



РЕЗЮМЕ

Резюме

1. НТ-2021: виртуальная конференция в смешанном формате

НТ-2021, шестая по счету конференция «ДВЗЯИ: наука и техника», проходила с 28 июня по 2 июля 2021 года. Конференция была посвящена научно-техническим достижениям, представляющим важность для Организации по Договору о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний (ОДВЗЯИ) и ее сети мониторинга, а ее основная цель заключалась в определении возможностей и методов совершенствования мониторинга ядерных испытаний и контроля за соблюдением запрета на их проведение. НТ-2021 стала самой масштабной конференцией за всю историю проведения: в ней приняли участие более 1 600 человек. Было сделано в общей сложности 89 устных презентаций, а также загружены слайд-презентации и видеофайлы к 365 плакатам. Более подробные статистические данные приводятся в Приложении 2 к настоящему докладу.

Конференция проходила в условиях глобальной пандемии COVID-19. Ограничения на поездки и на физическое присутствие обусловили изменение формата. Мероприятие по случаю открытия прошло в смешанном формате: около 200 человек лично присутствовало на церемонии во дворце Хофбург в Вене (Австрия), а для остальных участников в разных странах мира велась онлайн-трансляция. Даже в первый день большинство участвовало в мероприятии дистанционно: техническими средствами для удаленного подключения воспользовались многие докладчики и более 1 000 слушателей. Остальная часть конференции проходила исключительно в виртуальном формате, а помещения Венского международного центра (ВМЦ) служили базой для проведения сессий конференции.

Плакаты были загружены до начала конференции, благодаря чему увеличилось время их демонстрации. Докладчики

участвовали в 10 сессиях в формате «круглого стола». Эти сессии пользовались популярностью: число онлайн-участников некоторых из них превышало 250 человек. Такой способ экспонирования плакатов определенно эффективнее, чем тот, который обычно использовался в прошлом на «нормальных» конференциях с физическим присутствием участников. Хотя личное общение, безусловно, имеет свои преимущества, участники могли взаимодействовать с докладчиками в виртуальных видеозалах и чатах.

Конференция проходила на виртуальной платформе vSnT2021, поддержку которой обеспечивала компания Superevent B.V. Она была доступна всем зарегистрированным пользователям через браузеры, а также через мобильные устройства. В течение недели конференции на этой платформе зарегистрировалось и вошло в систему беспрецедентное число участников — 1 458 человек. Заседания конференции проходили в виртуальных залах заседаний Webex и транслировались в прямом эфире на платформе vSnT2021. Платформа продемонстрировала высокий уровень надежности с технической точки зрения, и во время конференции не возникло никаких серьезных проблем.

Хотя с точки зрения технического обеспечения виртуальная конференция сильно отличалась от конференций предыдущих лет, программа в значительной степени была составлена по примеру успешных конференций НТ, проходивших ранее. Большую часть времени велась прямая трансляция трех потоков видео параллельно, и онлайн-участники могли легко переключаться между заседаниями. Заседания проводились из ВМЦ, в основном сотрудниками ВТС. На каждом заседании работала небольшая группа технической поддержки из трех-четырех человек и группа по контенту, состоящая из организатора сессии и ведущего диалога с аудиторией. Члены всех дискуссионных групп участвовали в дискуссиях онлайн на удаленной основе. Модераторы некоторых панельных дискуссий также находились за пределами ВМЦ. В таких случаях поддержку

to read the full report

для обеспечения беспрепятственного проведения дискуссии оказывал организатор из ВТС, который лично присутствовал в зале заседаний в ВМЦ.

Всем докладчикам было настоятельно рекомендовано загрузить записи своих презентаций до начала конференции. Эти файлы загружались в базу данных Indico, которая использовалась в ходе конференции. Что касается устных презентаций, то в ходе сессий транслировались либо записи, либо выступления в прямом эфире. Переключение между прямым эфиром и записью осуществлялось группами сотрудников ВТС, ответственными за работу с Webex, и проходило бесперебойно, практически без каких-либо технических проблем. Сессии записывались и выкладывались в виде видеороликов на YouTube. В Приложении 1 к настоящему докладу приведена программа конференции со ссылками на записи заседаний на YouTube.

Загруженные файлы устных выступлений и презентаций плакатов — очень ценный ресурс. В настоящем докладе обозначения, которые встречаются в резюме выступлений, работы дискуссионных групп и презентаций, служат гиперссылками на эти загруженные файлы. Это уникальная возможность сохранить знания, особенно в случае с презентациями плакатов, в то время как на предыдущих конференциях, предусматривавших физическое присутствие всех участников, такой возможности не было. Этот элемент формата виртуальной конференции очень важен для сохранения материалов конференции, и настоятельно рекомендуется сохранить его в будущих конференциях НТ, независимо от их формата.

Доля фактически представленных презентаций от количества поданных и принятых тезисов составила около 80 процентов — это больше, чем на конференциях НТ предыдущих лет. Что касается плакатов, то представленными считаются и включаются в настоящий доклад только те, файлы с

которыми были загружены авторами. Это высокий уровень соответствия, особенно учитывая тот факт, что о формате конференции было объявлено только в феврале, через несколько месяцев после окончания срока подачи тезисов.

Хотя мы горячо надеемся, что в будущем конференции НТ будут проводиться в очном формате, есть важные аспекты виртуального формата, которые полезны и заслуживают сохранения. Онлайн-презентации и онлайн-участие в мероприятиях могут позволить участвовать тем, кто не может приехать на конференцию. Таким образом, расширяются возможности для уникальных презентаций на конференции. Благодаря заблаговременной загрузке файлов с плакатами и проведению круглых столов для их обсуждения плакаты демонстрировались гораздо дольше и шире. Также повысилось качество сопроводительных материалов к презентациям: были загружены плакаты и слайд-презентации, записаны выступления и дискуссии. Эти элементы следует сохранить и на конференциях в будущем.

2. День открытия, выступления приглашенных специалистов и основные доклады, панельные дискуссии

Значительная часть содержания конференций НТ основывается на представленных тезисах. Вместе с тем основу НТ-2021 составили выступления приглашенных специалистов и панельные дискуссии. Это важный механизм, позволяющий адресовать ОДВЗЯИ важные вопросы, в том числе те, которые не так хорошо освещены в представленных тезисах. Главными темами НТ-2021 стали два важных события: 25я годовщина открытия Договора для подписания, в рамках обсуждения которой был рассмотрен научно-технические достижения и сформулированы прогнозы будущего развития, и пандемия COVID-19, которая стала для системы мониторинга проверкой на прочность.

to read the full report

Тема 25-й годовщины Договора обсуждалась в день открытия и на некоторых панельных дискуссиях, а также была затронута в ряде выступлений приглашенных специалистов. В главе 2 этого доклада содержится обзор дискуссий, прошедших в день открытия. Полностью приводится вступительное слово Исполнительного секретаря г-на Лассины Зербо на первом заседании, затем описывается церемония открытия и политические выступления, а также модерлируемое обсуждение темы «25 лет ДВЗЯИ: эволюция ДВЗЯИ, Организации и ее технологий и ДВЗЯИ как пример обеспечения научной инклюзивности и сотрудничества». На втором заседании в день открытия Конференции выступил г-н Дмитрий Кузнецов с основным докладом на тему «Искусственный интеллект: что он может изменить в нашей работе, зачем и каким образом»; состоялась панельная дискуссия на тему «Космическая наука и техника на службе глобального устойчивого развития, мира и безопасности» и панельная дискуссия Европейского союза и ОДВЗЯИ на тему «Избавим мир от ядерных испытаний ради молодежи и будущих поколений». В главе 2 также рассматривается вопрос работы с молодежью, особое внимание которому уделялось на протяжении всей Конференции.

В главе 3 резюмируются выступления приглашенных специалистов, посвященные 25й годовщине Договора. Эти выступления представляют большую ценность, поскольку демонстрируют различные взгляды на развитие сети мониторинга за последние 25 лет, в них проводится анализ текущих проблем и даются рекомендации на будущее. Приглашенные специалисты выступали с презентациями по следующим темам:

- [I01-722](#) – «Трудности и достижения мониторинга взрывов при ядерных испытаниях в контексте ДВЗЯИ» (Пол Г. Ричардс)
- [I02-718](#) – «Гидроакустической сети ДВЗЯИ 25 лет» (Мартин Лоуренс)

