных программ (GEOSS, ESM, ESSP и др.) направлено на получение климатоформирующих параметров состояния океана, атмосферы, криосферы, земного покрова и процессов в этих средах. Структурирование наблюдательных данных от постоянно поддерживаемых и совершенствуемых спутниковых платформ и выявление связей между ними требует широких междисциплинарных исследований. Так, сопоставление данных о ГПЗ и МПЗ показало, что процессы во внешнем ядре находят отражение в гравитационном поле.

Эффективное усвоение спутниковых данных на моделях обеспечивается привлечением прямых наблюдений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лебедев В. В., Гансвинд И.Н. Проектирование систем космического мониторинга. М.: Наука, 2010. 388 с.
 2. Современные проблемы динамики океана и атмосферы// Сб. статей под ред. Фролова А.В. и Реснянского Ю.Д. М.: Триада, 2010. 400 с.
 3. *Wermuth M.K.* Gravity field analysis from the satellite missions CHAMP and GOCE. Dissertation, fakultat fur Bauingenieur – und Vermessungswesen, TU Munchen, 2009, 100 p. <http://nbn-resolving.de/urn/resolver.pl?urn:nbn:de:bvb:91-diss-20080228-646546-1-7>.
 4. Swarm – eoPortal Directory – Sattelite missions. <http://directory.eoportal.org/web/eoportal/sattelite-missions/s/swarm>.
-

CURRENTLY AVAILABLE SPACE TECHNOLOGIES FOR EARTH SYSTEM STUDY

I.N. Gansvind

*Scientific Geoinformation Center of the Russian Academy of Sciences (NGIC RAS,
Russia)*

ignik-1g@yandex.ru

Abstract

Satellites in a low-Earth (under 450 km) near-polar orbits provide the required high resolution gravity and magnetic-field measurements. The application of Satellite-to-Satellite Tracking aboard CHAMP and GRACE missions, satellite gradientometry (GOCE mission) makes possible the reliable highly accurate assessments Earth's gravitational potential. Combining GOCE-TIM4 model with EIGEN-6C and EGM 2008 for degree expansion from 251 to $n=1420$ and $n=2190$ form the basis of elaboration new local and regional gravity models. Swarm satellite early magnetic field measurements explicit advantage is taken by including magnetic intensity gradient from the lower satellite pair. Progressively increasing data of global observations opens the way for Earth System Study by bringing disparate sources together.

GPS-tracking on the low orbiting satellites, satellite-to-satellite tracking, satellite gravity gradiometry, sea surface topography, gravity field models, magnetic field gradient satellite data, monitoring solar-terrestrial relations.

Keywords: GPS- tracking on the low orbiting satellites, satellite-to-satellite tracking, satellite gravity gradiometry, sea surface topography, gravity field models, magnetic field gradient from the satellite pair, monitoring solar terrestrial relations

REFERENCES

1. *Lebedev V.V., Gansvind I.N.* Proektirovanie system kosmicheskogo monitoringa. M.: Nauka, 2010. 388 s.
2. *Sovremennye problem dinamiki okeana I atmosfery*// Sb. Statey pod red. Frolova A.V. i Resnyanskogo Yu.D. M.: Triada, 2010. 400 s.
3. *Wermuth M.K.* Gravity field analysis from the satellite missions CHAMP and GOCE. Dissertation, fakultat fur Bauingenieur – und Vermessungswesen, TU Munchen, 2009, 100 p. <http://nbn-resolving.de/urn/resolver.pl?urn:nbn:de:bvb:91-diss-20080228-646546-1-7>.
4. Swarm – eoPortal Directory – Sattelite missions. <http://directory.eoportal.org/web/eoportal/sattelite-missions/s/swarm>.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ



ГАНСВИНД Игорь Николаевич – старший научный сотрудник Лаборатории систем космического мониторинга Научного геоинформационного центра Российской академии наук.

Igor Nikolaevich GANSVIND – senior research fellow of remote sensing system design laboratory.

e-mail ignik-1g@yandex.ru

Материал поступил в редакцию 28 декабря 2016 года

УДК 004.67:[528.88+910.27]

РАЗВИТИЕ СЕТЕВЫХ СЕРВИСОВ ГЕОПОРТАЛА СПУТНИКОВОГО РАДИОТЕПЛОВИДЕНИЯ: ПРОЕКТ ИКАР

Д.М. Ермаков^{1,2}, А.П. Чернушич¹

¹Фрязинский филиал Института радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова Российской академии наук (РАН);

²Институт космических исследований РАН

dima@ire.rssi.ru, andrey@fireras.su

Аннотация

Обсужден прогресс в развитии сетевых сервисов и технологий ранее созданного авторами геопортала спутникового радиотепловидения. Исходной задачей геопортала было обеспечить потенциальных пользователей доступом к результатам пространственно-временной интерполяции геофизических атмосферных полей. Практическая реализация потребовала внедрения технологии динамической генерации продуктов обработки. Использование этой технологии расширило круг решаемых задач и привело к созданию специализированного сервиса виртуальной интеграции пространственных геоданных ИКАР (Интерактивного Калькулятора для Атмосферных Расчетов). В работе описаны интерфейсные и технологические принципы, заложенные в основу проекта ИКАР, рассмотрены некоторые детали программно-алгоритмической реализации, приведены примеры практического применения.

Ключевые слова: геопортал, сетевые сервисы, спутниковое радиотепловидение, интерфейсы, программно-алгоритмическая реализация

ВВЕДЕНИЕ

Развитие подхода спутникового радиотепловидения [1, 2] сделало возможным массовую обработку открытой информации спутникового радиотеплового мониторинга для получения глобальных анимированных полей геофизических параметров системы океан–атмосфера на многолетних интервалах наблюдений.

Результаты такой обработки представляют существенный интерес как с точки зрения визуализации и анализа динамики атмосферных процессов, включая экстремальные погодные явления и атмосферные катастрофы [3–5], так и для повышения эффективности дальнейшего совместного анализа с данными других наблюдений за счет более точного взаимного пространственно-временного совмещения.

В 2015 году авторами подхода был запущен геопортал спутникового радиотепловидения [6], одной из главных целей которого является обеспечение свободного доступа потенциальных пользователей к результатам интерполяционной обработки спутниковых данных. В настоящий момент основные продукты обработки включают поля интегрального влагосодержания атмосферы (TPW), полного водозапаса облаков (CLW) и приводного ветра (WND), генерируемые на глобальной сетке с шагом 0,25°. Опорная коллекция охватывает интервал наблюдений с 2004 по 2015 гг. и будет расширяться по мере накопления спутниковой информации. Пользователь имеет возможность просмотра всех данных в режиме анимации, а также заказа полей, интерполированных к любому заданному моменту времени в интервале наблюдений (<http://fire.fryazino.net/tpw/Fields.aspx>).

Принципиальной особенностью современной архитектуры геопортала является динамическая генерация продуктов по запросу пользователя [6–8]. Для геопортала спутникового радиотепловидения эта особенность исходно обусловлена физическими ограничениями на объем хранимой информации при одновременной необходимости обслуживания пользовательских заказов с произвольно задаваемыми параметрами привязки по времени. Дальнейший анализ реализованной схемы работы показал возможность ее эффективного обобщения, при котором заказ данных можно рассматривать как частный случай операции над ними. Выработанное в результате интерфейсное и программно-алгоритмическое решение привело к созданию и развитию проекта ИКАР, предлагающему новые подходы к организации распределенной обработки виртуально интегрированных геоданных из различных открытых источников (специализированных сетевых архивов и баз спутниковых данных, геопорталов и т. д.).

Настоящая работа описывает интерфейсные и технологические принципы, заложенные в основу проекта ИКАР, с углубленным рассмотрением отдельных

деталей программно-алгоритмической реализации, а также примерами практического использования. Существенной проблемой традиционных интерфейсных и программных решений, применяемых при организации геопорталов, является обеспечение функциональной масштабируемости [9, 10]. Наибольшее распространение получил подход, ограничивающий возможности обработки данных некоторым фиксированным набором инструментов. Благодаря этому ограничению удается, с одной стороны, гарантировать корректную работу с исходным и расширяемым в процессе конвейерной обработки множеством данных, а с другой – обеспечить каждый из инструментов удобным графическим пользовательским интерфейсом. Однако такое ограничение представляется излишне жестким. Оно препятствует не только введению в анализ собственных процедур обработки, но и, в ряде случаев, адекватной настройке имеющихся.

Особенно остро эта проблема проявляется при наличии сложных узкоспециализированных процедур, представляющих наибольший интерес при глубоком тематическом анализе данных. Как правило, декомпозиция таких процедур сложна и/или неэффективна, так как результаты промежуточной обработки не имеют смысла вне контекста конкретной задачи. С другой стороны, по мере усложнения алгоритма обработки число его потенциально востребованных модификаций возрастает почти неограниченно, что резко снижает эффективность применения стандартных интерфейсов. Возможный подход к преодолению очерченной проблемы предложен в проекте ИКАР, ориентированном на комплексную тематическую обработку распределенных геоданных.

ИНТЕРФЕЙСНОЕ РЕШЕНИЕ

Проект ИКАР нацелен на организацию распределенных вычислений виртуально интегрированных данных дистанционных наблюдений Земли в интересах решения задач тематической обработки. С этой точки зрения одним из приоритетов проекта была разработка достаточно гибкого интерфейса, позволяющего описывать и модифицировать не только стандартные инструменты анализа больших массивов данных (срезы, подмножества, гистограммы распределений, статистики и т. п.), но и сложные связи между различными типами данных, представляемые в аналитическом виде.

Распространенные графические пользовательские интерфейсы, как указано

выше, не обеспечивают необходимой степени гибкости. Универсальным представлением алгоритма из аналитически описанных шагов расчета является программный код на некотором языке программирования. Класс решений, рассматривающий в качестве объекта сетевого обмена не только данные, но и процедуры их разработки, соответствует наиболее современным тенденциям развития технологий распределенной обработки информации, см., например, [8, 11] и цитируемую в них литературу. Однако при разработке проекта ИКАР авторы стремились к максимально простому в применении решению, не требующему от пользователя навыков программирования. В итоге была предложена и реализована идея калькулятора над таблично описанными данными. В основу было положено предположение о том, что все пространственные данные, потенциально используемые в проекте ИКАР, имеют привязку по времени и могут быть без существенной потери точности и информативности интерполированы на общую расчетную сетку. Сетка имеет 1440 узлов по горизонтали и 720 узлов по вертикали и дает полное покрытие Земли с постоянным шагом между узлами $0,25^\circ$. Вычисления, задаваемые вводимой в текстовом виде формулой, производятся независимо в каждом узле сетки. В результате формируется массив значений, определенный на той же расчетной сетке. Для удобства визуализации итоговые значения с помощью линейного преобразования приводятся к диапазону от 0 до 250 и округляются до целых, после чего отображаются на экране в виде растрового изображения с заданной цветовой палитрой и могут быть сохранены на компьютере пользователя в файл bmp стандартного формата. Коэффициенты калибровки сохраняются в том же файле, как подробно описано в документации на странице проекта ИКАР [12], для возможности обратного пересчета к калиброванным значениям.

Таким образом, как и в стандартном калькуляторе, реализована возможность организации вычислений путем их аналитического описания в виде текстовой строки (набора строк). Первым принципиальным расширением базового функционала является возможность введения в выражение наряду с константами переменных двух типов – простых скалярных переменных (например, содержащих номера строк, метки времени и т. п.) и трехмерных массивов (например, по-

лей геофизических параметров на заданный момент времени). Проиллюстрируем эту возможность на двух элементарных примерах.

В качестве первого примера рассмотрим формулу с простой скалярной переменной. Ее запись в ИКАР выглядит следующим образом:

$$R[x, y, t] = x, \quad (1)$$

где R – имя результата (некоторая разрешенная комбинация букв и цифр); квадратные скобки означают, что предшествующая переменная описывает массив (результат определен во всех узлах сетки для расчетного момента времени); x – номер столбца (горизонтальная координата узлов сетки), y – номер строки (вертикальная координата узлов сетки), t – расчетный момент времени (задается пользователем с помощью интерфейсного элемента типа стандартного календаря и исчисляется в сутках и долях суток от полуночи 1.01.1990). Формула (1) приравнивает результат в каждом узле сетки горизонтальной координате соответствующего узла. После перенормировки значения R монотонно растут по горизонтали от 0 до 250, так что на экране фактически будет визуализирована используемая цветовая шкала (рис. 1а).

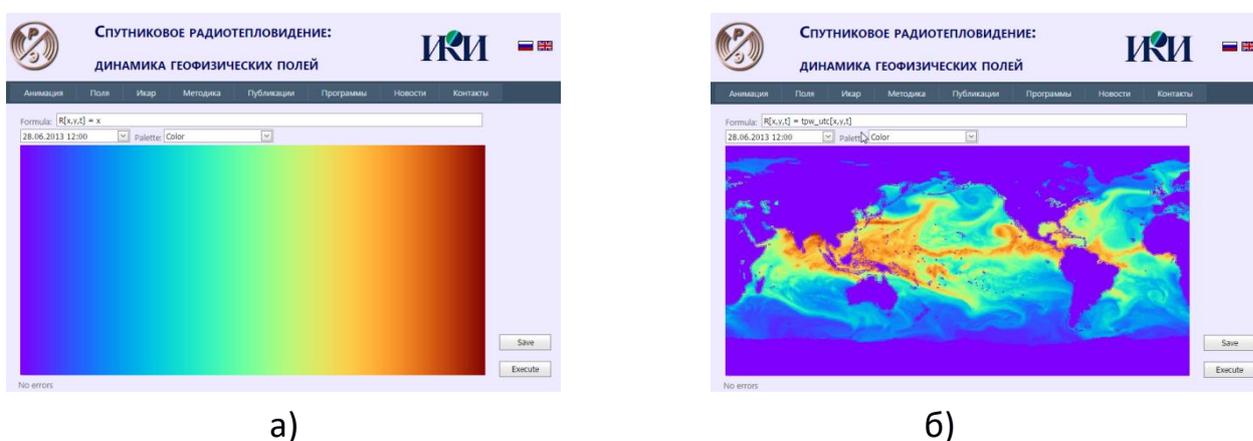


Рис. 1. Визуализация расчета а) по формуле (1); б) по формуле (2)

В качестве второго примера рассмотрим формулу с трехмерным массивом:

$$R[x, y, t] = tpw_UTC[x, y, t]. \quad (2)$$

В данном случае значение R в каждом узле совпадает со значением интегрального влагосодержания атмосферы, вычисленного в том же узле и для заданного пользователем момента времени (рис. 1б). Имя массива (в данном случае `trw_utc`) уникально для каждого типа продукта, который, в свою очередь, определяется не только типом геофизического параметра, но и происхождением (источником данных), способом пространственно-временной привязки и т. д. Подробнее этот вопрос рассмотрен в разделе «Продукты и источники данных».

