

Холод Антарктики ему нипочем

Белорусские физики создали прибор
лазерного зондирования, не имеющий аналогов в мире



Во время 15-й Белорусской антарктической экспедиции отечественный лидар впервые и с успехом испытали в экстремальных полярных условиях. Как полагают эксперты, это очередной и очень серьезный шаг вперед, открывающий принципиально новые возможности для изучения атмосферных процессов, развития климатологии и экологии. В частности, проблем, связанных с трансграничным переносом загрязняющих веществ.

Между небом и землей

В этой истории немало удивительных моментов. Взять хотя бы такой. Впервые отечественный прибор лазерного зондирования, точнее его далекий прообраз, «засветился» в... Бермудском треугольнике. В далеких 1970-х наши ученые-физики участвовали в международной экспедиции и, по свидетельству члена-корреспондента НАН Беларуси Аркадия Иванова, на научно-исследовательском судне «Академик Вернадский» в течение трех месяцев совершили немало рейдов в западную часть Саргассова моря, пережив 9-бальный шторм и тро-

пическую жару. В этих сложных условиях испытали в действии прозрачномеры. Именно так назывались разработанные белорусскими физиками оптические приборы, позволяющие изучить распространение световой волны в водной среде.

Надо сказать, в то время эта тема научных исследований была настолько популярна, что в Институте физики Академии наук БССР построили специальный двухэтажный корпус, в котором первый этаж и подвальную часть отвели под бассейн и систему очистки воды, добываясь, чтобы по чистоте вода была подобна морской. Там ученые проводили эксперименты с лазером. Периодически

выезжали с лазерной аппаратурой на на-рочанские водоемы, чтобы в естествен-ных условиях изучать гидрооптические характеристики светового поля, созда-ваемого лазерным импульсом. На озере Нарочь в 1965 году осуществлены первые в СССР эксперименты по лазерному зондированию воды природных водоемов. Наши физики смогли исследовать с по-мощью лазера даже зарождающийся туман и отслеживали его трансформацию во времени.

Что послужило тому причиной – то ли отсутствие в Беларуси океанов и морей, то ли соображения иного толка, но вскоре от зондирования водной толщи ученые перешли к исследованиям атмосферы. Вместе с коллегами из Москвы и Томска начали проектировать первые в СССР образцы лидарной аппаратуры – приборов для измерения характеристик атмосферных примесей с помощью светового луча. В Институте физики Академии наук БССР атмосферный лидар был построен в 1966 году. С этого времени, собственно, началась новая эра лидарных технологий.

Авангардное научное направление подхвати-ли исследователи во всем мире. В Беларуси же тем временем создали целую серию из 25 лидаров раз-



**Заведующий Центром оптического дистанционного зондирования
Института физики Анатолий Чайковский**

личного назначения для работы в стационарных и мобильных условиях – на автотехнике, самолетах и кораблях. С передовой лазерной техникой белорусские ученые побывали во многих регионах бывшего СССР. В пустынях Средней Азии, на Камчатке и Курильских островах, а также в районах Мирового океана они изучали спектры оптических характеристик и микроструктуры атмосферного аэрозоля. Определяли динамику его вертикальных

**В 2023 году на Белорусской антарктической станции
стартовала программа регулярных лидарных измерений**



Полярник со стажем Владислав Базылевич и сотрудник Института физики Александр Калевич, будущий исследователь Антарктики



профилей, «заглядывая» с помощью лидара в стратосферные слои на высоту 10–35 километров. Не освоенной белорусским лазером оставалась лишь Антарктида с ее экстремальными полярными холодами...

«Слово „лидар“ не зря похоже по смыслу на „радар“».

Почти полстолетия в лидарной тематике исследований заведующий Центром оптического дистанционного зондирования Института физики имени Б.И. Степанова НАН Беларуси кандидат физико-технических наук Анатолий Чайковский – с тех пор, как в 1974 году возглавил группу лазерного зондирования. Авторитетного исследователя мы попросили рассказать о сути лидарного процесса. Со слов ученого, он достаточно прост.

– Слово «лидар» не зря похоже по смыслу на «радар». Только радар работает в диапазоне радиоволн, а лидар посылает в атмосферу короткий световой импульс, – объясняет Анатолий Чайковский. – В различные промежутки времени он засвечивает разные участки пространства порядка 3–10 м. Чем больше временной отрезок, тем удаленнее интересующий нас объект. Рассеянное от него излучение затем отправляется назад к лазеру уже, по сути, с

необходимой исследователю информацией. Если сканировать лучом под разными углами, то сведения об атмосфере будут получены по значительно большему пространству. Оно увеличивается, если прибор находится на перемещающемся носителе – автомобиле, корабле, самолете или космическом аппарате.