- [I03-714](#) – «25 лет инфразвукового мониторинга: достижения и новые задачи» (Элизабет Бланк)
- [I04-717](#) – «Сеть радионуклидных станций МСМ: уникальный механизм, потенциал которого не реализован в полной мере» (Андерс Рингбом)
- [Is6-454](#) – «Перспективы машинного обучения для автоматической обработки СГИ-данных» (Христос Сарайотис)
- [Is1-353](#) – «Новые прикладные программы МЦД для экспертного технического анализа СГИ-данных» (Иван Китов)
- [P3.5-507](#) – «Возможно ли дальнейшее совершенствование методов МЦД для спектрального анализа радионуклидных измерений ДВЗЯИ после 25 лет прогрессивного развития?» (Лю Босюэ)
- [Is2-283](#) – «Достижения в обработке гидроакустических сигналов в МЦД за последние два десятилетия и планы на будущее» (Ронан Ле Бра)
- [Is3-381](#) – «Система обработки инфразвуковых данных в МЦД: от истоков до зрелости» (Пьеррик Миалль)
- [Is4-332](#) – «Достижения ВТС ОДВЗЯИ в моделировании атмосферного переноса за последние два десятилетия и планы на будущее» (Йоланта Кусмерчик-Михулец)
- [Is7-604](#) – «Обзор и перспективы методов фильтрации радионуклидных данных для различения сигналов, генерируемых ядерными взрывами, и нормального радиоактивного фона в атмосфере» (Теодор Боуьер)
- [I05-727](#) – «Положение дел с подготовкой к поддержке инспекций на местах» (Петер Лабак)
- [Is5-239](#) – «Разработка первого проекта полного перечня оборудования для использования в ходе инспекций на местах» (Грегор Малих)

to read the full report

Кроме того, были сделаны три основных доклада на темы «Твердая Земля и ее структура», «Океаны и их свойства» и «Атмосфера и ее динамика». В главе 4 представлены резюме следующих выступлений:

- [H1-720](#) – «Получение изображений глубинных недр Земли с помощью сейсмических волн» (Барбара Романович)
- [H2-716](#) – «Совершенствование мониторинга океана путем расширения глобальной сейсмографической сети на морском дне» (Джон Оркатт)
- [H3-715](#) – «Предсказуемость эволюции земной системы и атмосферы: историческая перспектива и будущие вызовы — погода, климат и качество воздуха» (Ги Брассер)

В главе 5 дается обзор технических панельных дискуссий, посвященных 25-й годовщине Договора. Участники дискуссий обсудили проблемы, стоящие перед системой мониторинга, и инновационные пути их решения. Состоялось семь технических панельных дискуссий:

- [J03](#) – «Уроки прежних испытательных ядерных взрывов и значение зафиксированных сигналов для научной базы мониторинга»
- [J04](#) – «Инновации, имеющие значение для ДВЗЯИ: Международная система мониторинга (датчики МСМ)»
- [J05](#) – «Инновации, имеющие значение для ДВЗЯИ: анализ данных в МЦД (потребности, идеи и возможности реализации)»
- [J06](#) – «Перспективы применения технологий контроля в гражданских и научных целях»
- [J07](#) – «Региональные данные для мониторинга

осуществления Договора»

- [J08](#) – «Человек против машины»
- [J09](#) – «Синергетический эффект от использования нескольких систем мониторинга для решения задач по смягчению последствий опасных явлений и глобальных проблем»

Перед началом некоторых технических панельных дискуссий были сделаны вступительные доклады. Перед открытием панельной дискуссии [J06](#) прозвучали доклады [I06-721](#) «Применение данных МСМ в гражданских и научных целях» (Зейнабу Миндауду Сули) и [I06-719](#) «Устойчивое развитие, снижение риска бедствий и режим контроля ОДВЗЯИ» (Оджал Неджмиоглу). Перед началом панельной дискуссии [J08](#) был зачитан вступительный доклад [I08-723](#) «Знания или данные» (Стюарт Расселл). Панельная дискуссия [J09](#) была открыта докладами [I07-529](#) «Использование инфразвуковых данных центрами предупреждения о вулканическом пепле для целей раннего оповещения» (Филипп Эрей), и [I09-742](#) «Готовность к рискам: действительно ли мы все о них знаем?» (Лоретта Ибер-Жирарде).

В главе 5 также приводится краткое содержание двух специальных докладов на тему «Эпоха антропоцена», которые были зачитаны в память об ученом Пауле Крутцене (1933–2021 годы): [I10-749](#) «Множественные обоснования антропоцена: вклад Пауля Крутцена в сохранение планетарных границ» (Хартмут Грассль) и [I10-752](#) «Антропогенные выпадения радионуклидов: маркер начала эпохи антропоцена» (Колин Уотерс). Кроме того, глава 5 содержит резюме панельной дискуссии [J11](#) «Как ученым говорить о неопределенности с политиками и широкой общественностью» и [заседания](#) по Национальным центрам данных.

to read the full report

3. Устные доклады и представление плакатов

Все презентации на НТ-2021, помимо дня открытия, делались онлайн: либо в устной форме, либо в форме представления плакатов. Тезисы этих презентаций представлялись в период с октября 2020 по январь 2021 года, а сборник тезисов НТ-2021 был распространен в виде электронной публикации незадолго до Конференции. Существенная доля (около 80 процентов) принятых тезисов была представлена на конференции. Устные выступления транслировались в прямом эфире онлайн или в записи, плакаты представлялись путем загрузки коротких видеопрезентаций и слайд-презентаций, либо, по желанию докладчиков, — на одном из десяти круглых столов для обсуждения плакатов.

Устные доклады и презентации плакатов относились к одной из пяти тем Конференции:

Тема 1. Земля как сложная система

- T1.1 Атмосфера и ее динамика
- T1.2 Твердая оболочка Земли и ее структура
- T1.3 Океаны и их свойства

Тема 2. Явления и ядерные испытательные полигоны

- T2.1 Характеристика явлений, имеющих значение для Договора
- T2.2 Трудности, связанные с инспекцией на месте
- T2.3 Сейсмоакустические источники в теории и на практике
- T2.4 Радиационный фон и рассеивание радионуклидов в атмосфере и под поверхность Земли
- T2.5 Исторические данные мониторинга ядерных испытаний

Тема 3. Применение технологий и методов контроля

- T3.1 Проектирование систем датчиков и передовые технологии детектирования
- T3.2 Лаборатории, в том числе мобильные и полевые
- T3.3 Платформы для дистанционного зондирования, съемки и сбора данных
- T3.5 Алгоритмы анализа данных
- T3.6 Искусственный интеллект и машинное обучение

Тема 4. Оценка и оптимизация рабочих характеристик

- T4.1 Оценка и мониторинг функционирования системы контроля в целом и ее компонентов
- T4.3 Информационные технологии, системы электроснабжения и другие вспомогательные технологии
- T4.4 Долговечность сети
- T4.5 Устойчивость режима мониторинга ДВЗЯИ, в том числе уроки пандемии COVID-19

Тема 5. ДВЗЯИ в общемировом контексте

- T5.1 Место науки в обсуждении стратегических вопросов и опыт осуществления других соглашений и договоренностей по контролю над вооружениями
- T5.2 Опыт решения вопросов, представляющих глобальный интерес, таких как снижение риска стихийных бедствий, изучение изменения климата и достижение целей в области устойчивого развития, и возможный дополнительный вклад в их решение
- T5.3 Нарращивание потенциала, образование, коммуникации и информирование общественности

Глава 6, посвященная устным докладам и представлению плакатов, — самый большой раздел доклада, составляющий около двух третей его содержания. Она организована в соответствии с темами конференции. По каждой теме приводятся основные вопросы, затронутые в устных

to read the full report

докладах и на представлении плакатов, а также тезисы всех этих презентаций. Каждая ссылка на презентацию в разделе «Основные вопросы» связана с тезисами и базой данных Indico. Как уже говорилось ранее, в настоящем докладе упоминаются только те презентации, которые были представлены на Конференции или сопроводительные материалы для которых были загружены в базу данных Indico для НТ-2021.

Уникальной темой НТ-2021 стала тема 4.5 «Устойчивость режима контроля ДВЗЯИ, включая уроки пандемии COVID-19». Глобальная пандемия, начавшаяся в первые месяцы 2020 года, стала источником существенной нагрузки на многие системы, и режим контроля ДВЗЯИ не стал исключением. В то же время этот кризис оказался важным и полезным испытанием на устойчивость функционирования всех систем в условиях серьезной нагрузки, особенно в том, что касается ограничений на перемещения и поездки. Этот вопрос рассматривался в устных докладах и презентациях плакатов по теме 4.5, а также на отдельной панельной дискуссии ([J02](#)) и двух уникальных специальных мероприятиях ([M1](#), [M2](#)), в рамках которых были представлены соображения, касающиеся станций, НЦД и ВТС. Операторы станций столкнулись с проблемами в области материально-технического обеспечения, увеличением сроков доставки запасных частей, серьезными ограничениями на поездки, трудностями с отправкой радионуклидных проб для обеспечения качества/контроля качества (ОК/КК), задержками запланированных калибровок станций и нестабильным функционированием каналов связи. Ключевое значение для управления сетью имели непрерывная связь, доступность и гибкая поддержка операторов станций.