Другими важными расширениями синтаксиса выражений в ИКАР являются условный оператор (оператор ветвления) и возможность определения пользователем новых функций. Оператор ветвления соответствует широко применяемой записи с фигурной скобкой, при которой процесс вычисления конечного результата управляется одним или несколькими условиями. Так, например, приведенная ниже формула в синтаксисе ИКАР

$$R[x, y, t] = (x > y) ? x : y \quad (3)$$

означает

$$R[x, y, t] = \begin{cases} x, & x > y \\ y, & x \leq y \end{cases} \quad (4)$$

Возможность введения определяемых пользователем функций является стандартным способом расширения синтаксиса выражений, направленным на упрощение записи сложных выражений, в том числе, неоднократно использующих однотипную последовательность вычислений. В качестве примера рассмотрим следующую формулу:

$$R[x, y, t] = (d(x, y, t) > 0.2) ? d(x, y, t) : 0; \quad d(x, y, t) = \text{rss_sst}[x, y, t] - \text{rss_sst}[x, y, t - 100] \quad (5)$$

Результат вычислений равен разности между температурами поверхности океана (`rss_sst`) в заданную дату и за 100 суток до нее в той же точке, если эта разность превосходит $0,2^\circ\text{C}$, а в противном случае приравнивается 0. Для компактности введена функция разности температур $d(x, y, t)$, которая сначала используется в выражении и лишь затем определяется в явном виде (после точки с запятой). Рис. 2а иллюстрирует результат вычислений по формуле (5) при заданной

текущей дате 28.08.2013. Пользователь имеет возможность изменить дату с помощью стандартного интерфейсного элемента типа календаря, чем обеспечивается возможность применения одной и той же расчетной формулы для произвольного момента времени (при доступности соответствующей спутниковой или иной входной информации). Рис. 2б иллюстрирует новый результат вычислений по (5) при смене даты на 28.02.2013.

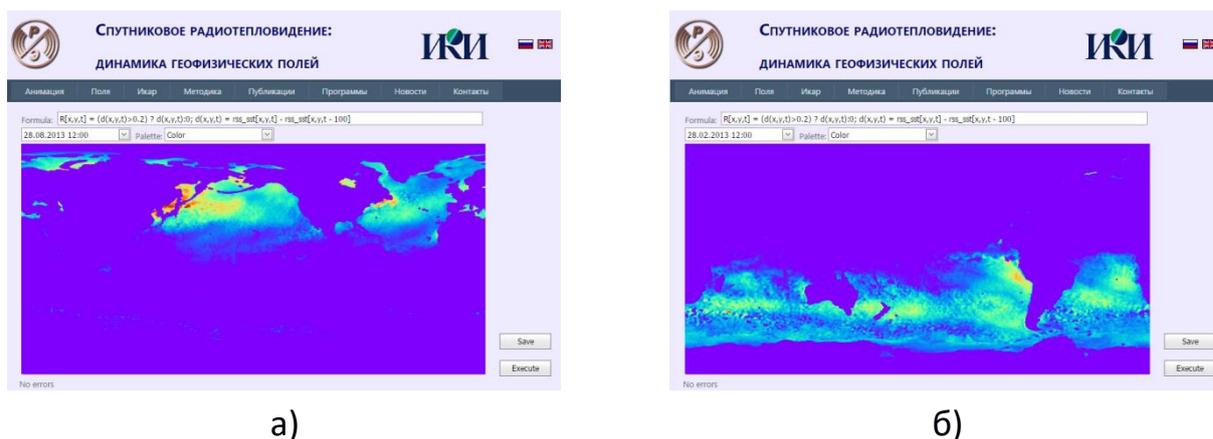


Рис. 2. Визуализация расчета (5) для дат: а) 28.08.2013; б) 28.02.2013

В следующем разделе приведено формальное описание класса текстовых строк, интерпретируемых ИКАР.

СИНТАКСИС И СЕМАНТИКА ИКАР

Синтаксис и семантику интерпретируемых в ИКАР текстовых строк удобно объединить на основе синтаксических графов (диаграмм Вирта) [13]. При этом для компактности изложения предварительно оговорим некоторые основные особенности.

Интерпретируемый ИКАР текст (последовательность символов) состоит из основной *формулы*, связывающей результат с *выражением* и, возможно, одним или несколькими определениями *функций*, каждое из которых аналогично основной формуле, но вместо символического обозначения результата начинается символическим обозначением ранее использованной в выражениях функции. Каждое новое определение функции отделено от предшествующего текста точкой с запятой. Таким образом, весь текст состоит из набора строк, отделенных друг от друга точкой с запятой, причем первая строка является *формулой*, а

остальные (при наличии) являются декларациями *функций*. Поэтому достаточно привести полные описания синтаксиса и семантики *формулы* и *функции* по отдельности.

Далее будем считать заранее определенными понятие *имени* как последовательности из латинских букв и цифр от 0 до 9, начинающейся с буквы, а также стандартного десятичного представления числовых констант с плавающей точкой. Будем также считать все пробельные символы необязательными разделителями лексем, допустимыми в тексте и игнорируемыми при синтаксическом разборе. Запрещен разрыв пробельными символами лексемы (имени, числа или операции, представленных несколькими символами), а также разрыв между именем функции (массива) и последующей открывающей круглой (квадратной) скобкой. Последнее требование связано с тем, что неразрывное сочетание имени и скобки принято в качестве синтаксического признака функции и массива в отсутствие механизма их предварительной декларации.

Диаграмма на рис. 3 дает полное описание строки, соответствующее понятию *формулы* в ИКАР. По способу, предложенному Виртом, уточнение идет в направлении от общего к частному, при этом элементарные термины (лексемы) представлены в овальных рамках, а составные – в прямоугольных.

Как показано на рис. 3, в формуле последовательно перечисляются: символическое имя результата, его *параметры* в квадратных скобках и собственно вычисляемое *выражение* после знака «равно». *Параметры* содержат имена скалярных переменных, соответствующих номеру столбца (номеру узла в строке), номеру строки и моменту времени. Для первых двух переменных допускается также задание диапазона изменений (минимального и максимального значений). По умолчанию диапазон изменений охватывает всю расчетную сетку. Имена переменных назначаются пользователем произвольно и могут быть в дальнейшем использованы в вычисляемых выражениях.

В свою очередь, *выражение* состоит из одной *части* либо из двух *частей*, объединенных логическим *условием*: «равно», «не равно», «меньше», «больше», «меньше или равно», «больше или равно». В последнем случае выражение считается равным единице, если записанное в нем условие выполняется, и нулем, если условие не выполняется.

ции («И», «&&») и/или дизъюнкции («ИЛИ», «| |»). Синтаксический разбор составных частей осуществляется до их полной декомпозиции на операнды, объединенные логическими операциями.

Операнд представляет собой *слагаемое* или несколько *слагаемых*, связанных операторами сложения и/или вычитания.

Слагаемое представляет собой *множитель* или несколько множителей, объединенных операторами умножения и/или деления, и может быть дополнительно завершено операцией ветвления, состоящей из символа «?», *множителя*, символа «:» и *множителя* альтернативы. Правило вычисления результата в операции ветвления таково: если значение множителя, предшествующего знаку «?», отлично от нуля, то результатом является значение *множителя*, непосредственно следующего за знаком «?»; в противном случае результатом является значение *множителя*, следующего за знаком «:» (альтернативы), см. также описание к формулам (3) и (5).

Множитель может представлять собой *переменную*, число или новое *выражение* в круглых скобках.

Переменная может быть представлена одним *именем* (соответствует простой скалярной величине), либо *именем с координатами* в квадратных скобках (соответствует трехмерному массиву), либо *именем с выражением* или несколькими перечисленными через запятую *выражениями* в круглых скобках (соответствует функции одной или нескольких переменных).

Координаты представляют собой последовательность из трех *выражений*, разделенных запятыми.

Таким образом, синтаксический разбор формулы по правилам, изображенным на схеме рис. 3, позволяет либо представить конечный результат в виде композиции логических и арифметических операций над значениями переменных, массивов и функций, либо выявить в формуле синтаксическую ошибку. Приоритет операций, в основном, также определен указанными синтаксическими правилами: наибольший – у операций деления и умножения, ниже – у операций сложения и вычитания, еще ниже – у логических операций конъюнкции и дизъюнкции (дополнительно принято, что приоритет первой из них выше), самый низкий

– у операций сравнения. Операции с равным приоритетом выполняются в порядке перечисления в выражении (слева направо).

Для замыкания вычислительной схемы необходимо дополнительно определить способ получения значений входных данных – простых переменных, массивов и функций.

Принято, что в *выражениях* ИКАР могут фигурировать только простые переменные, соответствующие параметрам результата (номеру узла, номеру строки и момента времени) или формальным параметрам функции (внутри ее определения). При этом в ходе вычислений значения номера узла и номера строки последовательно пробегают по диапазонам разрешенных значений, и для каждого сочетания номеров узла и строки производится расчет по формуле. Момент времени фиксируется до начала вычислений и может быть установлен пользователем с помощью графического интерфейса ИКАР, как описано выше. Инициализация параметров функции происходит перед ее вызовом из вычисляемого выражения. Таким образом, в любой момент вычислений значения всех простых переменных однозначно определены.

Массивы в ИКАР представляют собой семейства матриц, параметризованных моментом времени. Для установленного пользователем момента времени каждый массив является набором значений, определенных во всех узлах расчетной сетки 1440 (столбцов) x 720 (строк). При установке нового момента времени значения массива, вообще говоря, требуют обновления. Массив представляет собой удобный способ описания некоторого двумерного поля (поля геофизического параметра), меняющегося во времени. Для указания на конкретный геофизический параметр используется уникальное имя массива. Таким образом, в формулах ИКАР разрешено использование массивов с именами из ограниченного, заранее определенного набора, каждое из которых соответствует определенному продукту. Продукт может либо храниться на сервере геопортала спутникового радиотепловидения, либо быть результатом динамической генерации и/или виртуальной интеграции данных других архивов, баз спутниковых данных или геопорталов. Для обеспечения единообразного включения в формулы любых типов продуктов реализован унифицированный инструмент загрузки продуктов в процессе их использования в расчетах. Список продуктов на данный момент содержит 7

наименований (см. ниже) и будет расширяться по мере развития геопортала.

Проект ИКАР допускает использование двух типов функций: библиотечных и пользовательских. Библиотечные функции имеют заранее определенные имена и фиксированное (вообще говоря, различное для разных функций) число параметров. В настоящий момент определен набор из 17 функций, содержащий, в том числе, наиболее употребительные тригонометрические и показательные функции, а также ряд других. Полный набор описан на сайте проекта по адресу <http://fire.fryazino.net/tpw/AboutIcar.aspx>.

Пользовательские функции являются одним из традиционных способов расширения синтаксиса для более компактного и удобного описания процедуры расчета, а также для организации нетривиальных способов вычислений, например, рекурсии. Особенностью синтаксиса ИКАР является то, что допускается употребление функций в вычисляемых выражениях до ее формального определения. Безусловным требованием является строгое соответствие вызова функции ее определению (т. е. точное совпадение имени функции и числа параметров). В качестве примера см. описание формулы (5).

Синтаксис определения функции иллюстрирует рис. 4.

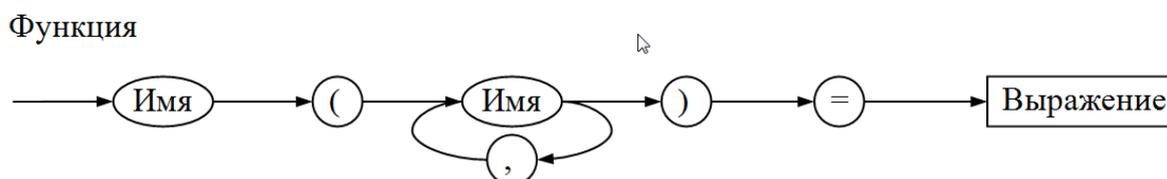


Рис. 4. Синтаксический граф определения функции в ИКАР

Согласно рис. 4 в описании *функции* последовательно перечисляются: (уникальное) *имя* функции, набор имен формальных параметров, разделенных запятыми, внутри круглых скобок и вычисляемое *выражение* после знака «равно». Определение *выражения* дано выше при описании синтаксиса *формулы* (рис. 3).

ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ

Программная реализация ИКАР построена на принципе частичной компиляции. После ввода пользователем текста основной формулы и определения

функций и запуска вычислений сначала производится однократный синтаксический разбор текста. Разбор включает проверку на формальное соответствие правилам синтаксиса ИКАР, построение таблиц имен с определением типа каждой новой переменной (имя результата, имя переменной столбца, строки и момента времени, имя массива, имя функции, имя формального параметра функции) и присвоением каждой из них уникального целочисленного идентификатора. Для всех обнаруженных массивов осуществляется проверка принадлежности их имен заранее определенному набору (каждому уникальному имени соответствует свой загрузчик данных). Для имени каждой обнаруженной функции осуществляется проверка наличия соответствующего пользовательского определения или принадлежности к набору библиотечных функций. Для пользовательских функций строятся *сигнатуры*, состоящие из уникального имени функции, знака «@» и числа, равного числу параметров функции. Кроме того, автоматически производится проверка непротиворечивости всех деклараций (отсутствие совпадений имен, относящихся к переменным разного типа, или к нескольким разным функциям). Далее для основной формулы и каждого определения функции формируется по паре стеков, состоящей из стека операций и стека данных.

Алгоритм формирования стеков вполне аналогичен алгоритму перевода обычного скобочного выражения (в инфиксной записи) в бесскобочную форму (префиксную или постфиксную) [14]. В данном случае операторы и операнды разносятся в разные стеки (стек операций и стек данных). Благодаря введению двух стеков можно считать все данные числами с плавающей запятой, представленными восьмью байтами, а все операции кодировать четырехбайтовыми целочисленными идентификаторами. При этом к списку операторов, определенных синтаксисом ИКАР, необходимо добавить снятие числа со стека данных («&») и обращение к таблице имен («\$»).

В качестве примера рассмотрим инфиксное, постфиксное и стековое представления простого арифметического выражения, рис. 5.

$(2+3) \cdot 5$	$2\ 3\ +\ 5\ *$	стек данных: 2 3 5;	стек операций:
			& & + & *
а)	б)	в)	

Рис. 5. Выражение в инфиксном (а), постфиксном (б) и стековом (в) представлениях; вершины стеков – справа

На этом примере разберем алгоритм вычисления выражений. Алгоритм устроен рекурсивно. На первом шаге снимается код операции с текущей вершины стека операций. В примере, приведенном на рис. 5, это умножение, «*». Операция умножения требует двух операндов (сомножителей), каждый из которых является результатом исполнения последующих операций. Поэтому процедура вычислений применяется рекурсивно к следующей операции на вершине стека операций, в данном случае, к операции снятия числа со стека данных, «&». Операция «&» снимает число 5 с вершины стека данных и возвращает его в качестве своего результата – первого множителя. Второй множитель является результатом выполнения операции сложения, «+». Эта операция также требует двух операндов – слагаемых. Каждое из слагаемых, по аналогии с вышеприведенным описанием, является результатом операции снятия данных со стека, которые последовательно возвращают числа 3 и 2 (при исполнении операций, в которых порядок операндов является существенным, следует учесть, что со стека данных они снимаются в порядке, противоположном их появлению в исходном выражении). После этого для операции «+» оказываются вычисленными оба слагаемых, и она возвращает результат (их сумму) в качестве второго множителя для операции «*». В свою очередь, операция «*» получает оба операнда и возвращает результат их перемножения. Поскольку рекурсивное вычисление окончено и стек операций исчерпан (необходимое условие синтаксической корректности), последний результат является значением всего выражения.

При наличии в выражении переменных в стеке операций используется также операция обращения к таблице имен, а в стеке данных – идентификаторы соответствующих переменных. Разберем это на примере приведенной выше формулы (2). Сформированная по ней таблица имен схематично представлена в Таблице 1.

Как указано выше, таблица имен формируется в процессе синтаксического разбора. По соглашению, имени результата присваивается идентификатор 0, именам параметров (моменту времени и номерам столбца и строки) – отрицательные

идентификаторы. Остальным именам присваиваются положительные идентификаторы, возрастающие в порядке появления имени в выражении. При повторном возникновении некоторого имени в выражении осуществляется проверка того, что синтаксически имя описывает тот же тип, что и раньше, а в случае функций – что функция имеет одну и ту же сигнатуру (то же число параметров).

