

Последние достижения в области работы с «большими данными» позволяют решить проблему эффективной обработки значительных массивов геофизических измерений. Современные методы системного анализа и искусственного интеллекта позволяют реализовать автоматизированное многокритериальное распознавание экстремальных явлений различной природы. Комплексный анализ наземных и спутниковых данных позволяет оперативно и с высокой точностью моделировать элементы магнитного поля Земли, что крайне важно для решения многих фундаментальных и практических задач.

Геомагнитное поле, регистрируемое на поверхности Земли и в околоземном пространстве, можно разделить на внутреннее и внешнее. Источником внутреннего магнитного поля Земли являются процессы, протекающие в ее недрах. Внутреннее поле меняется медленно — в течение десятков и сотен лет (вековые вариации). Внешнее же поле формируется сложной и крайне изменчивой пространственной структурой электрических токов в магнитосфере и ионосфере Земли, образующихся под воздействием Солнца.

Геомагнитную активность формируют относительно короткопериодные вариации внешнего магнитного поля, обусловленные солнечной активностью. Эффект от магнитосферных и ионосферных токов наблюдается на Земле в виде отклонений параметров магнитного поля — на временных масштабах от секунд до десятков часов. Повышенный уровень геомагнитной активности и геомагнитные вариации экстремальной амплитуды могут представлять опасность для технологических систем (ЛЭП, трубопроводов, спутников и т. п.). Поэтому геомагнитный мониторинг в режиме реального времени весьма важен для обеспечения технологической безопасности. Продолжительные наблюдения за изменением внутреннего поля также важны для понимания причин его эволюции.

INTERMAGNET

Непрерывные измерения параметров геомагнитного поля выполняются на обсерваториях по всему миру. Современные магнитные обсерватории — это высокотехнологичные объекты, функционирующие продолжительное время и обеспечивающие высокоточную оперативную регистрацию магнитного поля, что позволяет определять как вековые, так и короткопери-

одические вариации. Наиболее развитой сетью магнитных наблюдений, предоставляющей данные высшего стандарта качества, является международная сеть ИНТЕРМАГНЕТ (INTERMAGNET — International Real-Time Magnetic Observatory Network). Она включает около 140 обсерваторий. За последние годы значительные успехи были достигнуты в развитии наземных магнитных наблюдений в России. При поддержке ФГБУН «Геофизический центр РАН» (ГЦ РАН) — одной из ведущих научных организаций, выполняющих исследования в данной области, были проведены работы по модернизации обсерваторий для соответствия международным стандартам. Результатом явилось, в частности, официальное включение обсерватории «Санкт-Петербург» в сеть ИНТЕРМАГНЕТ в июне 2016 года. Также при участии ГЦ РАН в Архангельской области развернута новая обсерватория «Климовская». Данные от 13 обсерваторий, 9 из которых включены в ИНТЕРМАГНЕТ, передаются в аналитический Центр геомагнитных данных в ГЦ РАН.

Результаты оперативного анализа геомагнитной активности на примере данных обсерватории «Магадан» во время магнитной бури 20 декабря 2015 года. Момент внезапного начала магнитной бури отмечен черной стрелкой (предоставлено ГЦ РАН).

Верхний график — исходная магнитограмма горизонтальной составляющей магнитного поля. На втором графике показана оценка часовых амплитуд геомагнитных возмущений. Третий график характеризует меру аномальности поля, построенную на принципах нечеткой математики. На четвертом графике представлена почасовая оценка скорости изменения магнитного поля. На нижнем графике показаны результаты оперативного расчета K-индекса геомагнитной активности.

На графиках перечисленных индикаторов геомагнитной активности красным цветом отмечены сильно аномальные значения, фиолетовым — аномальные значения, зеленым — слабо аномальные значения и синим — фоновые значения

дические вариации. Наиболее развитой сетью магнитных наблюдений, предоставляющей данные высшего стандарта качества, является международная сеть ИНТЕРМАГНЕТ (INTERMAGNET — International Real-Time Magnetic Observatory Network). Она включает около 140 обсерваторий.

За последние годы значительные успехи были достигнуты в развитии наземных магнитных наблюдений в России. При поддержке ФГБУН «Геофизический центр РАН» (ГЦ РАН) — одной из ведущих научных организаций, выполняющих исследования в данной области, были проведены работы по модернизации обсерваторий для соответствия международным стандартам. Результатом явилось, в частности, официальное включение обсерватории «Санкт-Петербург» в сеть ИНТЕРМАГНЕТ в июне 2016 года. Также при участии ГЦ РАН в Архангельской области развернута новая обсерватория «Климовская». Данные от 13 обсерваторий, 9 из которых включены в ИНТЕРМАГНЕТ, передаются в аналитический Центр геомагнитных данных в ГЦ РАН.