4. Актуальность для деятельности ОДВЗЯИ и научной базы технологий контроля

В главе 7 дается обзор основных вопросов, которые обсуждались на конференции, причем особое внимание уделяется тем из них, которые могут иметь непосредственное значение для будущей деятельности ОДВЗЯИ и развития научной базы технологий контроля. Эта глава отличается от предыдущих тем, что в ней сводятся воедино вопросы, поднятые в рамках обсуждения различных тем, выступлений приглашенных специалистов и панельных дискуссий. Она организована по темам и имеет следующую структуру:

1. Датчики и измерения
 - радионуклидные технологии
 - сейсмодатчики
 - инфразвук
 - гидроакустические технологии
 - калибровка
2. Системы электроснабжения, обработки данных и связи
3. Техническое обслуживание
4. Оценка и оптимизация рабочих характеристик
5. Устойчивость предусмотренного в ДВЗЯИ режима мониторинга: пандемия COVID-19
6. Распространение сигналов
7. Моделирование атмосферного переноса
8. Радиационный фон
9. Обработка радионуклидных сигналов
10. Обработка сейсмических, гидроакустических и инфразвуковых данных

to read the full report

11. Данные и явления за прошедшие периоды, физические параметры явлений и методы их фильтрации
 - данные о явлениях за прошедшие периоды
 - ядерные испытания, о которых объявляла Корейская Народно-Демократическая Республика
 - физические параметры источников и моделирование источников
 - методы фильтрации и определение параметров явлений
 - взрыв в порту Бейрута в Ливане (4 августа 2020 года)
 - бюллетени и каталоги явлений
12. Инспекции на месте
13. Применение технологий в гражданских и научных целях.

Ниже приводятся выдержки из Главы 7 в качестве примеров ценного материала, представленного на НТ-2021. Ввиду ограниченности объема настоящего резюме многие важные материалы в него не включены. Читателю настоятельно рекомендуется ознакомиться с полным текстом доклада, чтобы в полной мере извлечь пользу из этой ценной подборки презентаций.

Датчики и измерения

Для поддержания высокого уровня эффективности работы ВТС, обеспечения устойчивости сети, а также сохранения и совершенствования возможностей контроля, предусмотренного Договором, крайне важно, чтобы ВТС был осведомлен о новых разработках, касающихся датчиков всех типов. На панельной дискуссии [J04](#) обсуждались датчики нового поколения, которые уже могут иметься на рынке, а

также перспективная работа по поиску новаторских решений. Были рассмотрены следующие темы: сети инфразвуковых датчиков, комбинирование сейсмодатчиков вращательных и линейных движений, гидроакустические гидрофонные станции модульной конструкции, подводные кабели и датчики научного мониторинга и надежных телекоммуникаций (SMART), волоконно-оптические сейсмометры и гидрофоны, а также усовершенствованные концепции радионуклидных станций мониторинга аэрозольных частиц и систем мониторинга благородных газов нового поколения. Вопросы, связанные с датчиками, также рассматривались в рамках специальной темы 3.1 и в презентациях по другим темам.

Радионуклидные технологии

В настоящее время большинство новых датчиков — это датчики, используемые для мониторинга радионуклидов. Близки к внедрению (т. е. проходят калибровку, аттестацию и приемочные испытания) несколько систем нового поколения для измерения концентрации ксенона, которые обладают улучшенной чувствительностью (например, MIKS, Xenon International). Две системы успешно прошли процесс приемки (SAUNA III, SPALAX NG). Первой, в сентябре 2021 года, вскоре после конференции НТ, была введена в эксплуатацию система SAUNA III. На НТ-2021 работа над SPALAX NG и будущие разработки систем детектирования благородных газов были освещены в презентациях [02.4-510](#), [P3.1-512](#) и [P3.2-518](#). В презентации [P3.1-434](#) были рассмотрены результаты испытаний модернизированной системы обнаружения прототипа комплекса MIKS, а в [P3.1-616](#) и [02.4-138](#) — первый этап приемочных испытаний системы Xenon International. Один из приглашенных специалистов в своем выступлении ([I04-717](#)) высказал мнение, что рассмотрение сети как единой измерительной системы откроет возможности для множества улучшений в области как измерений, так и анализа данных. В презентации [P3.1-375](#) были представлены результаты испытаний первой в мире группы детекторов радиоактивных

to read the full report

изотопов ксенона. Система состоит из пяти блоков SAUNA CUBE, расположенных на расстоянии 200–500 км друг от друга.

Технология, используемая для отбора радиоактивных проб аэрозольных частиц, хорошо отработана и надежна, но значительное увеличение объема воздуха требует изменения технологии. В презентации [P3.1-669](#) рассматривалась интеграция электростатического фильтра с RASA 2.0 для отбора радионуклидных проб. В презентации [P3.1-299](#) рассматривались вопросы интеграции автоматизированного пробоотборника воздуха нового поколения Cinderella G2. Презентации [O3.1-316](#) и [P3.1-670](#) посвящены работе над материалами, позволяющими улучшить адсорбцию ксенона, такими как цеолиты с обменными катионами металлов, позволяющие повысить эффективность захвата и очистки.

В презентации [P3.1-303](#) был рассмотрен экспериментальный запуск системы детекторов совпадений для измерения проб аэрозольных частиц на испытательной станции ОДВЗЯИ в Вене. Презентация [P3.1-309](#) была посвящена новому детектору на основе теллурида кадмия-цинка. Значительно повысить достоверность обнаружения радионуклидов в аэрозольных частицах для целей мониторинга ядерных взрывов могут средства измерения гамма-гамма совпадений нового поколения. В презентациях [P3.1-312](#) и [P3.1-187](#) была описана разработка прототипа и соответствующие эксперименты. В презентации [O3.2-482](#) было приведено сравнение рабочих характеристик различных систем детектирования ксенона с высоким и низким разрешением для обнаружения бета-гамма-совпадений. В презентации [P3.1-216](#) освещалась разработка кремниевого бета-элемента, который может использоваться в качестве заменного модуля в системе Xenon International следующего поколения.

Сейсмодатчики

Несколько материалов были посвящены разработкам, касающимся наземных сейсмодатчиков. Презентация [P3.1-180](#) была посвящена сейсмическим датчикам вращательного движения, а основное внимание было уделено метрологическим аспектам в этой развивающейся области. В презентации [P3.1-666](#) был описан волоконно-оптический гироскоп для измерения вращательного движения грунта. В презентации [P2.1-162](#) было предложено использовать специальные портативные датчики вращения для практического применения в сейсмологии, чтобы улучшить разрешение изотропного тензора сейсмического момента путем анализа вращательного движения грунта. Одним из основных источников шума в точной длиннопериодной сейсмометрии являются колебания температуры механических элементов приборов и датчиков. В презентации [P3.1-393](#) для снижения такого шума было предложено использовать точные малогабаритные датчики температуры.

Инфразвуковые датчики

В последние годы разрабатывается все больше недорогих инфразвуковых датчиков. В презентации [P3.1-221](#) описано, как ВТС занимается отслеживанием разработок таких датчиков с целью выявления новых возможностей для системы мониторинга в будущем. В презентации [P3.1-618](#) рассматривался вопрос о включении в сеть инфразвукового мониторинга недорогих цифровых конденсаторных микробарографов. Добавление дополнительных датчиков в инфразвуковую группу повышает ее чувствительность, облегчая обнаружение слабых сигналов и выявление нескольких одновременных разнонаправленных волн. В презентации [P3.1-665](#) было показано, что можно значительно повысить детализацию и чувствительность анализа, осуществляемого группой, за счет увеличения количества

to read the full report

датчиков в группе. В презентации [P3.1-520](#) была представлена система подавления ветровых помех, сконструированная с учетом всех требований и топологических ограничений инфразвуковых станций в сети МСМ.

Гидроакустические технологии

В презентации [P4.4-276](#) дается краткий обзор текущих проектов МСМ, касающихся решений восстановления поврежденных участков, исследований по снижению рисков и мер защиты гидрофонных гидроакустических датчиков. Презентация [P1.3-270](#) была посвящена разработке новой концепции модульной конструкции гидрофонных станций следующего поколения, которая позволяет заменять вышедшие из строя компоненты на месте.

В ходе панельной дискуссии [J04](#) было особо отмечено, что волоконно-оптические технологии, в том числе оптические наклонометры для неглубоких скважин, волоконно-оптические тензометрические датчики и распределенное акустическое зондирование (DAS) имеют большой потенциал. За последнее десятилетие были разработаны методы, использующие лазерные технологии и уже имеющиеся телекоммуникационные кабели для измерения сейсмических, акустических и температурных сигналов с поразительной чувствительностью, в некоторых случаях с субметровым пространственным разрешением, а в других — с использованием кабелей длиной более 100 км. В презентации [O3.1-384](#) были рассмотрены возможности интеграции распределенных волоконно-оптических датчиков в гидроакустические системы МСМ. В презентации [O1.3-705](#) была представлена новая информация о подводных кабелях SMART для наблюдения океана и Земли в планетарном масштабе. В презентации [P3.1-293](#) были сопоставлены данные, полученные в результате наблюдений по технологии DAS с использованием волоконно-оптического подводного кабеля, с данными с гидрофонов, расположенных рядом.

Калибровка

Тема калибровки актуальна для всех технологий. Она особенно важна в контексте глобальной системы мониторинга, в которой данные, поступающие с многочисленных датчиков, сводятся воедино для получения выводов о явлениях. Вопросы калибровки обсуждались в ходе панельной дискуссии [J04](#), участники которой отметили важность прослеживаемости результатов измерений в национальной калибровочной иерархии, обеспечения качества и мониторинга с помощью сравнительных измерений. Было внесено предложение обеспечить единообразие данных, получаемых с датчиков МСМ, с системой единиц СИ и признанными на международном уровне стандартами. В презентации [O4.1-213](#) была описана работа метрологического сообщества по совершенствованию стандартов измерений, обеспечивающих качество данных мониторинга, предусмотренного в ДВЗЯИ. Она направлена на установление более тесных контактов с соответствующими заинтересованными сторонами с целью создания основных стандартов измерения. В рамках описанного проекта также будут установлены требования к эталонным датчикам, которые являются связующим звеном между лабораторными средствами калибровки и полевыми требованиями к прослеживаемости результатов измерений.