Таблица 1. Схема таблицы имен для расчетной формулы (2)

Имя	Идентификатор	Тип
y	-3	Простая переменная (номер строки)
x	-2	Простая переменная (номер столбца)
t	-1	Простая переменная (момент времени)
R	0	Имя результата
tpw_utc	1	Трехмерный массив (поле геопараметра)

По выражению формулы (2) с учетом значений идентификаторов из Таблицы 1 будут сформированы стеки операций и данных, представленные в Таблице 2.

Таблица 2. Схема стеков для расчетной формулы (2)

Стек	Содержимое
данных:	$-2 -3 -1 1$
операций:	$\$ \$ \$ \$$

Как и в других случаях, исполнение начинается снятием идентификатора операции с вершины стека операций, в данном случае, операции обращения к таблице имен, «\$». Операция снимает число с вершины стека данных, 1, и интерпретирует его как идентификатор в таблице имен. Согласно Таблице 1 идентификатор 1 относится к массиву, поэтому для вычисления текущего значения необходимо получить три индекса (по числу измерений массива). Первый индекс равен результату следующей операции «\$», которая снимает число -1 со стека данных и интерпретирует его как идентификатор в таблице имен. Этот идентификатор относится к простой переменной (момент времени), и для получения ее значения операция конвертирует идентификатор в адрес в области временной памяти, где хранятся текущие значения всех простых переменных из таблицы имен. Процесс

повторяется со вторым и третьим индексом, после чего начальная операция получает значения всех трех индексов массива и вызывает загрузчик данных для получения значения элемента массива по вычисленным индексам. Работа загрузчика данных описана отдельно.

Вычисление значения функции осуществляется аналогично. Однако разные функции могут иметь разное число аргументов. Поэтому операция вычисления функции дополнительно получает по имени функции ее сигнатуру, определяет число аргументов, которые должны быть вычислены перед вызовом функции.

Итак, частичная компиляция состоит в переводе главной формулы и определений функций в стековое представление и формировании таблиц имен. Исполнение осуществляется с помощью программных интерпретаторов, работающих по принципу стековых машин. В начале исполнения организуются два вложенных цикла. Внешний цикл меняет текущее значение номера строки (второго аргумента результата) от минимального значения до максимального. Внутренний цикл меняет значения номера столбца. Для каждого сочетания номеров столбца и строки осуществляется вызов программного интерпретатора, относящегося к главной формуле. Во временную память интерпретатора, предназначенную для хранения параметров (номеров строки и столбца и момента времени), заносятся их текущие значения. Программный интерпретатор делает копии своих стеков операций и данных (т. к. они будут меняться в ходе исполнения и должны быть восстановлены при вызове со следующим набором параметров). Затем программный интерпретатор снимает первую операцию с вершины стека операций и начинает рекурсивное вычисление результата, как описано выше. Вычисленное значение заносится в элемент массива во временной памяти, отведенный для хранения результата. Индекс элемента определяется текущими номерами столбца и строки.

При достижении интерпретатором операции вызова пользовательской функции исполнение продолжается рекурсивно. Сначала определяется число аргументов и осуществляется вычисление их значений, как описано выше. Далее управление передается новому программному интерпретатору, работающему с копиями стеков операций и данных (и таблицей имен), построенных для соответ-

ствующей функции. При этом временная память интерпретатора инициализируется вычисленными значениями параметров функции. При получении окончательного результата управление возвращается программному интерпретатору, инициировавшему вызов функции. Программный интерпретатор библиотечной функции не работает со стеками. Процедура вычисления результата в этом случае жестко зафиксирована в программном коде, и интерпретатор вызывает ее с переданными ему значениями параметров.

При достижении интерпретатором операции получения значения массива происходит вызов соответствующего *загрузчика* данных. В начале работы загрузчик проверяет, не были ли запрашиваемые данные уже загружены ранее. При первом запросе загрузчик вызывает процедуру загрузки, специфическую для каждого типа данных. В общем случае, загрузка может состоять в установлении связи с удаленным сервером по одному из стандартных протоколов сетевого обмена (ftp, http), получении требуемых файлов данных, их распаковке, декодировании и пространственно-временной привязке с интерполяцией на общую расчетную сетку. Таким образом, процедура запроса данных может составлять существенную часть времени исполнения, при этом она выполняется многократно (как минимум, по одному разу для каждого возможного сочетания индексов узлов сетки). Поэтому все загружаемые в рамках одного сеанса работы данные временно сохраняются на сервере геопортала и сразу готовы к работе при повторном запросе. Проверка готовности запрашиваемых данных состоит в построении уникального идентификатора данных по имени массива (типу данных) и текущему моменту времени и в поиске адреса во временной памяти, ассоциированного с этим идентификатором. Если такой адрес обнаружен, загрузчик сразу обращается к данным по этому адресу. В противном случае загрузчик выполняет полную процедуру загрузки, строит новый идентификатор данных и связывает его с областью памяти, отведенной под вновь загруженные данные.

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДАННЫМИ И ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ НАПОЛНЕНИЕ

Как указано выше, в настоящее время в выражениях ИКАР могут быть использованы массивы данных семи различных типов. Они представлены в Таблице 3.

Таблица 3. Типы и источники используемых данных

Имя	Описание	Источник
tpw_ltw	Интегральное влагосодержание атмосферы при заданном местном времени	ГСР ¹
tpw_utc	Интегральное влагосодержание атмосферы при заданном всемирном времени	ГСР
clw_ltw	Полный водозапас облаков при заданном местном времени	ГСР
clw_utc	Полный водозапас облаков при заданном всемирном времени	ГСР
wnd_ltw	Скорость приводного ветра при заданном местном времени	ГСР
wnd_utc	Скорость приводного ветра при заданном всемирном времени	ГСР
rss_sst	Температура поверхности океана в местный полдень	RSS ²

¹ Геопортал спутникового радиотепловидения (<http://fire.fryazino.net/tpw/>)

² Архив Remote Sensing Systems (<http://www.remss.com/>)

Основным источников данных для расчетов в ИКАР в настоящее время является геопортал спутникового радиотепловидения. Однако, благодаря унифицированной архитектуре загрузчиков, обеспечена возможность использования данных из других архивов, баз данных и геопорталов по принципу виртуальной интеграции. Эта возможность проиллюстрирована на примере полей температуры поверхности океана, получаемых непосредственно из архива компании Remote Sensing Systems (США). Авторы рассматривают различные варианты расширения номенклатуры виртуально интегрируемых продуктов, производимых отечественными и зарубежными специалистами.

Безусловно, важным аспектом проекта является обеспечение широкого набора библиотечных аналитических функций. В настоящее время, как указано выше, реализовано 17 библиотечных функций. Они перечислены в Таблице 4.

Таблица 4. Библиотечные функции ИКАР

Функция	Аргументы	Значение
$\sin(a)$	Угол в радианах	Синус аргумента
$\cos(a)$	Угол в радианах	Косинус аргумента
$\tan(a)$	Угол в радианах	Тангенс аргумента
$\text{asin}(a)$	Безразмерный аргумент	Арксинус в радианах
$\text{acos}(a)$	Безразмерный аргумент	Арккосинус в радианах
$\text{atan2}(y,x)$	y – противолежащий катет, x – прилежащий катет	Арктангенс в радианах
$\exp(a)$	Безразмерный аргумент	Экспонента аргумента
$\log(a)$	Безразмерный аргумент	Натуральный логарифм
$\log_{10}(a)$	Безразмерный аргумент	Десятичный логарифм
$\text{pow}(a,b)$	Безразмерные аргументы	a в степени b
$\text{lat}(y)$	Безразмерный аргумент	Широта строки y
$\text{lon}(x)$	Безразмерный аргумент	Долгота столбца x
$\text{time}(Y,M,D,h,m,s)$	Год, месяц, число, час, минута, секунда	Промежуток времени в сутках и долях суток от полуночи 01.01.1990 до указанного момента
$\text{rad}(a)$	Угол в градусах	Радианная мера угла
$\text{min}(a,b)$	Безразмерные аргументы	Наименьшее из a и b
$\text{max}(a,b)$	Безразмерные аргументы	Наибольшее из a и b
$\text{abs}(a)$	Безразмерный аргумент	Модуль аргумента

Возможность внедрения новых библиотечных функций обеспечена архитектурой программного интерпретатора. Добавление функции осуществляется путем интеграции в систему нового специфичного программного интерпретатора. Авторы планируют дальнейшее расширение набора библиотечных функций.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ

Универсальность подхода, заложенного в основу проекта ИКАР, проявляется в возможности организации вычислений как характерных для большинства

геопорталов (различные статистические характеристики, профили, срезы данных, временные ряды и т. п.), так и специфических, направленных на решение конкретных практических задач. Важно, что в последнем случае сохраняется необходимая гибкость, позволяющая легко вносить произвольные модификации в расчетные выражения в интерактивном режиме, практически сразу отслеживая и сопоставляя результаты внесенных изменений. Таким образом, проект ИКАР может быть использован как для первичного анализа данных, так и для разработки, модификации и отладки алгоритма их обработки, а также для организации потоковой обработки больших массивов данных с использованием развитого алгоритма.

Для эффективной потоковой обработки на геопортале спутникового радиотепловидения реализована сетевая служба (веб-сервис), открывающая функциональный интерфейс к ИКАР. Функция передает на сервер расчетную формулу и расчетное время, а получает результат в виде массива на расчетной сетке или текстовое сообщение об ошибке. Таким образом, обеспечена возможность разработки клиентского приложения, выполняющего потоковую обработку с использованием функционала программного ядра ИКАР.

Важно отметить особенность сетевого обмена данными при реализации вычислений в ИКАР, состоящую в том, что сетевой трафик между компьютером пользователя и сервером геопортала минимизирован. Пользователь передает на сервер только текст основной формулы и определения функций и получает только массив расчетных значений или текстовое сообщение об ошибке. Виртуальная интеграция данных осуществляется путем сетевого обмена между сервером геопортала и распределенными архивами и не влияет на объем трафика, передаваемого пользователю. Также важно, что передаваемый пользователем текст является одновременно и способом документации (описания и сохранения) алгоритма обработки. Этот текст может быть записан в текстовый файл и впоследствии использован повторно как в интерактивном сеансе работы, так и с помощью программы-клиента.

В качестве иллюстрации практического использования ИКАР приведем пример расчета так называемого ТВ-критерия [15]. В синтаксисе ИКАР он может быть записан следующим образом:

$$R[x, y = 240..480, t] = \max(0, 100 \cdot \text{del}(\text{tpw_ltw}[x, y, t]/10, \text{rss_sst}[x, y, t])) \cdot \text{abs}(\sin(\text{rad}(\text{lat}(y)))) ;$$

$$\text{del}(A, B) = (A - 5,07) / 0,38 - (B - 27) / 4 \quad (6)$$

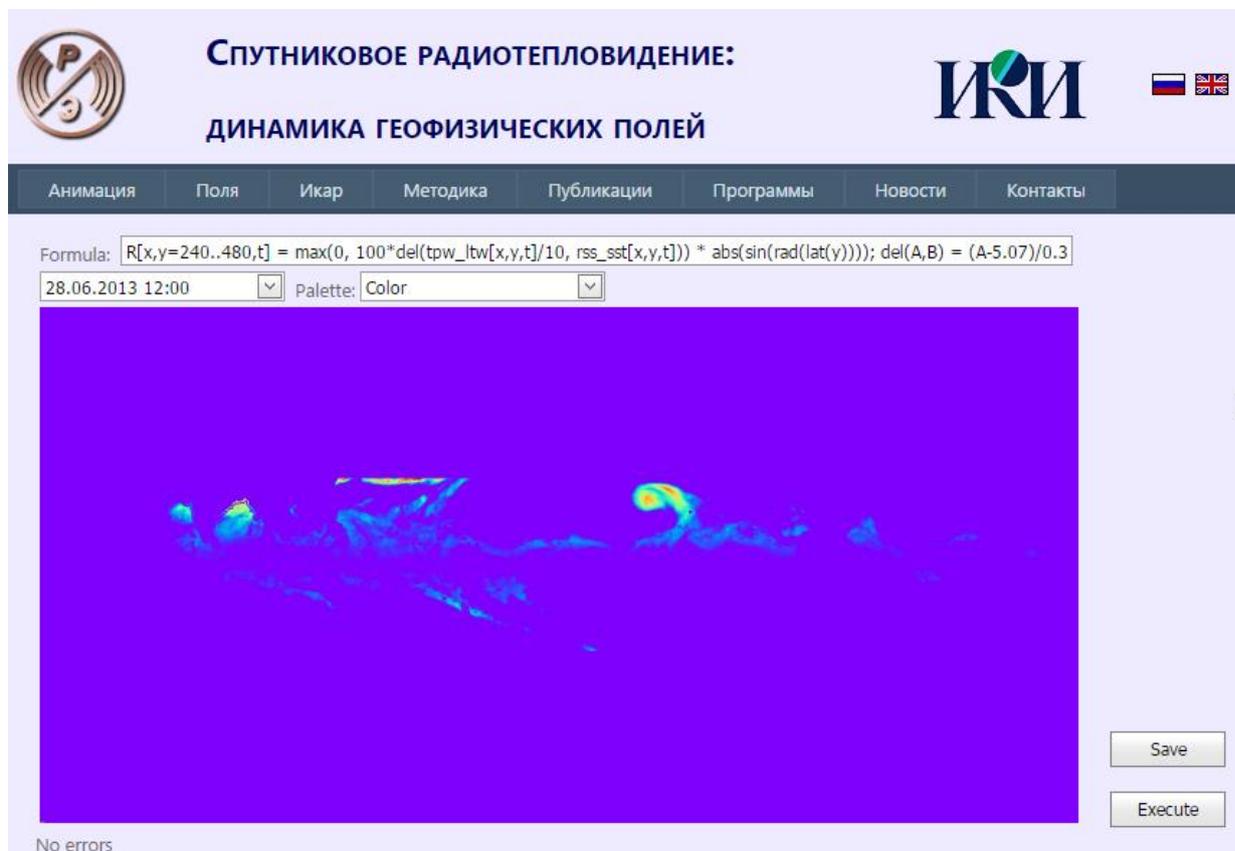


Рис. 6. Расчет по формуле (6) для даты 28.06.2013

На рис. 6 показан результат расчета для 28.06.2013. Условное время – местный полдень (к этому времени привязаны данные температуры поверхности океана). Область расчета ограничена низкими широтами (от 30° с.ш. до 30° ю.ш.), что повышает вычислительную эффективность и предотвращает возникновение дополнительных максимумов ТВ-критерия, связанных с ростом силы Кориолиса в высоких широтах, см. [15]. Реализация потоковой обработки дает возможность широкомасштабного статистического анализа связи приведенного критерия с глобальным тропическим циклогенезом.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящей работе подробно рассмотрен проект ИКАР, являющийся развитием сетевых сервисов геопортала спутникового радиотепловидения. В проекте реализовано новое программно-интерфейсное решение в организации удаленной обработки распределенных геоданных, основанное на идее интерактивного калькулятора. Показано, что решение обеспечивает необходимую гибкость при проектировании инструментов исследования с привлечением спутниковых данных, включая первичный анализ, разработку, модификацию и отладки алгоритма обработки, а также для организации потоковой обработки больших массивов спутниковой информации. Проанализированы детали технической реализации, обеспечивающие вычислительную эффективность и минимизацию трафика сетевого обмена с пользователем. Обсуждены возможности практического применения ИКАР, проиллюстрированные конкретными примерами обработки с использованием как данных геопортала спутникового радиотепловидения, так и другими, виртуально интегрированными архивами данных. Перспективы развития проекта связаны с обеспечением возможности широкой виртуальной интеграции различных архивов, баз геоданных и геопорталов, с расширением библиотеки встроенных аналитических функций, с совершенствованием пользовательских интерфейсов.