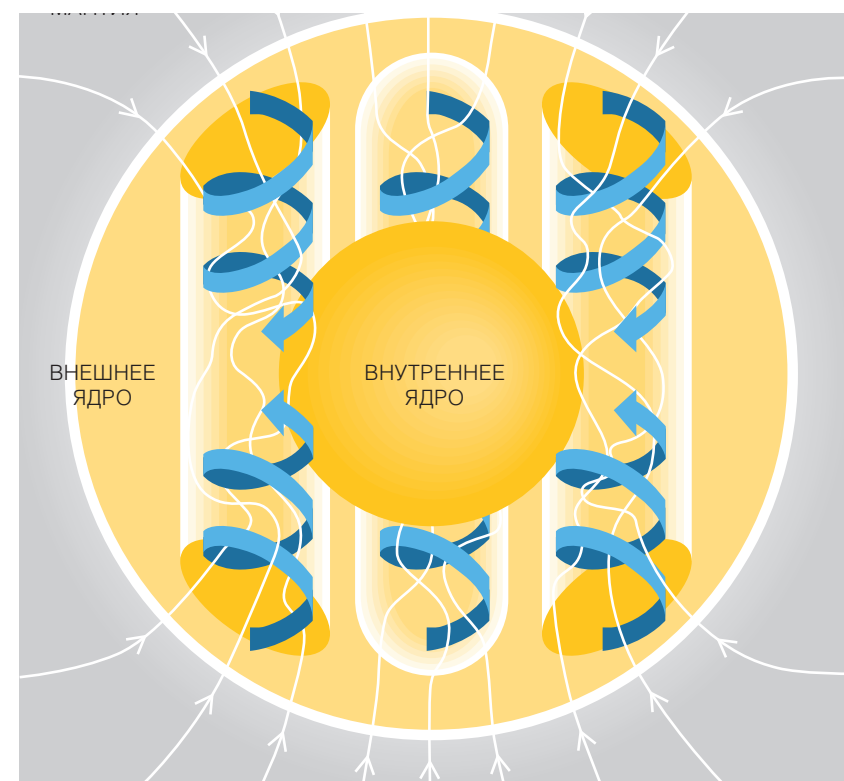
Данные предварительные, окончательные и квазиокончательные

Оперативные магнитограммы, передаваемые обсерваториями сети ИНТЕРМАГНЕТ, имеют статус *предварительных данных*. Они могут содержать техногенные помехи и пропуски, однако доступны пользователям с минимальной задержкой. Магнитограммам, которые прошли сложную и трудоемкую процедуру коррекции и очистки от помех, присваивается статус *окончательных данных*. Подготовка окончательных данных для конкретной обсерватории за один год выполняется в основном вручную и может занимать до двух лет. Для ускорения подготовки очищенных данных несколько лет назад был представлен новый тип магнитограмм — *квазиокончательные данные*. По характеристикам они близки к окончательным, но на их подготовку требуется значительно меньше времени. Квазиокончательные данные формируются непосредственно на магнитных обсерваториях. Их подготовка выполняется специалистами также преимущественно вручную.

Российский АПК объединяет и автоматизирует

Разработанный в ГЦ РАН аппаратно-программный комплекс (АПК) автоматизирует и ускоряет процедуру оперативного сбора магнитограмм от российских обсерваторий и подготовки квазиокончательных и окончательных данных. Это становится возможным благодаря использованию современных алгоритмов, включающих элементы искусственного интеллекта. Большинство операций выполняется в квазиреальном времени, что дает возможность оперативной оценки магнитной активности, необходимой для формирования точных прогнозов. Разработанный АПК представляет собой первую систему, выполняющую подготовку квазиокончательных магнитограмм, а также распознавание и многокритериальную классификацию экстремальных геомагнитных явлений в автоматизированном режиме. Внедрение подобных интеллектуальных систем качественно выделяет российскую сеть обсерваторий по сравнению с мировым уровнем. Ведь на многих обсерваториях ИНТЕРМАГНЕТ и сейчас магнитограммы анализируются вручную, что приводит к существенной задержке (до двух лет) в подготовке окончательных данных.

Другим важным достоинством разработанного АПК является возможность объединения геомагнитных данных из разных источников. Наряду с наземными обсерваториями, глобальное покрытие магнитными измерениями



— Источником магнитного поля Земли в жидком ядре (ось вращения вертикальна и центрирована) (предоставлено Scientific American)

— Визуализация результатов модельных расчетов магнитного поля Земли на сферическом экране

Повышение геомагнитной активности и геомагнитные вариации экстремальной амплитуды могут представлять опасность для многих систем — ЛЭП, трубопроводов, спутников. Мониторинг в режиме реального времени важен для обеспечения технологической безопасности