В презентации [P3.1-243](#) было представлено разработанное ВТС веб-приложение для калибровки геофизических систем, которое может применяться для всех технологий волновых форм, используемых в МСМ. Презентация [O3.1-467](#) была посвящена внешней системе калибровке, разработка которой близка к завершению. При интеграции внешнего калибровочного устройства с инфразвуковым датчиком последний функционирует как самокалибрующийся датчик. В презентации [P4.1-336](#) была описана система, которая генерирует комплексные аналитические данные о сети, которые используются далее для обеспечения качества. В

to read the full report

презентации [P1.2-631](#) была произведена оценка частотности предполагаемых задержек в представлении данных приборами. Презентация [P3.5-250](#) была посвящена средствам автоматической проверки качества калибровочных файлов для станций радионуклидного мониторинга аэрозольных частиц. В презентации [P3.5-234](#) были рассмотрены измерения для целей контроля качества, которые проводятся для контроля и коррекции изменений коэффициента усиления в детекторах радиоактивного ксенона с использованием калибровочного источника на основе цезия-137. В презентации [P3.5-280](#) был описан метод контроля изменений усиления в бета-гамма-датчиках радиоактивного ксенона. Притом что можно использовать несколько гамма-линий, бета-детектор не позволяет получить четкие пики. Надежных результатов можно добиться путем изучения статистики отсчетов на линии комптоновского рассеяния. В презентации [P3.1-485](#) было продемонстрировано средство производства газообразных радионуклидов для целей обеспечения качества и калибровки. В презентации [P4.1-196](#) был описан метод, позволяющий отслеживать изменение коэффициента усиления в датчиках гамма-излучения. В презентации [P1.3-284](#) был рассмотрен метод улучшения оценки относительного местоположения гидрофонов МСМ. В этой работе было показано, как знание точной позиции каждого гидрофона в тройке гидроакустической станции МСМ позволяет точно локализовать явление путем расчета обратного азимута. Презентация [O3.1-579](#) была посвящена испытанию инновационной системы калибровки инфразвуковых датчиков.

Системы электроснабжения, обработки данных и связи

Для решения задачи поддержания высоких показателей получения данных по всей сети МСМ были спроектированы системы электропитания нового поколения, которые позволяют повысить устойчивость станций МСМ к внезапным отказам. В презентации [O4.3-266](#) были

описаны пять уже разработанных, сертифицированных и прошедших тщательные заводские приемочные испытания стандартизированных прототипов систем электроснабжения для объектов МСМ. Новые системы проходят длительные испытания в полевых условиях. В презентации [O4.3-514](#) была представлена модульная система электропитания, адаптированная для использования в сети МСМ. Все эти системы оснащены собственной ИТ-системой, позволяющей осуществлять непрерывный мониторинг их работоспособности. В презентации [P4.3-329](#) было описано решение для непрерывного снабжения электропитанием сейсмической станции. В презентации [P4.3-653](#) была представлена модель внедрения на станциях МСМ более надежной системы электроснабжения.

За последние несколько лет распространенность облачных вычислений значительно выросла. Использование пакета программного обеспечения «НЦД в коробке» на облачных платформах может расширить возможности НЦД и позволит им активнее пользоваться данными МСМ, поскольку для анализа и извлечения данных будут задействованы облачные ресурсы и тем самым уменьшится количество проблем, связанных с местной пропускной способностью и инфраструктурой ([O4.3-167](#)).

В презентации [P4.3-334](#) был описан новый конфигуратор, разработанный для стандартного интерфейса станции (СИС). Чтобы гарантировать выпуск продуктов в режиме реального времени, обеспечивая защиту и доступность данных в основной базе данных, на серверах и в резервных копиях, и не генерировать при этом ненужный трафик, перегружающий сеть, важна эффективная практика управления базами данных ([P4.3-066](#), [P4.3-140](#)). В презентации [P4.3-570](#) был представлен обзор возможных способов использования информации из системы управления сетью для анализа сбоев в передаче данных с целью выявления их первопричины и определения необходимых

to read the full report

улучшений инфраструктуры. В презентации [P4.3-558](#) были освещены проблемы, возникающие при использовании радиочастотных каналов для внутренней связи на станциях МСМ, регистрирующих волновые формы.

Презентация [P4.3-414](#) была посвящена основным конструктивным изменениям в Системе связи экспертов (ССЭ), которая представляет собой защищенное, доступное через приложение, позволяющее зарегистрированным пользователям из подписавших Договор государств и ВТС получать доступ к официальным документам и другим материалам ОДВЗЯИ. В презентации [P4.3-445](#) был описан проект по созданию нового домена электронной почты для данных контроля на изолированной инфраструктуре. Для систем контроля был выбран домен @ctbto.int.

Техническое обслуживание

Несмотря на COVID-19, показатели получения данных в 2020–2021 годах в среднем по всем технологиям были очень высокими. Проблемы, с которыми предстоит столкнуться в будущем, включают старение сети МСМ, необходимость продолжать работу по формированию и расширению сети сертифицированных станций при прежнем бюджете на техническое обслуживание и сохранение прежней численности штата сотрудников. Группа технического обслуживания МСМ внедрила несколько методов для повышения показателей получения данных ([04.4-528](#)). К их числу относится стандартизация оборудования, улучшение инфраструктуры, оптимизация обеспечения оборудования запасными частями, совершенствование практического технического обучения, повышение качества документации и безопасная транспортировка детекторов на сверхчистых германиевых кристаллах.

Поддержание работоспособности гидрофонной гидроакустической сети МСМ является очень сложной

задачей. В презентации [P4.4-276](#) была представлена краткая информация о текущих проектах МСМ по поддержанию работоспособности за счет разработки и внедрения решений для восстановления поврежденных участков, проведения исследований по снижению рисков и применения защитных мер. Были описаны инновационные модульные конструкторские решения, облегчающие ремонт подводных компонентов и повышающие устойчивость к внешним воздействиям, а также защитные меры для береговой электроники.

Продолжается работа в области диагностического технического обслуживания и мониторинга работоспособности ([P4.4-152](#), [04.4-209](#), [P4.4-382](#)), направленная на обнаружение отказов компонентов и разработку методов профилактического технического обслуживания станций МСМ. В настоящее время ведется разработка моделей для обеспечения понимания данных и динамики работоспособности, а также алгоритмов для интеграции диагностического контроля в анализ данных о работоспособности. Презентации [04.4-135](#) и [P4.4-134](#) были посвящены работе временной сейсмической станции МСМ во время масштабной модернизации сейсмической группы. Создание временной группы, минимальным образом отразившееся на сейсмическом мониторинге во время модернизации и не повлекшее за собой чрезмерных финансовых затрат, оказалось хорошим решением.

Оценка и оптимизация рабочих характеристик

Эксплуатация и поддержание работоспособности глобальной сети систем мониторинга сопряжены с решением весьма сложных задач. Прием и передача непрерывных и сегментированных данных в близком к реальному масштабе времени и последующая обработка и анализ данных должны постоянно отвечать строгим требованиям оперативного получения данных, качества и своевременности. Рабочие

to read the full report

показатели находятся в критической зависимости от таких опорных технологий, как информационные технологии и системы электроснабжения. При оценке и оптимизации рабочих характеристик предусмотренной в ДВЗЯИ системы контроля учитываются такие факторы, как повышение эффективности и экономичности, надежность и безопасность. Презентации по теме 4.1 были посвящены оценке и моделированию рабочих характеристик, но этот вопрос обсуждался также на других заседаниях, панельных дискуссиях и рассматривался приглашенными специалистами в их выступлениях. Пандемия COVID-19 создала беспрецедентные трудности для эксплуатации системы мониторинга. Несмотря на глобальную пандемию, в 2020–2021 годах сохранялись очень высокие показатели получения данных в среднем по всем технологиям.

Участники панельной дискуссии [J04](#) и приглашенный специалист в выступлении [I04-717](#) отметили пользу от применения групп датчиков и увеличения их количества. Что касается инфразвуковых датчиков, то на панельной дискуссии прозвучало мнение, что помочь в замене отдельных датчиков группами может разработка недорогостоящих датчиков/датчиков с низким потреблением энергии. Было также рекомендовано чаще использовать данные вспомогательных станций. Приглашенный докладчик отметил, что в силу короткого периода полураспада соответствующих изотопов необходимо увеличить охват сети применительно к детектированию ксенона. На панельной дискуссии [J04](#) Конференции государств-участников было предложено после вступления Договора в силу увеличить количество систем мониторинга благородных газов с 40 до 80 — это существенно расширит возможности контроля за соблюдением Договора.

В презентации [P4.1-324](#) были представлены последние сведения о ходе осуществления проекта реинжиниринга программного обеспечения МЦД для обработки СГИ-данных.