Благодарности

Развитие проекта ИКАР поддержано грантом РФФИ № 15-07-04422-А.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ермаков Д.М., Шарков Е.А., Чернушич А.П.* Мультисенсорный алгоритм спутникового радиотепловидения // Исследование Земли из космоса. 2016. № 3. С. 37–46.
2. *Ермаков Д.М., Шарков Е.А., Чернушич А.П.* Спутниковое радиотепловидение на синоптических и климатически значимых масштабах // Исследование Земли из космоса. 2016. № 5. С. 3–9.
3. *Шарков Е.А.* Полярный перенос скрытого тепла мезомасштабными тропосферными системами: анимационный анализ микроволновых спутниковых данных // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2015. Т. 12. № 5. С. 170–187.

4. *Ermakov D.M., Sharkov E.A., Chernushich A.P.* Satellite radiothermovision of atmospheric mesoscale processes: case study of tropical cyclones // ISPRS Archives. 2015. V. 40. No 7/W3. P. 179–186.

5. *Wimmers A.J., Velden C.S.* Seamless advective blending of total precipitable water retrievals from polar-orbiting satellites // J. Appl. Meteor. Climatol. 2011. V. 50. No 5. P. 1024–1036.

6. *Ермаков Д.М., Чернушич А.П., Шарков Е.А.* Геопортал спутникового радиотепловидения: данные, сервисы, перспективы развития // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2016. Т. 13. № 3. С. 46–57.

7. *Лупян Е.А., Саворский В.П., Шокин Ю.И., Алексанин А.И., Назиров Р.Р., Недолужко И.В., Панова О.Ю.* Современные подходы и технологии организации работы с данными дистанционного зондирования Земли для решения научных задач // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2012. Т. 9. № 5. С. 21–44.

8. *Savorskiy V., Lupyan E., Balashov I., Proshin A., Tolpin V., Ermakov D., Chernushich A., Panova O., Kuznetsov O., Vasilyev V.* Basic technologies of web services framework for research, discovery, and processing the disparate massive Earth observation data from heterogeneous sources // ISPRS Archives. 2014. V. 40. No 4. P. 223–228.

9. *Толпин В.А., Балашов И.В., Ефремов В.Ю., Лупян Е.А., Прошин А.А., Уваров И.А., Флитман Е.В.* Создание интерфейсов для работы с данными современных систем дистанционного мониторинга (система GEOSMIS) // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2011. Т. 8. № 4. С. 93–108.

10. *Resch B., Zimmer B.* User experience design in professional map-based geoportals // ISPRS Int. J. Geo-Information. 2013. No 2. P. 1015-1037.

11. *Биктимиров М.Р., Елизаров А.М., Щербаков А.Ю.* Тенденции развития технологий обработки больших данных и инструментария хранения разноформатных данных и аналитики // Электронные библиотеки. 2016. Т. 19. № 5. С. 390–407.

12. Геопортал спутникового радиотепловидения. Проект ИКАР: Описание.

<http://fire.fryazino.net/tpw/AboutIcar.aspx>.

13. *Wirth N.* Algorithms + data structures = programs. Englewood Cliffs, NJ, USA: Prentice-Hall, 1976. 400 p.

14. *Pratt T.W.* Programming languages: design and implementation. Englewood Cliffs, NJ, USA: Prentice-Hall, 1975. 530 p.

15. *Ростовцева В.В., Гончаренко И.В.* Оценка влияния тепловой стратификации тропосферы на активность тропического циклогенеза по данным спутниковой микроволновой радиометрии // Исследование Земли из космоса. 2014. № 2. С. 3–17.

DEVELOPMENT OF NETWORK SERVICES OF THE GEOPORTAL OF SATELLITE RADIOTHERMOVISION: ICAR PROJECT

D.M. Ermakov^{1,2}, A.P. Chernushich¹

¹*Kotel'nikov Institute of Radio Engineering and Electronics of Russian Academy of Sciences (RAS), Fryazino Branch;*

²*Space Research Institute of RAS*

dima@ire.rssi.ru, andrey@fireras.su

Abstract

The paper discusses the progress in the development of network services and technologies of the geoportal of satellite radiothermovision created by the authors earlier. The initial task of the geoportal was to provide potential users access to the results of the spatiotemporal interpolation of geophysical atmospheric fields. Practical implementation required the implementation of a technology of dynamic generation of processing products. The use of this technology had expanded the range of tasks, and led to the creation of a specialized service of the virtual integration of spatial geo-data ICAR (Interactive Calculator for Atmospheric Research). The paper describes the interface and technological principles underlying the ICAR project, discusses some details of software and algorithmic implementation, provides examples of practical applications.

Keywords: *geoportal, network services, satellite radiothermovision, interfaces,*

software and algorithmic implementation

REFERENCES

1. *Ermakov D.M., Sharkov E.A., Chernushich A.P.* Mul'tisensornyy algoritm sputnikovogo radioteplovideniya // *Issledovaniye Zemli iz kosmosa*. 2016. No 3. P. 37–46.
2. *Ermakov D.M., Sharkov E.A., Chernushich A.P.* Sputnikovoye radioteplovideniye na sinopticheskikh i klimaticheskikh znachimyykh masshtabakh // *Issledovaniye Zemli iz kosmosa*. 2016. No 5. P. 3–9.
3. *Sharkov E.A.* Polyarnyy perenos skrytogo tepla mezomasshtabnymi troposfernymi sistemami: animatsionnyy analiz mikrovolnovykh sputnikovyykh dannykh // *Sovremennyye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*. 2015. V. 12. No 5. P. 170–187.
4. *Ermakov D.M., Sharkov E.A., Chernushich A.P.* Satellite radiothermography of atmospheric mesoscale processes: case study of tropical cyclones // *ISPRS Archives*. 2015. V. 40. No 7/W3. P. 179–186.
5. *Wimmers A.J., Velden C.S.* Seamless advective blending of total precipitable water retrievals from polar-orbiting satellites // *J. Appl. Meteor. Climatol.* 2011. V. 50. No 5. P. 1024–1036.
6. *Ermakov D.M., Chernushich A.P., Sharkov E.A.* Geoportal sputnikovogo radioteplovideniya: dannyye, servisy, perspektivy razvitiya // *Sovremennyye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*. 2016. V. 13. No 3. P. 46–57.
7. *Loupian E.A., Savorskiy V.P., Shokin Yu.I., Aleksanin A.I., Nazirov R.R., Nedolugko I.V., Panova O.Yu.* Sovremennyye podhody i tehnologii organizatsii raboty s dannymi distantsionnogo zondirovaniya Zemli dlya resheniya nauchnykh zadach // *Sovremennyye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*. 2012. V. 9. No 5. P. 21–44.
8. *Savorskiy V., Lupyan E., Balashov I., Proshin A., Tolpin V., Ermakov D., Chernushich A., Panova O., Kuznetsov O., Vasilyev V.* Basic technologies of web services framework for research, discovery, and processing the disparate massive Earth observation data from heterogeneous sources // *ISPRS Archives*. 2014. V. 40. No 4. P. 223–228.
9. *Tolpin V.A., Balashov I.V., Efremov V.Yu., Loupian E.A., Proshin A.A., Uvarov I.A., Flitman E.V.* Sozdanie interfeysov dlya raboty s dannymi sovremennykh

system distantsionnogo monitoringa (sistema GEOSMIS) // *Sovremennyye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*. 2011. V. 8. No 4. P. 93–108.

10. *Resch B., Zimmer B.* User experience design in professional map-based geo-portals // *ISPRS Int. J. Geo-Information*. 2013. No 2. P. 1015–1037.

11. *Biktimirov M.R., Elizarov A.M., Scherbakov A.Yu.* Tendentsii razvitiya tehnologii obrabotki bol'shih dannyh i instrumentariya hraneniya raznoformatnyh dannyh i analitiki // *Elektronnyye biblioteki*. 2016. V. 19. No 5. P. 390–407.

12. Geoportal of satellite radiothermvision. ICAR project: Help. <http://fire.fryazino.net/tpw/AboutIcar.aspx>.

13. *Wirth N.* Algorithms + data structures = programs. Englewood Cliffs, NJ, USA: Prentice-Hall, 1976. 400 p.

14. *Pratt T.W.* Programming languages: design and implementation. Englewood Cliffs, NJ, USA: Prentice-Hall, 1975. 530 p.

15. *Rostovtseva V.V., Goncharenko I.V.* Otsenka vliyaniya teplovoy stratifikatsii atmosfery na aktivnost' tropicheskogo tsiklogeneza po dannym sputnikovoy mikrovolnovoy radiometrii // *Issledovaniye Zemli iz kosmosa*. 2014. No 2. P. 3–17.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

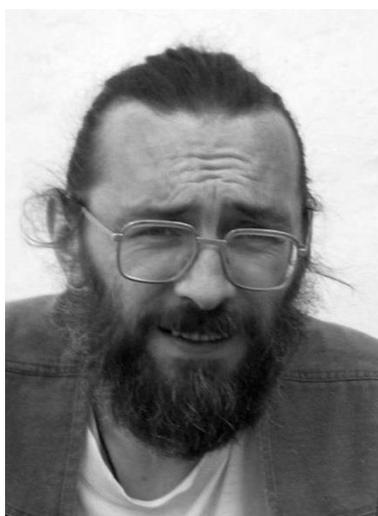


ЕРМАКОВ Дмитрий Михайлович – кандидат физико-математических наук, ведущий научный сотрудник Фрязинского филиала Института радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН (ФИРЭ РАН), Фрязино; старший научный сотрудник Института космических исследований РАН (ИКИ РАН), Москва.

Dmitry Mikhailovich ERMAKOV – Candidate of physical and mathematical sciences, leading scientist of the Fryazino branch of the Kotel'nikov Institute of Radio Engineering and Electronics of of the Russian Academy of Sciences (FIRE RAS), Fryazino, Russia; senior researcher in the Space Research Institute of (IKI RAS), Moscow, Russia.

Current scientific interests: satellite microwave remote sensing, dynamics and energy of atmospheric mesoscale, synoptic and climatically significant processes, distributed data processing.

e-mail: dima@ire.rssi.ru



ЧЕРНУШИЧ Андрей Петрович – кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник Фрязинского филиала Института радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН (ФИРЭ РАН), Фрязино.

Andrey Petrovich CHERNUSHICH – Candidate of physical and mathematical sciences, senior researcher of the Fryazino branch of the Kotel'nikov Institute of Radio Engineering and Electronics of RAS (FIRE RAS), Fryazino, Russia.

Current scientific interests: satellite microwave remote sensing, distributed data processing, computer vision, image processing.

e-mail: andrey@fireras.su

Материал поступил в редакцию 16 декабря 2016 года

УДК 551.466.62

О ЦУНАМИОПАСНОСТИ ЯПОНОМОРСКИХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

Д.Е. Золотухин¹, Т.Н. Ивельская²

¹Институт морской геологии и геофизики Дальневосточного отделения Российской академии наук;

²Центр цунами, Федеральное государственное бюджетное учреждение «Сахалинское управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды»

DimZol@rambler.ru, t_ivelskaya@sakhugms.ru

Аннотация

Используя численное моделирование цунами, мы рассмотрели зависимость цунамиопасности подводных землетрясений в Японском море от магнитуды и глубины гипоцентра. Полученные данные крайне востребованы в работе сахалинского Центра цунами. Они могут быть использованы для детализации магнитудно-географического критерия цунамиопасности с целью сокращения числа как ложных тревог, так и пропусков цунами на Дальнем Востоке России.

Ключевые слова: землетрясение, цунами, цунамиопасность, магнитуда, гипоцентр, тревога цунами, магнитудно-географический критерий цунамиопасности, Японское море, Дальний Восток России, сахалинский Центр цунами.

ВВЕДЕНИЕ

Основным рабочим методом, применяемым Сахалинской Службой предупреждения о цунами (СПЦ) при принятии решения об объявлении тревоги цунами на Дальнем Востоке России, является сейсмический. Он основан на регистрации сейсмических волн, опережающих цунами. Возможность возникновения цунами в результате землетрясения оценивается по магнитудно-географическому критерию. Землетрясение считается цунамиопасным, если его эпицентр попадает в цунамигенную зону, а интенсивность превышает заданное пороговое значение магнитуды. Так, для землетрясений в Японском море пороговое значение магнитуды

составляет 7,0. По сути, принципы функционирования остались неизменными с момента организации службы [1, 2].

Эффективность данного магнитудно-географического критерия для акватории Японского моря можно оценить с помощью анализа исторические сведения о проявлении цунами в Приморье и на побережье Татарского пролива.

ИСТОРИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ О ПРОЯВЛЕНИИ ЦУНАМИ НА ДАЛЬНЕМ ВОСТОКЕ РОССИИ

Основная цунамигенная зона Дальнего Востока России, в которой расположены очаги большинства цунами, совпадает с западным склоном Курило-Камчатского желоба. В окраинных морях Тихого океана, омывающих дальневосточные берега России, цунами возникают реже. Наиболее опасно в этом отношении Японское море. Цунамигенная зона Японского моря проходит вдоль восточного побережья Кореи, западного побережья Японии и юго-западного побережья острова Сахалин, в ней сосредоточены все известные очаги цунами.

Первые сведения о цунами в Татарском проливе относятся к 29 сентября 1878 года. Максимальная высота подъема воды оценивается в 2–5 м (источник цунами неоднозначен). Последние значительные цунами, которые наблюдались на побережье Татарского пролива, произошли 5 сентября 1971 года и 2 августа 2007 года. Масштаб проявлений последнего цунами оказался значительно выше ожидавшегося от землетрясения с магнитудой 6,2 [3]. На побережье Приморского края наблюдалось 5 цунами, особенно катастрофические последствия были в 1940, 1983 и 1993 годах [4, 5]. Основные данные о проявлении сильнейших цунами в Японском море в XX–XXI веках (начиная с 1939 года) представлены в таблице 1. Географическое положение эпицентров сильнейших цунамигенных землетрясений в Японском море показано на рис. 1. Данные по цунами взяты из [3–8].

Следует отметить, что эпицентры цунамигенных землетрясений 16.06.1964 с магнитудой $M=7,5$, и 01.05.1939 с магнитудой $M=7,0$, не вызвавших опасные (с заплеском, превышающим 1 м) цунами на япономорском побережье Дальнего Востока России, находились западнее острова Хонсю. Очаги же опасных цунами 05.09.1971 и 02.08.2007 с магнитудой $M<7$ находились в южной части Татарского пролива.