Цель проекта — создание модернизированного программного обеспечения с открытым кодом для обработки СГИ-данных и повышение сопровождаемости и расширяемости системы. В презентации [P4.1-113](#) была особо отмечена необходимость обновления руководства по обработке СГИ-данных в МЦД, составленного еще в 2002 году. Презентация [O4.1-624](#) была посвящена инновационному подходу к расчету характеристик источников инфразвуковых явлений. Местоположение явлений определяется путем комбинирования байесовского вывода с выборкой по метамодели. В презентации [O4.1-519](#) был представлен стохастический метод полностью автоматизированного расчета оптимального распределения станций в постоянной или временной сейсмической сети. В презентации [P4.1-339](#) была произведена оценка точности местоположения и предполагаемой магнитуды явлений, зарегистрированных сетью МСМ, с использованием данных относительно небольших взрывов. В презентации [O4.1-121](#) была представлена установка-тренажер для моделирования поля излучения (RaFTS), разработанная по инновационной методологии подачи сигналов. В презентации [P3.1-115](#) были рассмотрены рабочие показатели инфразвуковой группы, расположенной в удаленном районе с суровыми климатическими условиями, после существенной модернизации.

Одну из главных возможностей для НЦД провести учения с отработкой расследования по факту обнаружения ядерных взрывов на основе предусмотренного в ДВЗЯИ мониторинга предоставляют учения по оценке готовности НЦД (УГН). В презентации [O4.1-636](#) подробно описан сценарий УГН 2019 года. Представители двух НЦД рассказали о своих расследованиях в презентациях [P4.1-365](#) и [P4.1-613](#). УГН-2019 были проведены с запозданием в связи с переносом очных совещаний НЦД в 2020 и 2021 годах.

to read the full report

Устойчивость режима мониторинга ДВЗЯИ: пандемия COVID-19

Пандемия COVID-19 предоставила операторам станций и сети, а также сотрудникам ВТС возможность проверить уровень своей готовности к преодолению возникающих ограничений и препятствий, связанных с сетью. По итогам кризиса было сделано много выводов, внедрено или находится на стадии внедрения множество решений. Особо были отмечены следующие выводы:

Дистанционное эксплуатирование сетей оказалось практически осуществимым и во многих случаях может быть эффективным. Вместе с тем для обслуживания станций требуется надежная поддержка на местах.

Для обеспечения эффективной эксплуатации и обслуживания станций принципиальное значение имеют совершенствование средств удаленного обслуживания, поиска и устранения неисправностей.

Важное значение для поиска и устранения неисправностей и проведения ремонтов имеет техническая поддержка станций на местах. Необходима надлежащая подготовка местного персонала технической поддержки — это существенно сокращает потребности в посещении станций.

Крайне важно разработать и применять надежные средства связи с местными операторами/операторами станций и всеми сторонами, участвующими в эксплуатации и обслуживании станций. Была подтверждена целесообразность более гибкого подхода к коммуникации с использованием различных каналов связи.

Устойчивость станций к внешним воздействиям обеспечивается в том числе за счет использования качественных датчиков, местных средств хранения данных и минимальных требований по электропитанию. Залогом эффективного обслуживания, особенно при возникновении неисправностей, является надлежащее

обеспечение запасными частями. Это подразумевает наличие удаленных складов запчастей, возможность замены критических компонентов и всестороннее предварительное тестирование запасных частей.

Посещения с целью профилактического обслуживания и эксплуатация с учетом особенностей региональных условий (например, в районах с экстремальными климатическими условиями) сокращают время простоев и количество перебоев в получении данных.

В условиях ограничений на поездки можно использовать возможности дистанционного и электронного обучения и видеонструкции по поиску и устранению неисправностей.

Распространение сигналов

Изучение сред распространения всех представляющих интерес сигналов имеет важное значение для эксплуатации системы мониторинга. Среда распространения (толща земли для сейсмических сигналов, атмосфера для инфразвука и радионуклидов и океаны для гидроакустических сигналов) определяет время приема сигнала датчиками, влияет на силу сигнала и, применительно к волновым формам, изменяет форму сигнала за счет рассеяния. На конференции НТ-2021 были сделаны три основных доклада — о свойствах земных недр ([Н1-720](#)), атмосферы ([Н3-715](#)) и океанов ([Н2-716](#)).

Большинство учреждений, занимающихся мониторингом, чтобы определять местоположение сейсмического явления оперативно или в масштабе времени, близком к реальному, используют быстрые, учитывающие расстояние одномерные (1-D) модели строения земли. В презентации [P1.2-120](#) был представлен пакет программного обеспечения для расчета региональных моделей времени пробега сейсмических волн (RSTT), который учитывает основные воздействия трехмерной структуры земной коры и верхней мантии на региональное время пробега сейсмических волн и при этом обеспечивает высокую скорость расчета (миллисекунды).

to read the full report

МЦД и многие НЦД активно тестировали RSTT, и благодаря их существенному вкладу в эту работу были внесены значительные усовершенствования, прежде всего в модель неопределенности [J05]. Усовершенствования в модель RSST позволят точнее рассчитывать время распространения региональных сигналов.

Технология машинного обучения позволяет эффективно моделировать расчеты времени распространения, что открывает возможности для применения в рабочей системе передовых моделей строения земли [O3.6-118]. В презентации O3.5-119 было предложено проводить единообразные сравнения точности определения местоположения сейсмического события для двумерных и трехмерных моделей скорости распространения, разработанных с помощью различных параметров инверсии и алгоритмов трассировки лучей. В презентации P1.2-369 был представлен метод определения радиальной анизотропии с помощью анализа разницы в скоростях волн Рэлея и Лява. В презентациях O1.2-165 и O1.2-412 были рассмотрены результаты анализа данных по Р-волнам, позволяющие улучшить модели скорости для региона Ближнего Востока. Другие примеры регионального применения RSTT были приведены в презентациях P2.5-086, P2.5-092 и O5.3-072. В презентации P1.2-041 было описано построение континентальной модели скорости распространения поперечных волн (V_s) в литосфере на основе объединенного анализа фонового сейсмического шума и данных землетрясений. В презентации P1.2-368 были представлены результаты бурения горных пород земной коры и проведения активных сейсмических исследований.

В выступлении I03-714 было отмечено, что сложность классификации инфразвуковых сигналов и точного определения местоположения явлений обусловлена неоднородностью и постоянными изменениями атмосферы, равно как и высокой изменчивостью условий окружающей среды в местах мониторинга. Важное значение имеет

изменчивость средних слоев атмосферы. Долговременные наблюдения продемонстрировали наличие пробелов в знаниях, на основе которых создаются модели атмосферы. Волны-помехи в атмосфере могут стать причиной ложного обнаружения явлений. В презентации P1.1-627 была представлена гибридная система, позволяющая вывести модели априорной вероятности при моделировании волновых форм.

Презентация P1.3-490 была посвящена расчетам трехмерного распространения акустического сигнала в стратифицированном океане. В презентации P1.3-526 было продемонстрировано моделирование распространения акустических сигналов в океане с использованием комбинированного метода, основанного на нормальных колебаниях и уравнении параболического типа. В презентации P1.3-408 была особо отмечена необходимость изучения возможных местных и временных изменений скорости распространения звука в океане, которые способны влиять на распространение акустических волн в диапазоне от средних до высоких частот.

Моделирование атмосферного переноса

В силу своего динамизма и изменчивости атмосфера является особо сложной средой. Чтобы связать ряд обнаружений радионуклидов с сейсмическим явлением, требуется производить моделирование атмосферного переноса. В презентации Is4-332 разъяснялось функционирование системы МАП. Действующая система МАП основана на лагранжевой модели рассеивания частиц FLEXPART, и в ней используются общемировые метеорологические данные. Если источник неизвестен, применяется, как правило, метод обратного моделирования. В отдельных случаях, когда местоположение источника известно, производится опережающее моделирование. Благодаря оптимизации FLEXPART и закупке новых серверов МАП в 2019 году

to read the full report

теперь на моделирование затрачивается не более четырех часов. В презентациях [Is4-332](#), [02.4-056](#) и [P2.4-637](#) описаны исследования, проведенные в рамках третьего конкурса по МАП — начатого в ноябре 2019 года международного проекта, цель которого заключалась в изучении фоновых концентраций радиоактивных изотопов ксенона. Реализация модели атмосферы над местностью со сложным рельефом с микроразрешением — крайне непростая задача. В презентациях [01.1-596](#) и [P1.1-650](#) был сделан обзор полевых экспериментов по оценке функционирования таких моделей. Были также рассмотрены различия в параметрах чувствительности при опережающем и обратном моделировании.

Радиационный фон

Принципиально важно, чтобы сигналы, порождаемые ядерными взрывами, можно было отличать от природной и антропогенной радиоактивности в атмосфере. Установлено, что в настоящее время общемировой уровень фоновой концентрации изотопов ксенона превышает значения, рассчитанные 25 лет назад, во время составления Договора; главным образом это обусловлено выбросами ксенона при производстве медицинских изотопов. Наиболее серьезную проблему для выделения сигналов, связанных с ядерными взрывами, из обычного радиационного фона в атмосфере представляет значительное варьирование фона во времени и в различных районах (презентация [Is7-604](#)). Для устранения влияния этих источников может быть целесообразно использовать данные, полученные на известных объектах.

Соотношения изотопов в фоне, как правило, отличаются от соотношений, характерных для ядерного взрыва, однако присутствует неопределенность в интерпретации результатов измерений МСМ. Возможность определять источник гражданских выбросов ксенона повысит эффективность контроля. В презентациях [P2.4-211](#) и [P2.4-078](#)

описывалась система STAX (Source Term Analysis of Xenon — «анализ источника радиоактивных изотопов ксенона») — экспериментальная сеть датчиков, предназначенная для детектирования и количественного анализа выбросов изотопов ксенона при производстве медицинских изотопов и на других ядерных объектах. Презентация [P2.4-206](#) была посвящена измерениям, проводимым для более качественной характеристики выбросов ядерного энергетического реактора. В презентации [02.4-138](#) были представлены сведения о первых обнаружениях в окружающей среде изотопов ^{125}Xe , ^{127}Xe и $^{129\text{m}}\text{Xe}$. В презентации [P2.4-607](#) сообщалось об изучении генерирования радиоактивных изотопов ксенона такими источниками активации, как реакторы или мощные источники вторичных нейтронов. Анализ конкретных примеров указывает на то, что источником обнаруженных в прошлом изотопов ^{133}Xe и ^{135}Xe может быть источник вторичных нейтронов. В презентации [02.4-510](#) был представлен анализ обнаружений радиоактивных изотопов ксенона системой нового поколения SPALAX-NG в 2019 году поблизости от Парижа. Благодаря высокой чувствительности система произвела большое количество обнаружений, в каждом из которых фигурировало несколько изотопов, включая ^{133}Xe , ^{135}Xe и $^{131\text{m}}\text{Xe}$. Результаты МАП показали, что источником выбросов обнаруженных изотопов был как крупный объект во Флёрюсе (Бельгия), так и местный производитель радиоэлементов для медицинских целей. В презентации [02.4-709](#) были представлены два статистических метода, параметрический и непараметрический, применение которых при замерах концентраций ^{133}Xe позволяет получить более полное представление об атмосферном фоне и аномальных значениях. Примеры применения данных методов были приведены в презентациях [02.4-406](#), [P2.4-260](#) и [P2.4-261](#).

to read the full report

Обработка радионуклидных сигналов

Радионуклидный мониторинг МСМ — важный элемент предусмотренного в ДВЗЯИ режима контроля, поскольку он позволяет отличить обычные взрывы от ядерных. Участники панельной дискуссии [J05](#) отметили, что в обработке радионуклидных данных удалось добиться ощутимого прогресса. Теперь можно строить распределение вероятностей в отношении первоначального местоположения выброса и рассчитывать время и мощность выброса на основе фактов обнаружения и необнаружения. Участники сформулировали четыре главные проблемы, требующие решения: 1) как объединить замеры ксенона и аэрозольных частиц; 2) как учитывать радиационный фон; 3) как использовать соотношения изотопов в качестве средства фильтрации; 4) как обеспечить автоматическое формирование перечня ассоциированных замеров — эквивалента ассоциирования волновых форм.

Наиболее серьезную проблему для выделения сигналов, связанных с ядерными взрывами, из обычного радиационного фона в атмосфере представляет значительное варьирование фона во времени и в различных районах (презентация [Is7-604](#)). В некоторых случаях бета-гамма-спектроскопическому анализу радиоактивного ксенона могут создавать помехи выбросы радиоактивных изотопов ксенона, образующихся в результате активации. В презентации [O3.5-456](#) было продемонстрировано, как средствами моделирования проверяется гипотеза о том, что соотношения активностей изотопов могут использоваться для различения активации и деления. Важным индикатором подземного ядерного взрыва является аргон-37. В презентации [P3.5-483](#) был представлен метод оценки выбросов ^{37}Ar из ядерных исследовательских реакторов, основанный на изучении имеющихся данных о содержании в выбросах из дымовых труб подходящего эквивалента, например, изотопа ^{41}Ar .

В презентациях [P3.5-507](#) и [O3.5-573](#) был сделан обзор методов радионуклидного анализа, применяемых в МЦД. Применяемые сейчас методы могут быть усовершенствованы, например, за счет оптимизационного регрессионного анализа стандартных спектров, трехмерного сопоставления пиков и анализа общего числа отсчетов, машинного обучения. В презентации [P3.5-610](#) были предложены научные проекты для дальнейшего совершенствования метода ассоциирования нескольких проб с одним и тем же явлением выброса радионуклидов и метода обратного отслеживания до известных источников. В презентациях [O3.6-225](#) и [P3.6-509](#) для предварительного отбора проб, представляющих интерес с точки зрения ДВЗЯИ, предлагалась модель классификации спектров радиоактивного ксенона по бета-гамма-совпадениям с помощью технологии глубокого обучения (метод сверточной нейронной сети). В презентации [P3.6-516](#) на данных детектора гамма-излучения было продемонстрировано автоматическое обнаружение радионуклидов с использованием глубоких нейросетей. Презентация [P3.5-245](#) была посвящена разработке автоматизированного процесса объединения потоков радионуклидных данных и данных МАП, в котором используются также интерактивные виртуальные карты для быстрого запроса необходимых данных. В презентации [P3.5-026](#) был описан не связанный с наукой о радионуклидах метод классификации радионуклидных спектров в пробах аэрозольных частиц как «предположительно нормальных» или «требующих проверки».

Обработка сейсмических, гидроакустических и инфразвуковых данных

Тематике анализа данных (включая искусственный интеллект и методы машинного обучения) были посвящены основное выступление в день открытия ([G3](#)), две панельные дискуссии ([J05](#), [J08](#)), несколько выступлений приглашенных специалистов ([I01-722](#), [I08-723](#), [Is1-353](#), [Is6-454](#)) и много

to read the full report

устных презентаций и презентаций стендовых докладов, в частности по темам 3.5 и 3.6. В центре внимания дискуссий и презентаций были такие вопросы, как применение технологий машинного обучения и искусственного интеллекта, средства анализа, переход от анализа параметров времени вступления к анализу полной волновой формы, получение более полного представления о неопределенностях, возможности объединения данных в практических целях и новые парадигмы и методы для конвейера обработки данных.

В состав рабочего программного обеспечения МЦД недавно было включено приложение NET-VISA — основанная на законах физики глобальная порождающая сейсмологическая модель. Преимуществам NET-VISA были посвящены выступления специалистов ([I08-723](#), [Is6-454](#)), устная презентация [O3.6-400](#) и презентации стендовых докладов ([P1.1-158](#), [P3.6-651](#), [P4.1-294](#), [P4.1-330](#)). С самого начала приложение NET-VISA разрабатывалось для ассоциирования сейсмических явлений, но теперь оно используется также для работы с данными о гидроакустических ([Is2-283](#)) и инфразвуковых ([Is3-381](#), [P1.1-158](#)) явлениях. Предполагается, что NET-VISA станет основным средством ассоциирования фаз. Одна из новых разработок — программное средство SIG-VISA (презентации [I08-723](#), [Is2-283](#)). SIG-VISA будет анализировать целые волновые формы и дополнительно учитывать при анализе общие очертания волновой формы и скорость затухания коды, наложение сигналов, непрерывную прослеживаемость в пространстве разности между наблюдаемыми и предвычисленными значениями времени пробега, повторяемость волновых форм и другие параметры. Неоднократно обращалось внимание на такой важный момент, как необходимость использовать модели, основанные на законах физики, — тогда важным элементом процесса интерпретации будет объясняемость (панельная дискуссия [J08](#)).

ВТС занимается разработкой, распространением и сопровождением пакета программного обеспечения «НЦД в коробке». Он дает НЦД возможность выполнять широкий диапазон задач, включая прием, архивирование, обработку и анализ данных, поступающих со станций МСМ. В презентации [P3.5-584](#) сообщалось об интеграции детектора, работающего на основе принципа генерализованной F-статистики (Gen-F), в действующую в одном из НЦД систему обнаружения и выделения признаков (DFX). В презентации [P4.1-294](#) были представлены результаты тестирования последней версии пакета, в которой ассоциатор NET-VISA интегрирован с SeisComP3.

В презентации [I01-722](#) обращалось внимание на важный переход в анализе данных — от использования времени вступления к анализу целой волновой формы. Презентация [O3.5-398](#) была посвящена поиску и локализации новых сейсмических явлений путем детектирования волн Lg с помощью перекрестной корреляции; для этого использовались данные разреженной временной сейсмической сети. В презентации [Is1-353](#) были представлены новые возможности применения экспертного технического анализа. Презентация [P3.5-194](#) была посвящена разработке средства полуавтоматической оценки глубины для явлений, происходящих на глубине до 3 км. В презентации [O1.2-277](#) были предложены два дополнительных метода улучшения соотношения «сигнал-шум» и автоматической идентификации когерентных глубинных фаз. Программа Spot Check (презентации [P3.5-355](#), [P3.5-354](#)) работает по принципу перекрестной корреляции волновых форм с использованием данных о явлениях, содержащихся в БПЯ за прошлые периоды. В презентации [P3.5-183](#) была продемонстрирована попытка повысить эффективность перекрестной корреляции волновых форм с использованием метаданных шаблонных явлений и анализа подтверждающих данных от других станций сети. Бесплатное приложение калибровки по коду (Coda Calibration Tool — CCT) представляет собой быструю

to read the full report

и простую в использовании Java-платформу (презентация [P3.5-453](#)), позволяющую получать в три-четыре раза менее вариативные результаты, чем традиционные оценки прямой волны.