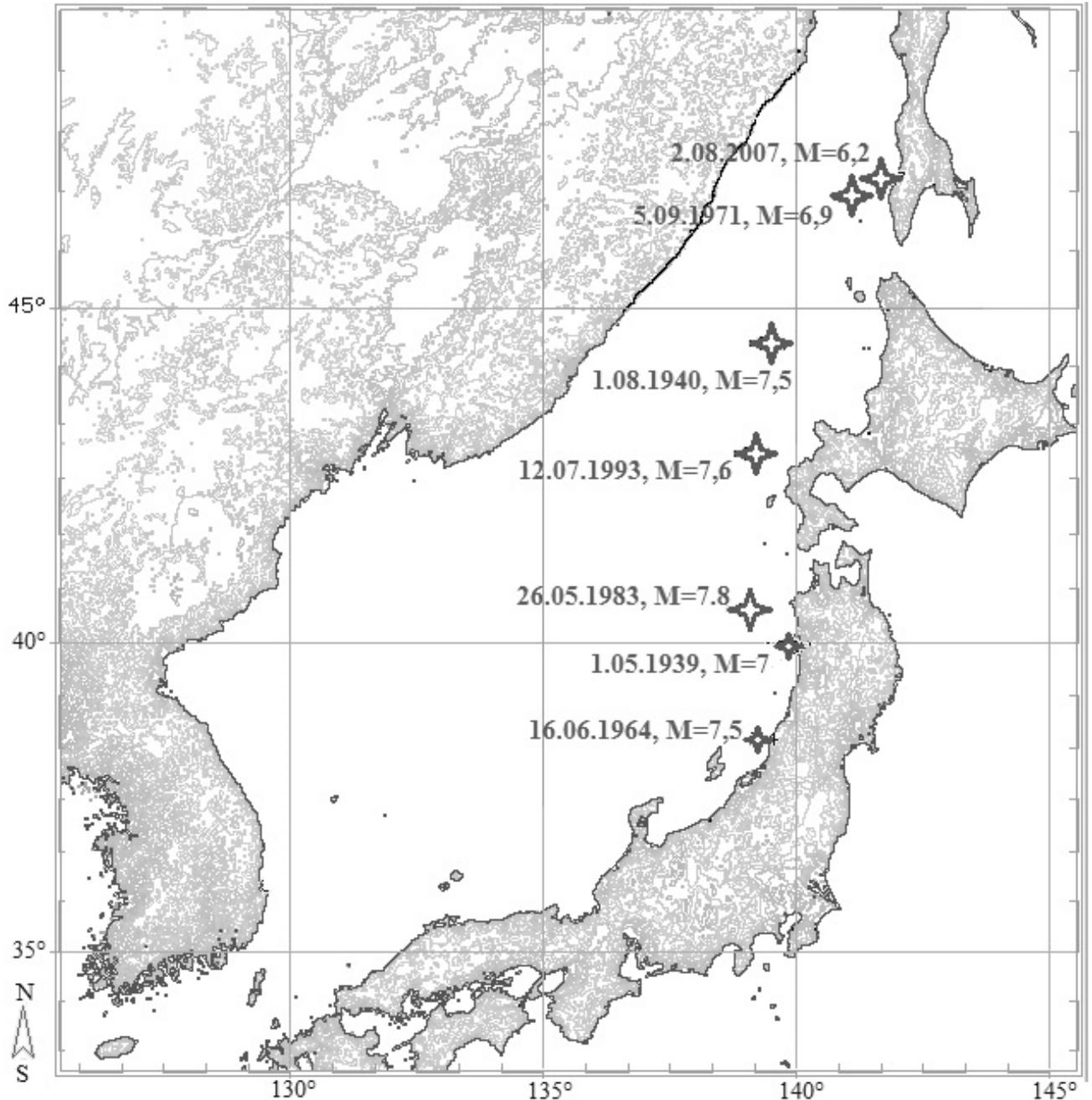


Рис. 1. Эпицентры цунамигенных землетрясений в Японском море в XX–XXI веках

Следует также отметить, что землетрясение 05.09.1971 с магнитудой $M=6,9$ вызвало на побережье острова Сахалин цунами с заплеском 2,05 м. В то же время землетрясение 02.08.2007 с магнитудой $M=6,2$ вызвало на побережье острова Сахалин более сильное (с заплеском 3,2 м) цунами. Это объясняется большей глубиной гипоцентра землетрясения 1971 года (17 км против 10,6 км).

Таблица 1. Сильнейшие цунами на Дальнем Востоке России в XX–XXI веках

Дата	Широта	Долгота	глубина гипоцентра, км.	Магнитуда	Заплеск, м
01.05.1939	39,90° N	139,88° E	22	7	0,3/-
01.08.1940	44,47° N	139,52° E	35	7,5	3,5/3,5
16.06.1964	38,44° N	139,23° E	11	7,5	5,8/0,6
05.09.1971	46,56° N	141,19° E	17	6,9	2,05/2,05
26.05.1983	40,46° N	139,09° E	23	7,8	14,5/5,0
12.07.1993	42,85° N	139,20° E	16	7,6	32/4,43
02.08.2007	46,83° N	141,75° E	10,6	6,2	3,2/3,2

В последнем столбце в числителе – максимальный заплеск цунами, в знаменателе – максимальный заплеск на российском побережье Японского моря.

Данные примеры показывают, что цунамиопасность подводного землетрясения в Японском море зависит не только от его магнитуды, но и от географических координат и глубины очага. Это говорит о том, что данные о глубине очага и географических координатах цунамигенного землетрясения должны учитываться Сахалинской СПЦ при принятии решения об объявлении тревоги цунами для защищаемого побережья Японского моря.

ПАРАМЕТРЫ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

С целью выявления зависимости цунамиопасности землетрясения в Японском море от географических координат и глубины очага была выполнена серия вычислительных экспериментов, моделирующих цунами в данном регионе. При численном моделировании был использован «макросейсмический» источник цунами [1, 8]. В этой модели реальный источник замещается начальным возвышением уровня в виде половинки эллипсоида, проектирующегося на зону максимальных сотрясений при землетрясении, а его параметры определяются параметрами макросейсмического очага.

Всего использовались восемь модельных источников, размещенных в сейсмоактивных зонах Японского моря. Координаты источников №№ 1, 2, 4 были выбраны, исходя из [2], остальных источников – на основе данных об исторических цунами (включая слабые), приведенных в [7].

Основные параметры модельных источников цунами представлены в таблице 2.

Таблица 2. Параметры модельных источников цунами

№	Широта эпицентра	Долгота эпицентра	Азимут направления большой оси
1	49,30° N	141,70° E	0
2	46,37° N	141,23° E	158
3	44,50° N	139,50° E	0
4	43,00° N	139,30° E	0
5	40,00° N	139,08° E	0
6	37,50° N	137,92° E	55
7	35,83° N	135,00° E	90
8	35,00° N	131,75° E	50

Для каждого из восьми модельных источников цунами были проведены четыре серии вычислительных экспериментов. На основе статистического анализа распределения фокальных глубин цунамигенных землетрясений, выполненного А.А. Поплавским [9], для численного моделирования были выбраны глубины гипоцентров 10, 20, 40 и 60 км. Для глубины очага цунамигенного землетрясения 10 км брались магнитуды 6,5, 6,7, 7,0, 7,2 и 7,5. Для глубин очага 20, 40 и 60 км брались магнитуды 7,0, 7,2, 7,5, 7,7, 8,0, 8,2, 8,5. Таким образом, для каждого из восьми модельных очагов цунами было выполнено 26 вычислительных экспериментов.

Для каждой серии вычислительных экспериментов (для модельного очага с определенными координатами и глубиной гипоцентра) определялась пороговая магнитуда цунамигенного землетрясения. Под пороговой магнитудой здесь понимается магнитуда в модельном очаге цунамигенного землетрясения, при которой на российском побережье Японского моря в процессе моделирования наблюдается интенсивное (с заплеском 1 м или более) цунами, потенциально представляющее угрозу для населения Дальнего Востока России. Высоты заплесков рассчитывались для 22 точек российского побережья Японского моря: Невельск, Холмск, мыс Крильон, Ильинский, Углегорск, Пильво, Александровск-Сахалинский, Гроссевичи, Советская Гавань, Де-Кастри, Ольга, Рудная Пристань, Преображение, Терней, Малая Кема, Находка, Сосуново, Гамов, мыс Золотой, Большой Камень, Владивосток, Посыет.

Модельные источники цунами и расчетные точки российского побережья Японского моря, для которых рассчитывались заплески волн цунами, показаны на рис. 2.

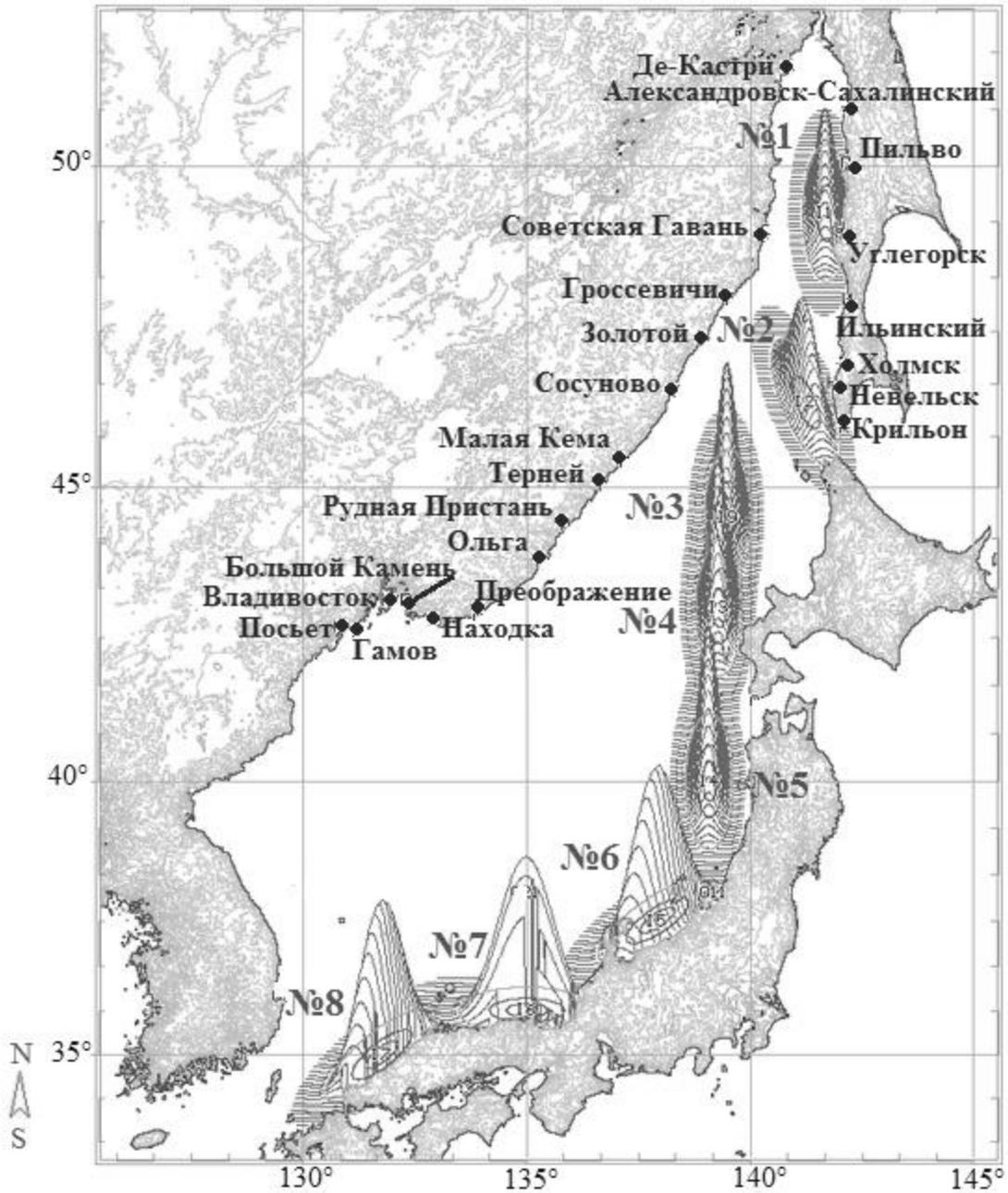


Рис. 2. Модельные источники цунами и расчетные точки побережья Японского моря

РЕЗУЛЬТАТЫ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Результаты вычислительных экспериментов представлены в таблице 3. Результаты численного моделирования цунами в Японском море показывают, что с увеличением глубины модельного очага от 10 до 60 км мы наблюдаем рост пороговых магнитуд от 7,2 и ниже до 8 и выше, в зависимости от географических координат модельного очага.

Таблица 3. Пороговые магнитуды для различных глубин модельных очагов

№ очага	Глубины модельных очагов, км			
	10	20	40	60
1	6,7	7,2	8,0	8,5
2	6,7	7,5	8,0	8,5
3	6,7	7,2	7,7	8,2
4	6,7	7,2	7,7	8,0
5	7,0	7,5	8,0	8,2
6	7,0	7,5	8,2	8,5
7	7,0	7,7	8,0	8,5
8	7,2	7,7	8,2	8,5

Детальный анализ результатов вычислительных экспериментов позволили сделать следующие выводы.

Для глубины очага 10 км пороговая магнитуда для Татарского пролива и акватории Японского моря западнее Хоккайдо составляет 6,7, что говорит о значительной цунамиопасности акватории Татарского пролива (где, согласно расчетам А.А. Поплавского [9], мелкофокусные землетрясения наиболее вероятны).

Для глубины очага 20 км пороговая магнитуда для всей акватории Японского моря превышает 7, что говорит об адекватности принятой в настоящее время в Службе предупреждения о цунами пороговой магнитуды 7 для большей части акватории Японского моря.

Для глубин очага 40 и 60 км пороговая магнитуда для всей акватории Японского моря в первом случае превышает 7,5, а во втором случае ≥ 8 . Это говорит о необходимости учитывать глубину очага землетрясения при принятии решения об объявлении тревоги цунами.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ данных наблюдений и результатов численного моделирования цунами показал, что цунамиопасность подводных землетрясений в Японском море зависит от географических координат и глубины гипоцентра цунамигенного землетрясения. Поэтому при принятии решения об объявлении тревоги цунами для защищаемого побережья указанного района Сахалинской СПЦ необходимо учитывать географические координаты и глубину очага цунамигенного землетрясения. Иначе говоря, магнитудно-географический критерий цунамиопасности, в настоящее время составляющий 7 для всей акватории Японского моря, нуждается в детализации.

На основании результатов выполненных вычислительных экспериментов могут быть приняты решения о детализации магнитудно-географического критерия цунамиопасности. Это повысит эффективность Сахалинской СПЦ как за счет сокращения числа ложных тревог, так и за счет снижения риска фатального пропуска цунами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Поплавский А.А., Храмушин В.Н., Непоп К.И., Королев Ю.П.* Оперативный прогноз цунами на морских берегах Дальнего Востока России. Южно-Сахалинск, 1997. 273 с.
2. *Поплавский А.А., Храмушин В.Н.* Методы оперативного прогноза цунами и штормовых наводнений. Владивосток: Дальнаука, 2008. 176 с.
3. Невельское землетрясение и цунами 2 августа 2007 года, о. Сахалин / Под ред. Левина Б.В., Тихонова И.Н. Москва: Янус-К, 2009. 204 с.
4. *Соловьев С.Л., Го Ч.Н.* Каталог цунами на западном побережье Тихого океана (173-1968). М.: Наука, 1974. 309 с.
5. *Заякин Ю.Я.* Цунами на Дальнем Востоке России. Петропавловск-Камчатский: Камшат, 1996. 88 с.
6. Лаборатория цунами. Институт вычислительной математики и математической геофизики. Каталоги Online. http://tsun.sccc.ru/tsulab/On_line_Cat_r.htm (дата обращения: 30.11.2016).

7. NGDC/WDS Global Historical Tsunami Database. http://www.ngdc.noaa.gov/hazard/tsu_db.shtml (дата обращения: 30.11.2016).

8. Поплавский А.А., Золотухин Д.Е., Храмушин В.Н. Макросейсмическая модель источника цунами и оценка ее эффективности при численном моделировании // Вулканология и сейсмология. Январь–февраль 2012. № 1. С. 65–72.

9. Поплавский А.А., Бобков А.О. О распределении дальневосточных землетрясений по глубине и магнитуде // Материалы международного научного симпозиума «Строение, геодинамика и металлогения охотского региона и прилегающих частей северо-западной тихоокеанской плиты», Южно-Сахалинск, Россия, 24 – 28 сентября 2002 г. Южно-Сахалинск, 2002, С. 64–88.

ABOUT TSUNAMI RISK OF EARTHQUAKES IN JAPAN SEA

D.E. Zolotukhin¹, T.N. Ivelskaya²

¹*Institute of Marine Geology & Geophysics, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences;*

²*Sakhalin Tsunami Warning Center, Federal Service of Russia for Hydrometeorology and Environmental Monitoring*

DimZol@rambler.ru, t_ivelskaya@sakhugms.ru

Abstract

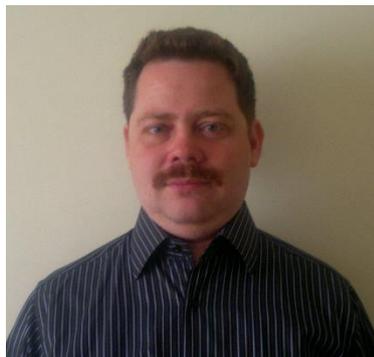
In the present work we, using numerical modeling of a tsunami, have examined the dependence of the tsunami underwater earthquake in the Sea of Japan from the geographical coordinates and focal depth. The data obtained in high demand in the practice of the Sakhalin Tsunami Center. They can be used for specification of magnitude and geographical criterion of tsunami risk, for the purpose of reduction of number both false alarms, and passes the tsunami in the Far East of Russia.

Keywords: *earthquake, tsunami, tsunami risk, magnitude, hypocenter, alarm of a tsunami, magnitude and geographical criterion of tsunami risk, Sea of Japan, Far East of Russia, Sakhalin Tsunami Center.*

REFERENCES

1. *Poplavsky A. A., Hramushin V. N., Nepop K.I., Korolev Yu. P.* The operational forecast of a tsunami on sea coast of the Far East of Russia. Yuzhno-Sakhalinsk, 1997. 273 p.
2. *Poplavsky A. A., Hramushin V. N.* Methods of the operational forecast of a tsunami and storm floods. Vladivostok: Dalnauka, 2008. 176 p.
3. The august 2, 2007 Nevelsk earthquake and a tsunami, Sakhalin Island. Levin B.V., Tikhonov I.N. et al. Moscow: Janus-K, 2009. 204 p.
4. *Solov'ev S.L., Guo Ch. N.* The catalog of a tsunami on the western coast of the Pacific Ocean (173-1968). Moscow: Nauka, 1974. 309 p.
5. *Zayakin Yu.Ya.* A tsunami in the Far East of Russia. Petropavlovsk-Kamchatsky: Kamshat, 1996. 88 p.
6. Laboratory of a tsunami. Institute of calculus mathematics and mathematical geophysics. On-line catalogs. http://tsun.sccc.ru/tsulab/On_line_Cat_r.htm (date of the application: 30.11.2016).
7. NGDC/WDS Global Historical Tsunami Database. http://www.ngdc.noaa.gov/hazard/tsu_db.shtml (date of the application: 30.11.2016).
8. *Poplavsky A.A., Zolotukhin D.E., Hramushin V.N.* Macroseismic model of a source of a tsunami and assessment of its efficiency in case of numerical modeling. *Volcanology and seismology*. January–February, 2012. No 1. P. 65–72.
9. *Poplavsky A.A., Bobkov A.O.* *About distribution of the Far East earthquakes on depth and magnitude*. Proceedings of the international scientific symposium "A structure, geodynamics and the metalgenius of the Okhotsk region and adjacent parts of a northwest Pacific plate", Yuzhno-Sakhalinsk, Russia, September 24–28, 2002. Yuzhno-Sakhalinsk: 2002, P. 64–88.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ



ЗОЛОТУХИН Дмитрий Евгеньевич – старший научный сотрудник лаборатории цунами Института морской геологии и геофизики Дальневосточного отделения Российской академии наук.

ZOLOTUKHIN Dmitry Evgenyevich – senior research associate of laboratory of a tsunami of Institute of Sea Geology and Geophysics of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences.

email: DimZol@rambler.ru



ИВЕЛЬСКАЯ Татьяна Николаевна – начальник Центра цунами ФГБУ «Сахалинское управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды».

IVELSKAYA Tat'jana Nikolaevna – chief of Sakhalin Tsunami Warning Center, Federal Service of Russia for Hydrometeorology and Environmental Monitoring.

email: t_ivel'skaya@sakhugms.ru

Материал поступил в редакцию 28 декабря 2016 года

УДК 519.865.7+65.012.26

УПРАВЛЕНИЕ РИСКАМИ И ФАКТОРЫ УЯЗВИМОСТИ КРИТИЧЕСКОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ

Н.П. Комендантова

*Международный институт анализа прикладных систем;
Швейцарская высшая техническая школа Цюриха
e-mail: komendan@iiasa.ac.at*

Аннотация

Рассмотрены подходы к управлению рисками для таких сложных систем критической инфраструктуры, как система энергетики, и факторы, влияющие на уязвимость критической энергетической инфраструктуры в странах Европейского Союза.

Ключевые слова: факторы уязвимости, управление рисками, оценка рисков, каскадные эффекты, местный, национальный и межрегиональный уровни управления, линии передачи и распределения электроэнергии, тотальное отключение электричества

ВВЕДЕНИЕ

Термин «критическая инфраструктура» часто используется для определения инфраструктуры, жизненно необходимой для функционирования общества. К такой инфраструктуре относится энергетика, включая выработку, транспортировку и переработку энергии. Также термин «критическая инфраструктура» используется для масштабных технических систем, таких, как системы коммуникаций, транспорта или водоснабжения [1]. Действительно, область энергетики является жизненно необходимой для функционирования общества, и любые сбои в передаче энергии могут негативно повлиять на все сферы человеческой деятельности, особенно в настоящее время, когда различные системы становятся все более взаимозависимыми и все большее количество таких услуг, как отопление, освещение, транспорт, производство, телекоммуникации и т. д., предоставляется на основе электричества.

События последних лет показали, что перебои с поставками электричества в одной стране могли повлечь за собой каскадные эффекты и тотальное отключение электричества, когда пострадали бы миллионы жителей в разных странах. Под тотальным отключением электричества понимается ситуация, когда более одного миллиона людей остались без электричества или когда отключение электричества продолжалось более миллиона минут. К примеру, в августе 2003 года более 50 миллионов жителей США и Канады остались без электричества. В этом же году 4 миллиона жителей Швеции и Дании остались без электричества, а тотальное отключение электричества, которое началось в Швейцарии в 2003 году, также затронуло 55 миллионов жителей Италии [2].

Последствия тотального отключения электричества в странах с экономикой переходного периода были еще более значительными. В 2012 году в Индии остались без электричества 670 миллионов людей, в 2005 году в Индонезии – 100 миллионов, в 1999 году в Бразилии – 97 миллионов и в 2009 году в Бразилии и Парагвае – 87 миллионов жителей [3].

Оценка и управление рисками такой сложной системы, как система электроснабжения, требуют комплексной оценки и должны включать всех участников процесса как на местном уровне управления, так и на национальном и межрегиональном уровнях. Защита линий электропередач предполагает обеспечение продолжительного функционирования и взаимозависимости всех систем, связанных с электроснабжением, для определения, преодоления и нейтрализации рисков. Управление рисками должно затрагивать все три подсистемы энергетической системы – подсистем выработки, транспортировки и перераспределения энергии. Все эти подсистемы, включающие также высоковольтные и низковольтные линии электропередач, взаимозависимы и взаимосвязаны между собой.

Линии электропередач подвержены различным рискам, таким, например, как природные катастрофы, террористические риски или кибератаки, а также системные риски, связанные с введением в эксплуатацию новых объектов инфраструктуры или таких видов энергии, как возобновляемые источники энергии.

ФАКТОРЫ УЯЗВИМОСТИ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСЕТЕЙ В ЕВРОПЕ

Архитектура линий электропередач в странах Евросоюза была построена более 50 лет назад для удовлетворения нужд потребления энергии, когда центры выработки энергии и потребления находились в географической близости друг от друга. Сейчас такие центры находятся в разных странах. К примеру, энергия ветра вырабатывается в Германии, а потребляется в Австрии. Энергия солнца вырабатывается в Испании, а потребляется в Германии. Атомная энергия вырабатывается в Бельгии, а потребляется также и за пределами этой страны. Такая архитектура электросетей требует строительства новых сетей протяженностью многие километры [4].

На состояние линий электропередач в Европе также существенно влияет процесс старения инфраструктуры: существующие в настоящее время линии электропередач были построены более 30–40 лет назад, существенная часть этих линий устарела и не соответствует современным техническим стандартам. Финансовый и экономический кризис последнего десятилетия в Европе привел к отсутствию финансирования и ремонта распределительных линий электропередач. Часто именно в этом участке системы энергоснабжения возникают перебои с подачей электроэнергии, которые потом распространяются на всю систему электропередач [5].

Процесс объединения рынка электроэнергии в Европе привел к объединению систем с различными стандартами, а также существованию высоковольтных и низковольтных линий электропередач, «умных сетей» и подземных кабелей. Особенно затруднительна ситуация в приграничных районах стран Евросоюза из-за отсутствия регулирования в области дальнейшего развития линий электропередач между этими странами. В настоящее время вопросы обеспечения поставок энергии входят в национальные законодательства стран – членов Евросоюза, но остается открытым вопрос ответственности и финансирования линий электропередач, соединяющих системы разных стран. Такой подход оставляет также открытым вопрос о координации действий по защите критической инфраструктуры, выходящей за пределы Евросоюза [6].

Стратегия Евросоюза по развитию энергетики на 2020 год определяет дальнейшее строительство линий электропередач и увеличение их пропускной способности как стратегически необходимые. Эта стратегия устанавливает также цели развития таких альтернативных источников энергии, как энергия солнца или ветра. Энергетическая стратегия до 2050 года предусматривает увеличение доли возобновляемых источников до 80% от всей вырабатываемой электроэнергии [7]. Такие цели требуют существенных изменений в структуре линий электропередач, дальнейшего строительства таких линий и увеличения их пропускной способности, а также введения «умных электросетей» для управления поставками электроэнергии из различных источников.

Страны Евросоюза подвержены многочисленным угрозам природных катастроф, таким, как землетрясения, наводнения, засухи, пожары и экстремальная жара [8]. Все эти угрозы оказывают негативное влияние на линии электропередач. Доминирующими являются гидрометеорологические угрозы, среди которых штормы (35%) и наводнения (31%) являются наиболее частыми [9]. Наступление названных угроз приводит к физическому разрушению линий электропередач, а также снижению их пропускной способности. Различные страны Евросоюза уязвимы в различной степени: в то время как одни страны более подвержены рискам наводнений или цунами, другие страдают от частых штормов и экстремальной жары [10]. К примеру, Южная Европа более подвержена сейсмическим рискам, где такие страны, как Греция, Румыния и Балканы, находятся в зоне самой высокой сейсмической активности. Страны Средиземноморья более подвержены рискам цунами. Страны Южной Европы более подвержены пожарам, самая высокая вероятность которых наблюдается в таких странах, как Португалия, Испания, Италия и Греция. Существует также высокая вероятность увеличения частоты и интенсивности названных угроз [11].

Увеличение доли возобновляемых источников энергии влечет за собой увеличение уязвимости линий электропередач от каскадных явлений. Сегодня вопрос о том, способна ли европейская система линий электропередач балансировать поставки электроэнергии из различных возобновляемых источников энергии, является основным вопросом энергетического перехода.

Возобновляемые источники формируют такие новые задачи, как необходимость баланса между потреблением и выработкой электроэнергии. Они усиливают комплексность европейской системы электропередач, так как ветряные мельницы или системы фотовольтаики могут вырабатывать электричество, только когда дует ветер или светит солнце. У операторов электросетей нет контроля таких природных факторов, поэтому им необходимо вырабатывать альтернативные решения в случае чрезмерных или недостаточных поставок электроэнергии. Такие задачи являются решаемыми до тех пор, пока доля энергии из возобновляемых источников невелика. Однако увеличение доли возобновляемых источников до 80% требует новых решений. Также внедрение «умных сетей» приводит к необходимости баланса потребления и поставок электричества, когда потребители становятся и производителями, а у частных домохозяйств появляется возможность производить электроэнергию из таких альтернативных источников, как панели фотовольтаики, расположенные на крыше домов [12].

Примеры тотального отключения электроэнергии в Италии, Германии или Турции показывают взаимозависимость факторов уязвимости, связанных также с протекающими в данных странах процессами энергетического перехода, основанного на внедрении возобновляемых источников энергии, а также сочетанием факторов уязвимости и каскадных эффектов.

Тотальное аварийное отключение электричества в Италии и Швейцарии в 2003 году привело к тому, что пострадали 56 миллионов человек (55 миллионов – в Италии и один миллион – в Швейцарии). Причиной тотального отключения стала перегрузка 380kV-линии между населенными пунктами Меттлен и Лаворго (Mettlen – Lavorgo), которая привела к повышению температуры и возгоранию деревьев, находящихся недалеко от линии электропередач, в результате чего произошел сбой в подаче электроэнергии. Сбой на линии Mettlen – Lavorgo повлек за собой повышение нагрузки на 380kV-линию между населенными пунктами Сильс и Соса (Sils – Sosa). Эффект домино и вывод всей системы электропередач в Италии из синхронизации с Союзом по сотрудничеству и передаче электроэнергии повлек за собой тотальное отключение электричества в Италии, которое продолжалось разное количество часов в разных регионах страны. К примеру, население Сицилии оставалось без электроэнергии в течение 16 часов [13].

В 2006 году произошло тотальное аварийное отключение электричества в Германии также из-за сочетания различных факторов уязвимости. Электрокомпания E.ON отключила высоковольтную линию передач для прохода корабля. Одновременно ветряные мельницы в Северном море выработали более 10,000 MW электроэнергии. Недостаточное сообщение между энергетическими компаниями и неточные расчеты выработки энергии ветра привели к перенагрузке линий электропередач. Отключение всей западной системы электропередач привело к тотальному аварийному отключению электроэнергии более чем на два часа [14].

В 2015 году произошло массовое аварийное отключение электричества в Турции, опять же по причине совпадения различных рисков, таких, как ремонт одной из линий электропередач, соединяющей восток и запад страны, и одновременно появление избытка электроэнергии, выработанной гидроэлектростанциями в Восточном Черном море, Южной и Восточной Анатолии, которые работали на полную мощность. В результате произошла избыточная нагрузка на 400kV линию электропередач, соединяющую восток и запад страны, что привело к тотальному отключению электроэнергии во всех провинциях Турции, когда миллионы людей остались без электроэнергии [15].

ОЦЕНКА РИСКОВ И УПРАВЛЕНИЕ ИМИ НА ОСНОВАНИИ УЧЕТА ФАКТОРОВ УЯЗВИМОСТИ

Основные элементы оценки рисков включают оценки самих рисков, а также угроз и уязвимостей. Риск является взаимозависимостью вероятности соответствующего события и его негативных последствий. Угроза характеризуется вероятностью того, что определенный риск наступит в определенный период времени, а уязвимость является сочетанием физических, социальных, экономических и культурных факторов, которые усиливают последствия угроз для общества. Таким образом, риск является функцией угроз и уязвимостей и обычно определяется как вероятность потери жизни или разрушения инфраструктуры.