Повысить качество автоматически формируемых бюллетеней и снизить рабочую нагрузку аналитиков может автоматическая идентификация повторяющихся сейсмических событий, например афтершоков и рудничных взрывов (презентация [P2.3-356](#)). Программное средство *ArrNet*, основанное на технологии глубоких нейросетей ([P3.6-707](#)), способно достоверно корректировать автоматически выделенные вступления и повышать качество автоматически формируемых перечней явлений, тем самым сокращая время интерактивной проверки.

В отличие от станций с группой сейсмометров, определение обратного азимута для 3-К станций может характеризоваться нестабильностью (презентация [Is6-454](#)). Глубокая нейросеть *VazNet* (презентация [P3.6-706](#)) осуществляет предварительные расчеты азимута по одной станции, сопровождаемые показателем неопределенности. В презентации [O3.5-462](#) приводились доводы в пользу использования всех трех компонентов сейсмогрупп, состоящих полностью из трехкомпонентных сейсмометров, чтобы реализовывать преимущества когерентности горизонтальных компонентов. Хотя для целей контроля ценность представляет любая часть информации, в большей степени реализовать преимущества измерений с помощью нескольких технологий можно за счет объединения данных, т. е. за счет интеграции разрозненных источников данных в единый и всесторонний анализ явлений (презентации [P3.5-476](#), [P3.5-127](#), [O2.3-130](#), [P2.3-116](#), [P2.3-246](#), [P2.3-366](#) и [P3.1-265](#)). Данные волновых форм, как правило, «загрязнены» шумом из различных источников. В презентации [P3.6-124](#) был описан метод удаления сейсмического шума, основанный на использовании обученной модели глубокой сверточной

нейронной сети. Презентация [P3.6-615](#) была посвящена разработке глубокой нейросети нового поколения, которая позволит прогнозировать фоновый уровень инфразвукового шума.

Данные и явления за прошедшие периоды, физические параметры явлений и методы их фильтрации

За 25 лет, что прошли со времени открытия Договора для подписания, было произведено лишь несколько испытательных взрывов. Это выдающийся успех, но при этом валидация средств и методов, используемых в сети мониторинга ОДВЗЯИ, становится непростой задачей. В ходе панельной дискуссии [J03](#) было отмечено, что данные прошлых наблюдений, касающиеся испытательных ядерных взрывов, представляют сейчас большую ценность для проведения реалистичных практических исследований с целью валидации методов, позволяющих идентифицировать источник явления, которое представляет интерес с точки зрения мониторинга соблюдения Договора. Эти данные могут также использоваться для выявления проблем в области мониторинга ядерных взрывов, а также для учебных целей и для проведения учений для НЦД. Необходимо иметь данные за прошлые периоды из максимально большого количества разных регионов и районов с разными геологическими особенностями. Сигналы от испытаний, проведенных в атмосфере, под водой и под землей, должны обязательно сохраняться. Основная часть текущей работы сосредоточена на сейсмических данных, поскольку гидроакустические и инфразвуковые данные за прошлые периоды почти не сохранились, а радионуклидные данные встречаются крайне редко.

В отношении данных за прошлые периоды следует рассмотреть следующие четыре вопроса: 1) необходимость изучить, какие данные имеются, могут быть получены и использованы; 2) просмотр или просмотр/оцифровывание

to read the full report

данных; 3) использование метаданных; 4) предоставление широкой общественности доступа к данным. Одним из способов восстановления информации о неизвестных характеристиках датчиков, зафиксировавших то или иное событие, является калибровка на основе известных механизмов обнаружения явлений. Сравнение данных, полученных датчиками с известными и неизвестными характеристиками, помогает получить представление о неизвестных характеристиках. В презентациях [02.5-298](#) и [P2.5-297](#) был описан каталог сейсмических данных о 47 ядерных испытаниях, проведенных на полигоне Лобнор в период с 1964 по 1996 год. В презентациях [P2.5-594](#) и [P2.5-499](#) были продемонстрированы восстановление и оцифровывание сейсмограмм мирных ядерных взрывов, проведенных Советским Союзом в самых разных геологических условиях и географических районах. Было проверено, можно ли использовать спектральные отношения амплитуд в качестве критерия различимости. Произведенные в прошлом химические взрывы могут служить эталонными явлениями для калибровки региональных сейсмических сетей. Презентация [P2.5-176](#) была посвящена данным о крупных химических взрывах, произведенных в Казахстане в советские времена. Другие данные о прошлых сейсмических событиях были представлены в презентациях [P2.5-086](#) и [P2.5-089](#) (Центральная Азия) и [P2.5-181](#) (Казахстан). В презентации [02.5-481](#) был сделан обзор литературы об атмосферном радионуклидном мониторинге, который охватывает 35 ядерных испытаний, проведенных в период с 1964 по 1996 год. Большинство этих испытаний проводились в атмосфере, однако регистрировались также радиоактивные продукты, источником которых были выбросы от подземных ядерных испытаний.

Корейская Народно-Демократическая Республика провела свое последнее заявленное ядерное испытание в 2017 году, однако анализ данных, связанных с этими испытаниями, продолжается. В презентации [02.1-275](#)

сообщалось об обнаружении гидрофонными станциями МСМ первичных и третичных фаз от этих испытаний. По всей видимости, это первые случаи подобных обнаружений гидрофонными станциями МСМ. В презентации [P2.1-643](#) был дан всесторонний обзор применения МАП при анализе обнаружений радионуклидов, образовавшихся в результате испытаний в Корейской Народно-Демократической Республике. Для двух испытаний (2006 и 2013 годы) были зафиксированы совпадения соотношений изотопов и подходящие атмосферные условия. По двум испытаниям результаты были корректными, но не доказательными: были обнаружены только изотопы ^{133}Xe (январь 2016 года, 2017 год). Еще по двум испытаниям (2009 год и сентябрь 2016 года) не было обнаружено радиоактивных изотопов ксенона, которые могли быть связаны с испытаниями.

В презентации [P2.1-123](#) был описан дискриминантный анализ, в котором одновременно использовались кросс-спектральные соотношения Pg/Lg и Pn/Lg , полученные от станций региона. Аналитики смогли отделить сигналы, связанные с обрушением подземной полости, от совокупности сигналов, связанных с ядерными взрывами. Вместе с тем различие между землетрясениями и обрушением полости носит нечеткий характер. Презентация [P2.1-371](#) была посвящена разработке быстрого автоматизированного метода полной характеристики сейсмического источника, с помощью которого были правильно идентифицированы все ядерные испытания, о которых объявляла Корейская Народно-Демократическая Республика.

Поскольку после некоторых объявленных подземных испытаний радионуклидные сигналы не обнаруживались, важно понимать, какие факторы влияют на подобные выбросы газов и аэрозольных частиц. В презентации [02.4-477](#) были представлены результаты серии мезомасштабных экспериментов, которые проводились с целью получить более полное представление о взаимосвязи между мощностью

to read the full report

источника и параметрами окружающей среды. В презентации [02.1-208](#) рассматривалось влияние процесса образования полости в результате подземного ядерного взрыва на изотопный состав радиоактивного ксенона, присутствующего в выбросе. Рассчитанные в представленном анализе соотношения изотопов сильнее отличаются от гражданского фона, чем соотношения, получаемые в результате применения стандартных идеализированных моделей. Кроме того, рассчитанное в ходе данного детализированного анализа количество испускаемого радиоактивного ксенона меньше количества, прогнозируемого стандартными моделями.

Показатели мощности ядерных взрывов не представляют непосредственного интереса для ОДВЗЯИ, однако интересуют подписавшие Договор государства, поскольку позволяют оценить потенциал сети МСМ. Как сообщалось в презентации [101-722](#), данные прошлых испытаний показывают, что большое количество энергии поглощается разрушающимися породами, которые находятся в непосредственной близости от полости, и широким кольцом прилегающих пород, в пределах которого в результате взрыва происходят неупругие деформации.

Одна из наиболее сложных задач для ОДВЗЯИ заключается в том, чтобы отличить потенциальный ядерный взрыв от огромного количества детектируемых природных и антропогенных явлений. Для этого были разработаны методы фильтрации сигналов, фиксируемых с помощью каждой технологии сети мониторинга. Что касается фильтрации радионуклидных сигналов, то в презентации [1s7-604](#) был сделан обзор методов фильтрации, предназначенных для отделения от обычного радиационного фона атмосферы сигналов, относящихся к ядерным взрывам. В некоторых случаях параметры определяются с ошибками, что приводит к получению ложноположительных результатов. В презентации [P2.3-415](#) был представлен анализ данных, полученных в результате извержения и разрушения вулкана

в 2018 году; они имеют сходство с явлениями, фиксируемыми после ядерных взрывов. Первоначально при разработке для целей фильтраций шкалы магнитуд m_b и критерия « $m_b:Ms$ » главным образом использовались данные об объемных волнах, регистрируемые стандартными короткопериодными сейсмометрами. В настоящее время, когда применяются и короткопериодные, и широкополосные сейсмометры, качество фильтрации явлений можно повысить, изучив варьирование показателей m_b ([P2.3-240](#)).