Комплексное управление рисками необходимо для предотвращения каскадных эффектов и отсутствия синхронизации в результате системных рисков. Оно также необходимо для внедрения принципа резервирования, когда в случаях

наступления критической ситуации существует возможность введения резервного оборудования. В таком случае электропитание в случае выхода из строя отдельного компонента системы не прерывается. В системе могут быть один или несколько резервных модулей или компонентов. Часто принцип резервирования означает, что число модулей электропитания превышает на единицу число модулей или компонентов, необходимое для электропитания. В случае аварии или отключения одного из модулей нагрузка перераспределяется между остальными модулями. Каждый из модулей выполняет одновременно функции и основного, и резервного модуля.

Для оценки риска функционирования энергосистемы принимается определение риска как произведения «вероятности события и ожидаемых потерь», которые могут быть выражены либо в финансовом эквиваленте, либо в потере потенциальной мощности. Количественная связь риска R_i , связанного с событием i , определяется по формуле $R_i = P_i S_i$, $S_i = G_i D_i$, где P_i – вероятность свершения события i , вычисляемая за определенный промежуток времени, S_i – степень тяжести последствий этого события, выраженная в неэнергетических терминах (определяется как произведение глубины тяжести G_i на время восстановления D_i).

Для обеспечения режимной надежности и реализации принципа *резервирования* должна быть обеспечена защита от каскадного отключения, коллапса напряжения и частоты, а также потери синхронизации. В соответствии с данным принципом при отказе одного элемента в системе должно быть обеспечено требуемое электропитание. Оценки режимной надежности включают вычисление доступной пропускной способности связей электросистемы, выявление узких мест системы до наступления непредвиденных ситуаций, а также оценку напряжения на шинах и определение пределов допустимых перетоков по линиям электропередач. Одной из основных проблем оценки статистической режимной надежности является оценка каскадного отключения.

Существуют списки угроз непредвиденных ситуаций, которые должны быть приняты во внимание при моделировании по критерию резервирования. Эти угрозы можно разделить на нормальные угрозы, то есть потерю одного элемента,

и особые угрозы – события, которые могут привести к каскадным авариям. Все эти угрозы могут повлиять на критические компоненты или совокупность компонент электроэнергетической системы либо непосредственно, либо косвенно, а воздействие может быть оказано либо на локальный участок системы, либо на всю систему. Также необходимо оценить вероятность каждой из угроз. Для оценки каскадных эффектов применяют методы теории цепей, при помощи которых определяют предварительные уязвимости по топологии и анализу динамики. Топологический анализ, основанный на классической теории графов, должен включать анализ соответствующих свойств структуры системы, а также оценку роли таких отдельных элементов системы, как узлы и соединительные дуги. Топологический анализ помогает в проведении предварительной оценки уязвимостей на основе моделирования таких отказов, как удаление узлов и дуг, с последующей переоценкой сетевых топологических свойств.

Другим показателем эффективного управления развитием и эксплуатацией электроэнергетических систем является показатель надежности. Надежность электросистемы характеризуется различными свойствами, такими, например, как безопасность, безотказность, устойчивость, управляемость и восстанавливаемость. Показатели надежности определяются следующим образом [16]: для заданных уровней и структуры электропотребления по централизованным узлам (подсистемам), конфигурации межсистемных связей, состава и параметров оборудования (генерирующих агрегатов и системообразующих ЛЭП), обеспеченности первичными энергоресурсами для отдельных узлов и системы определяют в целом показатели надежности за расчетный период (обычно год), а также для задаваемых интервалов этого периода.

В настоящий момент в Европе разработаны две модели, позволяющие оценить каскадные риски как мультириски. Одна модель разработана Политехнической школой Цюриха, Швейцария, вторая – Институтом Технологий в городе Карлсруэ, Германия.

Модель оценки каскадных рисков разработана Арно Миниан [17] и представляет собой алгоритм моделирования каскадных отключений, основанный на методе Монте-Карло. Преимущество этого метода состоит в возможности его ис-

пользования при работе с комплексными системами. Метод позволяет определить определенное количество (N_{sim}) временных рядов, которые записываются на основании распределения Пуассона (для однородного или неоднородного процессов). Каждый временной ряд представляет собой сценарий рисков и анализ количества сценариев. Метод позволяет дать вероятностную оценку потерь, а также определить вероятности наступления того или иного риска (см. [17]).

Взаимодействия между угрозами представляют собой динамический процесс, который требует специальной стратегии анализа. Компоненты такого анализа включают:

- оценку угроз и их взаимозависимости, а также вычисление вероятностей проявления каскадных эффектов, которые определяются при помощи моделирования наступления угроз за временной период t и предполагают выполнение следующих шагов: построение случайных временных рядов: количество угроз за определенный период времени $\Delta t=[t_0;t_{max}]$ определяется при помощи распределения Пуассона для каждого стохастического события i , которое характеризуется долговременным параметром λ_i ; для каждого события определяется свой временной период t ; запись временных рядов путем моделирования определяет набор S_0 , который представляет нулевую гипотезу H_0 по отсутствию угроз в системе; по результатам моделирования в соответствующем ряде под определенными порядковыми номерами записываются характеристики события j , которое может случиться за период t_j ; другие события k случаются после события j за определенный период времени $(t_j;t_{max}]$ с условной вероятностью $P(k|j)$;

- оценку множественных рисков на основании адаптации матриц моделирования угроз с потерями от них: для каждого ряда моделирования рассчитывают средние потери в результате наступления события j ; наступление последнего зависит от предыдущих угроз; для каждого временного ряда рассчитывают индекс потерь в случае наступления события j ; повторяют описанные шаги до тех пор, пока $t_j \leq t_{max}$.

А. Миниан создает корреляционную матрицу угроз, которая включает возможные взаимозависимости между различными угрозами (например, обозначим их А, В, С, D и E) [17].

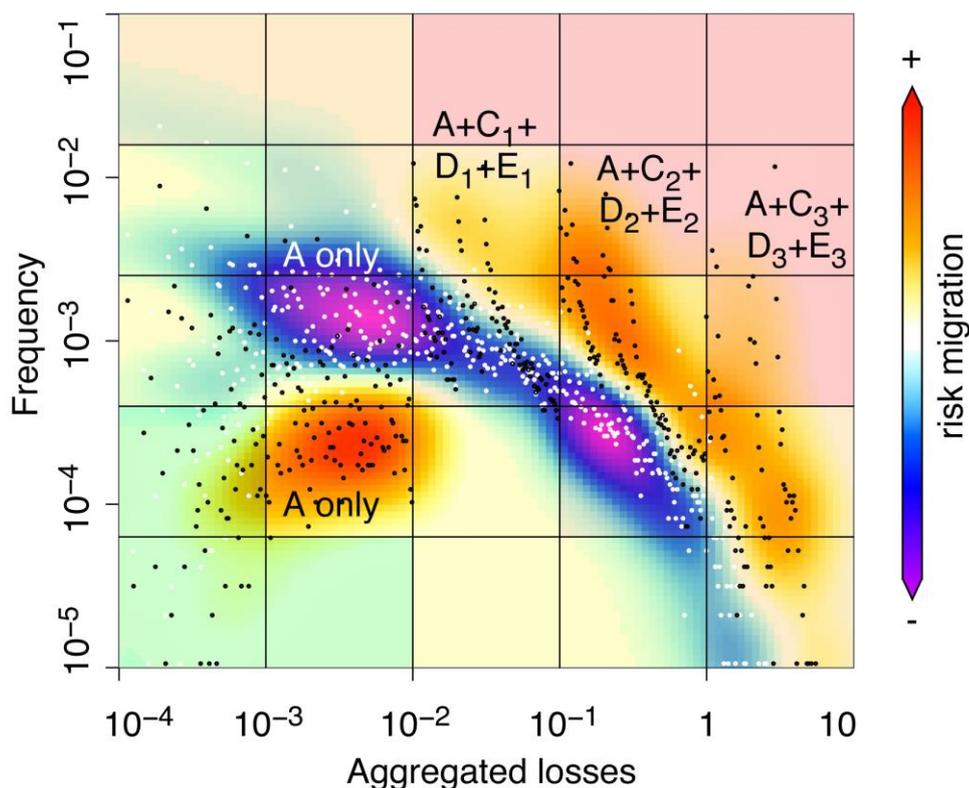


Рисунок 1. Пример матрицы рисков, когда учитываются каскадные эффекты; черные и белые точки обозначают различные сценарии рисков; увеличение риска показано красным цветом, снижение риска – белым цветом. Принятые обозначения: frequency – частота, aggregated losses – агрегированные потери, risk migration – изменение риска

Рис. 1 иллюстрирует матрицу рисков, созданную на основании метода, описанного выше. Данная матрица показывает, что наступление риска А влечет за собой наступление риска с соответствующей вероятностью. Риск С может повлечь за собой риск D, а риск D влечет за собой наступление риска Е. К примеру, А и С представляют собой риски землетрясений и цунами, в то время как риски D и Е представляют собой каскадные эффекты или эффекты домино для критической инфраструктуры. Рис. 1 показывает изменение вероятности происхождения риска в случае учета взаимозависимости между рисками.

Процесс принятия решений при наступлении определенного вида угроз может быть описан с помощью известных инструментов оценки принятия решений.

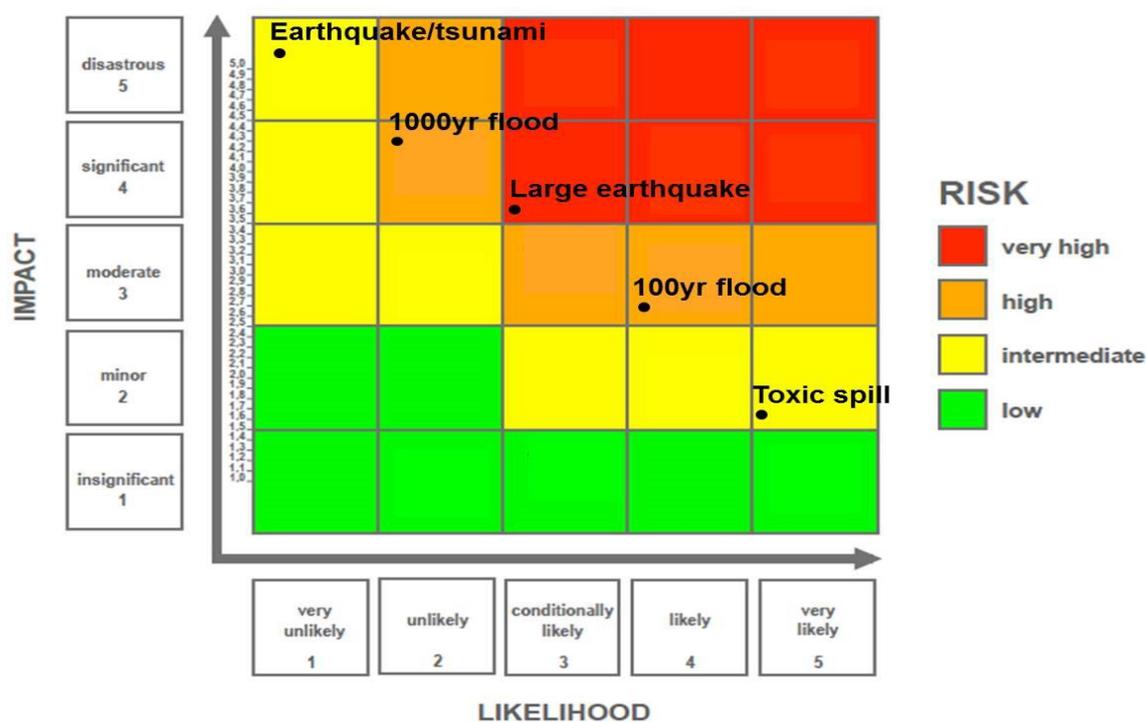
Значения оценки угроз для каждого сценария учитываются при разработке модели и подсчете количественных параметров либо на основании отдельных величин, либо на основании распределения вероятностей, когда числа являются своего рода представлением уровней, которые могут быть выражены в таких категориях, как «катастрофические» и т. д. В зависимости от каскадных последствий угрозы могут быть классифицированы как «катастрофические», «обширные», «средние», «малые» или «незначительные». Для разработки исходных данных используются модели оценки потерь, такие, например, как CAPRA¹ или HAZUS².

На основании модели оценки рисков также рассчитываются возможные каскадные последствия, такие, например, как политические. В данном случае риски закладываются не на основании статистических данных, а на основании экспертных оценок. В таком случае экспертное моделирование используется для определения номинального ранжирования различных угроз в зависимости от их последствий. Затем на основании ранжирования составляются сценарии последствий возможных угроз.

Временной горизонт угроз и их последствий (в настоящее время, в среднесрочной и долгосрочной перспективах) определяется на основании экспертных оценок. Так как экспертное моделирование может привести к различным результатам, в дерево принятия решений также закладываются вероятности наступления определенных рисков. Затем риски категорируются по фактору последствий как катастрофические, обширные, средние, малые и незначительные (рис. 2).

¹ http://www.iitk.ac.in/nicee/wcee/article/WCEE2012_0726.pdf

² <https://www.fema.gov/pdf/plan/prevent/hazus/fema433.pdf>



Угроза	Вероятность (период)	Вероятность	Влияние				
			Люди	Экономика	Природа	Инфраструктура	Прочее
Землетрясение	1 в 475 лет	Возможно в зависимости от условий	значительное	среднее	незначительное	значительное	значительное
Землетрясение / цунами	1 в 10,000 лет	Малая вероятность	разрушительное	разрушительное	среднее	разрушительное	значительное
Редкое наводнение	1 в 1000 лет	Невозможно	значительное	значительное	разрушительное	значительное	значительное
Регулярное наводнение	1 в 100 лет	Возможно	малое	незначительное	среднее	среднее	Среднее
Чрезвычайно высокая температура	1 в 20 лет	Большая вероятность	незначительное	незначительное	значительное	незначительное	незначительное

Рисунок 2. Методология разработки сценариев с применением матрицы рисков. Источник: ВВК, 2010 [18]. Принятые обозначения: impact – влияние (insignificant – незначительное, minor – малое, moderate – среднее, significant – значительное, disastrous – разрушительное), likelihood – вероятность (very unlikely – очень малая вероятность, unlikely – малая вероятность, conditionally likely – возможно в зависимости от обстоятельств, likely – возможно, very likely – очень возможно), risk

– риск (very high – очень высокий, high – высокий, intermediate – средний, low – низкий), earthquake – землетрясения / tsunami – цунами, 1000yr flood – 1000-летнее наводнение, large earthquake – обширное землетрясение, 100yr flood – 100-летнее наводнение, toxic spill – токсический разлив.

Согласно данному подходу, последствия наступления угроз оцениваются согласно их каскадным влияниям, затем определяется индикатор потерь для каждого сценария (рис. 3). Оценка интенсивности последствий и потерь комбинируется в индикатор показателя потерь для каждого сценария.