Для определения источников явлений важное значение имеет информация о тензорах моментов. Расчет тензоров моментов для слабых сейсмических явлений — непростая задача. В презентации [P1.2-659](#) был представлен новый анализ метода инверсии амплитуд Р- и S-волн и метода инверсии полных трехкомпонентных волновых форм в сочетании с полярностью первого вступления. В презентации [1s1-353](#) отмечалось, что при использовании механизма очага в качестве одного из параметров фильтрации важное значение имеет пересечение совокупностей данных, имеющих отношение к землетрясениям и к взрывам. Важным параметром фильтрации явлений является глубина, определение которой — основная задача приложения ParMT. В презентации [01.2-277](#) приводятся характеристики неопределенностей, связанных с телесеismicким определением глубины.

Отдельная дискуссия в рамках этой темы была посвящена результатам анализа сигналов, зафиксированных после трагического взрыва в порту Бейрута в Ливане 4 августа 2020 года. Взрыв породил сейсмические, акустические, инфразвуковые и гидроакустические сигналы, которые распространялись через литосферу, атмосферу и гидросферу. В презентациях сводилась воедино информация, полученная с помощью различных датчиков и технологий предусмотренной в ДВЗЯИ системы мониторинга, с целью оценить мощность явления. Получить точные оценки на

to read the full report

основе сейсмических данных проблематично в связи с неопределенностью, обусловленной наложением сигналов от надземного взрыва на сейсмические волны. Большинство оценок мощности взрыва находилось в диапазоне от 0,5 до 1 кт (презентации [02.1-656](#), [02.1-228](#), [02.1-191](#), [P2.1-195](#), [02.1-290](#), [02.1-656](#), [P2.1-540](#), [P1.1-401](#), [P1.1-137](#), [P1.1-588](#) и [P1.1-672](#)). О ценности комбинирования данных, полученных с помощью разных технологий, свидетельствовало, например, значительное снижение погрешности местоопределения при добавлении одного сейсмического сигнала к инфразвуковым сигналам.

В презентации [P4.1-446](#) был представлен анализ статистики волновых явлений, в большинстве своем относящихся к естественной сейсмичности, данные о которых были обработаны и проанализированы в МЦД за последние 20 лет и ежедневно публиковались в БПЯ с февраля 2000 года. Презентации [01.1-389](#) и [P1.1-399](#) были посвящены всеобъемлющей переработке базы инфразвуковых данных МСМ. Она содержит данные за период с января 2003 года до декабря 2020 года, поступавшие с 53 станций. Гидрофонные станции МСМ передают качественные данные с низким уровнем фона. В презентации [P1.3-402](#) представлены результаты анализа данных за многие годы, обработанных с помощью алгоритма детектирования DTK-PMCC. Презентации [P2.5-086](#) и [P2.5-089](#) посвящены составлению единого сейсмического бюллетеня по Центральной Азии с использованием данных за период 1949–2009 годов. В презентации [P1.2-155](#) было проанализировано, насколько согласуются данные МЦД и Международного сейсмологического центра о магнитудах землетрясений. В выступлении [108-723](#) прозвучало предложение рассмотреть возможность составления бюллетеней, в которых будут указываться различные предположения и вероятности. Докладчик отметил, что политика маркировки явлений должна основываться на понимании «относительных издержек», связанных с ложноположительными и ложноотрицательными результатами.

Инспекции на месте

Компоненту ИНМ в режиме контроля были посвящены два выступления приглашенных специалистов. Вопросы ИНМ обсуждались также в рамках темы 2.2. В презентации [105-727](#) был дан общий обзор существенного прогресса в разработке технических средств ИНМ и их взаимосвязанности. Одним из главных результатов этой работы стал первый проект полного перечня оборудования, предназначенного для использования в ходе ИНМ (презентация [1s5-239](#)). В презентации [P4.4-257](#) были представлены различные этапы разработок, предусмотренные в программе испытаний технологии ИНМ. Другим важным результатом работы за последние 25 лет является программа обучения инспекторов для ИНМ, которые назначаются подписавшими Договор государствами. К настоящему времени проведены три цикла обучения. В презентации [105-727](#) был рассмотрен потенциал использования для целей ИНМ технических достижений и инноваций. К ним относятся завершение разработки имеющихся методов; разработка других методов, например, резонансной сейсмометрии, активной сейсморазведки и бурения; повышение эффективности и результативности ИНМ; разработка технических средств для ИНМ, проводимых не в стандартных условиях окружающей среды и не в отношении подземных явлений.

Главным фактором, способствующим успешному проведению ИНМ, является инфраструктура. Необходимая инфраструктура была создана в штаб-квартире ВТС в Вене (Центр поддержки операций ИНМ) и в Центре TeST в Зайберсдорфе (Австрия), который включает помещение для хранения и обслуживания оборудования для ИНМ. Важную роль играет также полевая инфраструктура. В презентации [P2.2-220](#) описана обновленная концепция и организация работы Центра поддержки операций ИНМ, который является специальным подразделением Центра поддержки операций ОДВЗЯИ. Презентация [P2.2-575](#) была посвящена

to read the full report

сертификации, калибровке и обслуживанию оборудования для ИНМ.

В нескольких презентациях рассматривались методы ИНМ и соответствующие сигнатуры. В презентации [02.1-420](#) был описан новый метод обнаружения полостей, образующихся в результате подземного ядерного взрыва; он основан на измерении спектральной плотности мощности фонового сейсмического шума на конечном интервале. Презентация [03.1-296](#) была посвящена изучению потенциала использования периодических сейсмических наблюдений для определения эпицентра за счет мониторинга динамических явлений, имеющих место после взрыва. В презентации [P3.2-691](#) было дано краткое описание конфигурации и конструкции полевой лаборатории для ИНМ следующего поколения с учетом требований к замерам изотопов ксенона и аргона, имеющих значение для ИНМ. Была также представлена информация об усовершенствованиях полевых систем детектирования ксенона, предназначенных для использования в ходе ИНМ (презентации [P3.2-424](#), [P3.2-518](#)). В презентации [03.2-654](#) были рассмотрены трудности, связанные с замерами ³⁷Ag. Презентация [P2.1-474](#) была посвящена оценке целесообразности использования ³⁹Ag в качестве потенциального долгосрочного индикатора. В презентациях, посвященных обработке изображений ([03.3-117](#), [03.3-085](#), [P3.3-586](#), [P3.3-132](#)), рассматривались характеристики различных оптических и радиолокационных датчиков.

Применение технологий в гражданских и научных целях

В своем выступлении ([I06-721](#)), посвященном применению технологий ДВЗЯИ в гражданских и научных целях, директор Отдела МЦД особо отметил, что основное назначение режима контроля состоит в подтверждении выполнения положений Договора. Вместе с тем в Договоре прямо указывается, что государства-участники могут пользоваться данными МСМ, представляющими большую ценность, для мирных и научных целей. Подготовительная комиссия приняла решение

предоставлять данные для гражданского применения в двух случаях: для оповещения о цунами и реагирования в случае радиологических и ядерных аварийных ситуаций. Прочные связи между научно-техническим сообществом и ОДВЗЯИ способны обеспечить применение в МСМ самых последних технологий и инноваций и гарантированное обнаружение любых ядерных взрывов (панельная дискуссия [J04](#)). С 2011 года ученые и исследователи имеют доступ к данным МСМ через виртуальный центр обработки данных (ВЦОД). Вопросы применения технологий в гражданских и научных целях обсуждались на панельной дискуссии [J06](#) и затрагивались в выступлениях приглашенных специалистов [I06-719](#) и [I09-742](#). Многие устные презентации и презентации стендовых докладов, особенно по теме 5.2, были посвящены возможностям применения технологий ДВЗЯИ для решения таких глобальных задач, как снижение рисков бедствий, исследование климатических изменений и достижение целей Организации Объединенных Наций в области устойчивого развития. В презентациях по темам 1.1, 1.2, 1.3, 2.3 и 5.2 были широко освещены вопросы мониторинга и изучения извержений вулканов и землетрясений.

Помимо ранних оповещений о цунами и международного сотрудничества в случае ядерных и радиологических аварийных ситуаций, очевиден потенциал применения данных МСМ и в других сферах. Например, презентации [P1.1-133](#), [P1.1-588](#), [01.1-457](#), [P2.3-708](#), [P1.1-253](#) и [P5.2-395](#) были посвящены мониторингу недавних извержений вулканов. Результаты исследований демонстрируют важную роль сети МСМ, а также возможности ее дополнения грамотно спроектированными и оптимизированными региональными сетями инфразвуковых станций (презентация [P1.1-264](#)) с целью оповещения населения и уменьшения опасности вулканических извержений (презентации [01.1-536](#) и [P1.1-133](#)). При этом принципиально важно учитывать потенциал междисциплинарных подходов ([I07-529](#)).

to read the full report