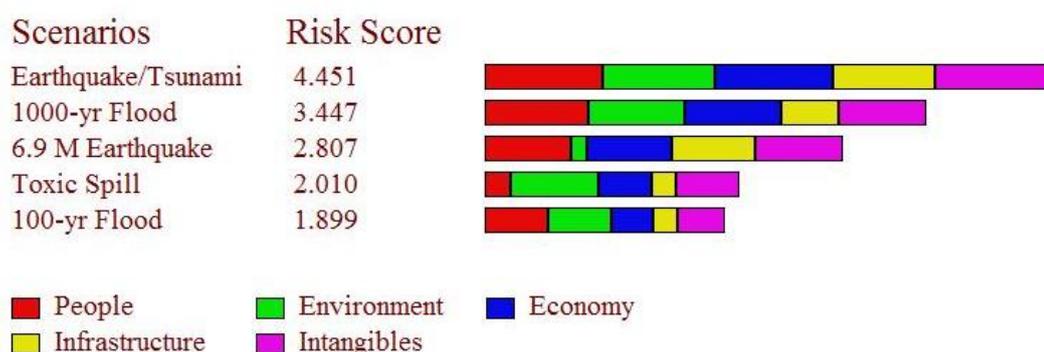


Рисунок 3. Общий риск и последствия каждого сценария. Источник: Венцель, 2012, [19]. Принятые обозначения: Scenarios – сценарии, earthquake – землетрясение / tsunami – цунами, 1000-yr flood – 1000-летнее наводнение, 6.9 M earthquake – землетрясение, toxic spill – токсический разлив, 100-yr flood – 100-летнее наводнение, risk score – оценка риска, people – люди, infrastructure – инфраструктура, environment – окружающая среда, intangibles – нематериальные потери, economy – экономика

Рис. 4 показывает чувствительность каждого сценария к взвешенным индикаторам, к примеру, влияние на людей. В частности, этот рисунок показывает, что подводное землетрясение вызывает цунами и определяется как более существенная угроза, чем токсический разлив. Общий риск для каждого сценария определяется методом агрегирования суммы каждого компонента от различных сценариев и зависит от веса, который придается отдельным показателям.

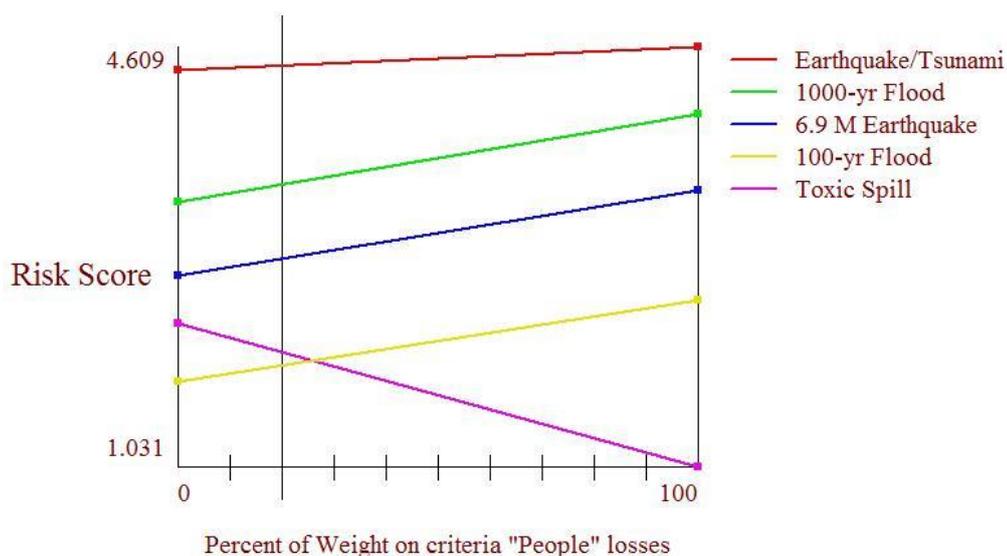


Рисунок 4. Анализ чувствительности сценария. Источник: Венцель, 2012 [19]. Принятые обозначения: Percent of Weight on criteria "People" losses – процент веса согласно критерию «люди», earthquake – землетрясение / tsunami – цунами, 1000-yr flood – 1000-летнее наводнение, 6.9 M earthquake – землетрясение, toxic spill – токсический разлив, 100-yr flood – 100-летнее наводнение

Далее разработанная методика используется при проведении групповых дискуссий по результатам наступления рисков, а также для ранжирования рисков. К примеру, анализ чувствительности может быть использован, чтобы показать эффекты ранжирования отдельных рисков и их взаимозависимости. Так, рис. 4 показывает, что чем больший вес придается значению таких отдельных показателей, как люди или экономика или влияние в среднесрочной или долгосрочной перспективах, тем меньше вес остальных рисков в матрице принятия решений. Это происходит потому, что сценарий токсического разлива, к примеру, не приводит к людским потерям, поэтому его значение для данного показателя будет незначительным. С другой стороны, важно, что ранжирование отдельных рисков остается прежним.

Вопросы управление рисками и защиты линий электропередач находятся в ответственности властей на национальном уровне. Согласно решениям Совета Европы, защита критической инфраструктуры является задачей властей каждой от-

дельной страны, а также операторов инфраструктуры, находящейся на территории данной страны. Однако в случае отключения линий электропередач каскадные эффекты могут также повлиять на электросистемы других стран. Управление такими международными рисками требует специального механизма на межрегиональном уровне [20].

В 2009 году Еврокомиссия разработала специальную рамочную стратегию для предотвращения и минимизации последствий природных катастроф, включая такие формы защиты критической инфраструктуры, как предотвращение, подготовка, защита и восстановление линий электропередач. Еврокомиссия также осознает необходимость защиты линий электропередач от мульти-рисков. В частности, Совет Евросоюза подчеркивает необходимость развития подходов по управлению рисками, основанных на минимизации каскадных эффектов. Мульти-рисками называются риски, возникновение которых влечет за собой другие риски, так называемые каскадные явления, или увеличивает уязвимость территории к последствиям других рисков [11].

В настоящее время электросеть в странах Европейского союза состоит из 41 оператора на территории 34 стран. Операторы отвечают только за свой участок сетей, однако в процессе интеграции риски, возникающие в одном участке на территории одной страны, также затрагивают и другие участки на территории других стран. Отсутствие региональной интеграции в действиях операторов, а также требования увеличения объемов передачи электроэнергии и протяженности линий электропередач требуют строительства новой инфраструктуры протяженностью многие тысячи километров. Такая инфраструктура необходима для сглаживания пиков в спросе и предложении электроэнергии. Другими факторами уязвимости сети являются факторы энергетического перехода, связанные с введением и возрастанием доли возобновляемых источников энергии, а также процессом, когда все возрастающее число потребителей энергии становится также производителями энергии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Risk assessment and mapping guidelines for disaster management. European Commission staff working paper, European Union, Brussels, 2011.
2. Komendantova N., Schweitzer D., Kroos D., Leroy C., Andreini E., Baltazar B., Boston T., Botbaev K., Cohen J., Eismann C., Hamm T., Garcia-Aristizabal, Keršnik M., König M., Lehmann M., Lemmens H., Moeltner K., Mumovic M., Reichl J., Sansavini G., Schmidthaler M., Steven A., Tomik L., Zobel C., Wenzel F. Protecting Electricity Networks from Natural Hazards. Organization for Security and Cooperation in Europe (OSCE). 2016.
3. US-Canada Power System Outage Task Force: Final Report on the Implementation of the Task Force Recommendations. Natural Resources Canada and U.S. Department of Energy. September 2006.
4. Study on the comparative merits of overhead electricity transmission lines versus underground cables. Ecofys Study for the Department of Communications, Energy and Natural Resources, Ireland, May 2008.
5. Ten-year network development plan 2010–2020. European Network of Transmission System Operators for Electricity (ENTSO-E), Brussels, 2010.
6. Large Scale integration of wind energy in the European power supply: analysis, issues and recommendations. European Wind Energy Association (EWEA) Brussels, 2010.
7. European Commission, (2010). Europe 2020: A strategy for smart, sustainable and inclusive growth. COM (2010) 2020 final.
8. Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Field C.B., Barros V.R., Dokken D.J., Mach K.J., Mastrandrea M.D., Bilir T.E., Chatterjee M., Ebi K.L., Estrada Y.O., Genova R.C., Girma B., Kissel E.S., Levy A.N., MacCracken S., Mastrandrea P.R., and White L.L. (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. P. 1–32. IPCC, 2014.
9. Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction. United Nation Office for Disaster Risk Reduction, Geneva, 2013.

10. Risk assessment and mapping guidelines for disaster management. European Commission staff working paper, European Union, Brussels, 2011.

11. A Community approach on the prevention of natural and man-made disasters. 2010. Risk Assessment and Mapping Guideline for Disaster Management. European Commission Staff Working Paper 1626, Brussels, 2010.

12. Battaglini A., Lilliestam J., Haas A., Patt A. Development of SuperSmart Grids for a more efficient utilization of electricity from renewable sources// J. of Cleaner Production. Vol. 17, No 10. P. 911–918.

13. Swiss Federal Office of Energy (2003). Report on the blackout in Italy on 28 September 2003. Bern, Switzerland

14. European Regulators Group for Electricity and Gas (2007). The lessons to be learned from the large disturbance in the European power system on the 4th of November 2006. Brussels, 2007.

15. ENTSO-E (2015). Report on Blackout in Turkey on 31st March 2015. Brussels, 2015.

16. Ковалев Г.Ф., Крупнев Д.С. Оценка системной надежности электроэнергетических систем и выявление вклада сетевого и генерирующего звеньев в показатели системной надежности// Защита электрических сетей от природных рисков. Организация по безопасности и сотрудничеству в Европе. 2017.

17. Mignan A. D7.2 MATRIX-CITY User Manual, New methodologies for multi-hazard and multi-risk assessment methods for Europe, Deliverable 7.2, 2013. 78 p.

18. BBK (2010). Methode für die Risikoanalyse im Bevölkerungsschutz. Tech. rep., Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe. http://www.bbk.bund.de/cln_027/nn_402322/SharedDocs/Publikationen/Broschueren__Flyer/Methode__Risikoanalyse-BS,templateId=raw,property=publicationFile.pdf/Methode_Risikoanalyse-BS.pdf.

19. Wenzel F. D6.1 – Decision-analytic frameworks for multi-hazard mitigation and adaptation, New methodologies for multi-hazard and multi-risk assessment methods for Europe, Deliverable 6.1, 2012. 34 p. <http://matrix.gpi.kit.edu/downloads/MATRIX-D6.1.pdf>.

20. Hyogo Framework for Action 2005–1015: Building the Resilience of Nations and Communities to Disasters. United Nations International Strategy for Disaster Reduction, 2005.

RISK GOVERNANCE AND VULNERABILITY FACTORS OF CRITICAL INFRASTRUCTURE

Nadejda P. KOMENDANTOVA

International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA), Austria and ETH Zurich, Switzerland

e-mail: komendan@iiasa.ac.at

Abstract

On example of recent multi-risk disasters and their impacts on electricity transmission grids this paper shows the need of multi-risk assessment and governance. It discusses factors of vulnerability of electricity transmission infrastructure in Europe in lights of changing for architecture of electricity grids requirements, growing volumes of renewable energy sources and probabilities for cascading effects. The paper also brings examples of multi-risk assessment and shows algorithm of calculation for multi-risk disasters.

Key words: methods of multi-risk assessment, cascading impacts, electricity transmission infrastructure, vulnerability of the European electricity transmission system

REFERENCES

1. Risk assessment and mapping guidelines for disaster management. European Commission staff working paper, European Union, Brussels, 2011.
2. Komendantova N., Schweitzer D., Kroos D., Leroy C., Andreini E., Baltazar B., Boston T., Botbaev K., Cohen J., Eismann C., Hamm T., Garcia-Aristizabal, Keršnik M., König M., Lehmann M., Lemmens H., Moeltner K., Mumovic M., Reichl J., Sansavini G., Schmidthaler M., Steven A., Tomik L., Zobel C., Wenzel F. Protecting Electricity Networks from Natural Hazards. Organization for Security and Cooperation in Europe (OSCE). 2016.

3. US-Canada Power System Outage Task Force: Final Report on the Implementation of the Task Force Recommendations. Natural Resources Canada and U.S. Department of Energy. September 2006.

4. Study on the comparative merits of overhead electricity transmission lines versus underground cables. Ecofys Study for the Department of Communications, Energy and Natural Resources, Ireland, May 2008.

5. Ten-year network development plan 2010–2020. European Network of Transmission System Operators for Electricity (ENTSO-E), Brussels, 2010.

6. Large Scale integration of wind energy in the European power supply: analysis, issues and recommendations. European Wind Energy Association (EWEA) Brussels, 2010.

7. European Commission, (2010). Europe 2020: A strategy for smart, sustainable and inclusive growth. COM (2010) 2020 final.

8. Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Field C.B., Barros V.R., Dokken D.J., Mach K.J., Mastrandrea M.D., Bilir T.E., Chatterjee M., Ebi K.L., Estrada Y.O., Genova R.C., Girma B., Kissel E.S., Levy A.N., MacCracken S., Mastrandrea P.R., and White L.L. (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. P. 1–32. IPCC, 2014.

9. Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction. United Nation Office for Disaster Risk Reduction, Geneva, 2013.

10. Risk assessment and mapping guidelines for disaster management. European Commission staff working paper, European Union, Brussels, 2011.

11. A Community approach on the prevention of natural and man-made disasters. 2010. Risk Assessment and Mapping Guideline for Disaster Management. European Commission Staff Working Paper 1626, Brussels, 2010.

12. Battaglini A., Lilliestam J., Haas A., Patt A. Development of SuperSmart Grids for a more efficient utilization of electricity from renewable sources// J. of Cleaner Production. Vol. 17, No 10. P. 911–918.

13. Swiss Federal Office of Energy (2003). Report on the blackout in Italy on 28 September 2003. Bern, Switzerland

14. European Regulators Group for Electricity and Gas (2007). The lessons to be learned from the large disturbance in the European power system on the 4th of November 2006. Brussels, 2007.

15. ENTSO-E (2015). Report on Blackout in Turkey on 31st March 2015. Brussels, 2015.

16. Ковалев Г.Ф., Крупнев Д.С. Оценка системной надежности электроэнергетических систем и выявление вклада сетевого и генерирующего звеньев в показатели системной надежности// Защита электрических сетей от природных рисков. Организация по безопасности и сотрудничеству в Европе. 2017.

17. Mignan A. D7.2 MATRIX-CITY User Manual, New methodologies for multi-hazard and multi-risk assessment methods for Europe, Deliverable 7.2, 2013. 78 p.

18. BBK (2010). Methode für die Risikoanalyse im Bevölkerungsschutz. Tech. rep., Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe. http://www.bbk.bund.de/cln_027/nn_402322/SharedDocs/Publikationen/Broschueren__Flyer/Methode__Risikoanalyse-BS,templateId=raw,property=publicationFile.pdf/Methode_Risikoanalyse-BS.pdf.

19. Wenzel F. D6.1 – Decision-analytic frameworks for multi-hazard mitigation and adaptation, New methodologies for multi-hazard and multi-risk assessment methods for Europe, Deliverable 6.1, 2012. 34 p. <http://matrix.gpi.kit.edu/downloads/MATRIX-D6.1.pdf>.

20. Hyogo Framework for Action 2005–1015: Building the Resilience of Nations and Communities to Disasters. United Nations International Strategy for Disaster Reduction, 2005.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ



КОМЕНДАНТОВА Надежда Павловна – доктор экономических наук, старший научный сотрудник и руководитель рабочей группы по управлению рисками в Международном Институте Анализа Прикладных Систем, а также старший научный сотрудник и руководитель проектов в Швейцарской Политехнической Школе города Цюрих.

Nadejda P. KOMENDANTOVA is a senior research scholar at the ETH Zurich, Switzerland and the leader of governance in transition group at the International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA) in Austria.

email: komendan@iiasa.ac.at

Материал поступил в редакцию 19 февраля 2017 года