Несмотря на кажущуюся простоту, лидарный комплекс высокотехнологичен. Только представьте: расстояние, которое требуется пройти световому лучу, чтобы попасть на изучаемый объект и обратно, он преодолевает со скоростью ни много ни мало 299 792 458 метров в секунду. Белорусские лидарные системы способны генерировать около 20 импульсов в секунду. Каждое из этих измерений прибор зондирования преобразует в трехмерное изображение. Это позволяет, к примеру, определить точную высоту слоя капелек аэрозоля в атмосфере, составить точное представление об их структуре и объеме.

У лазерного зондирования несомненно много достоинств, и ученые Института физики могут об этом говорить бесконечно. Отметим лишь главные. Во-первых, с помощью лидара можно измерить оптические характеристики атмосферы, определяющие радиационный режим, климат Земли. Во-вторых, выявить концентрацию разных газов

естественного и антропогенного происхождения на уровне предельно допустимых концентраций (ПДК) и даже ниже. В-третьих, определить концентрацию и формы частиц аэрозоля. По отраженному свету лазера можно судить о направлении и скорости ветра, плотности воздуха, давления, составить профиль температуры, влажности в разных участках пространства, причем на дальности от 0,1 до 35, для специальных приборов – до 60 километров.

«Лидарная техника будет наиболее эффективна, если на основе измерений в различных регионах мира создать единый банк данных».

Неудивительно, что исследователи сходятся во мнении: изобретение лидаров наряду с появлением его предшественника – лазера, дало толчок к подлинной технической революции в оптическом зондировании атмосферы, открыло широкие возможности для решения амбициозных задач.

Поначалу их применяли в военных целях, в космической и метеорологической сферах. Однако с развитием и удешевлением микроэлектроники ситуация поменялась. Океанографы теперь используют приборы лазерного зондирования для отслеживания береговой эрозии, ботаники – для

измерения меняющейся структуры лесов, географы – для составления подробных карт местности. Мощные лидары, установленные на самолетах, способны составлять карты целых регионов, используя различные методы сканирования. Применяются эти системы и для изучения газового состава атмосферы – летучие вещества в разной степени поглощают отраженный луч, и таким образом возможно высчитать их концентрацию. Есть лидары, как уже упоминалось, на космических аппаратах. Например, на МКС установлена система GEDI, ее с 2018 года используют для исследования лесов. Ученым, в частности, удалось создать уникальную карту высоты лесных массивов по всему миру.

У нас приоритетное внимание уделяют более «приземленным» устройствам – стационарным лидарам для исследования атмосферы. Чтобы их увидеть, что называется, вживую, мы направились в альма-матер лазерных комплексов – Институт физики имени Б.И. Степанова НАН Беларуси, в Центр оптического дистанционного зондирования. Все находящиеся здесь лидары в рабочем состоянии. И весьма

Михаил Король: белорусскому лидару не страшны экстремальные холода Антарктиды





габаритные: до верхней части комплекса рукой не дотянуться. Внешне они схожи, но у каждого свое предназначение.

Вот стационарная лидарная станция «СЛС-УФ». Ее используют для определения концентрации озона в нижнем слое тропосферы, начиная с 0,1 км, и в стратосфере (до 40 км). Как отметил Анатолий Чайковский, из таких комплексов в 1980-е годы Институт физики создал целую серию лидарных станций, из которых выросла международная сеть Обнинск (под Москвой) – Минск – горы Тянь-Шань – Куба. С ее помощью контролировали антропогенные и вулканические загрязнения атмосферы на высоте 10–35 км, появление озоновых дыр.

Наши физики изготавливали лидарные станции и отдельные блоки для России, Китая, Кыргызстана, Польши, Румынии, Болгарии, Португалии. Белорусские лидарные установки и сегодня востребованы за рубежом. Даже, как сообщили нам по секрету, существует определенная очередь на изготовление новейших комплексов.

В 2000 году наша страна принимала участие в создании первой Европейской лидарной сети EARLINET, включавшей лазерные комплексы 12 государств. Полученный опыт позволил минчанам вместе с томскими коллегами перейти к

организации лидарной сети на территории бывшего Советского Союза. И к 2007 году ее создали. CIS-LiNet объединила семь станций: в Минске, Томске, Москве, Владивостоке, Сургуте, в районе озер Байкал и Иссык-Куль. Благодаря усилиям исследователей удалось наладить надежный контроль за загрязнением атмосферы. Сегодня Европейская лидарная сеть объединяет более 40 государств. Беларусь вошла в нее первой из постсоветских стран.

«Наши лидарные комплексы являются одними из лучших в мире».

– Лидарная техника будет наиболее эффективна, если на основе измерений в различных регионах мира создать единый банк данных, – поясняет Анатолий Чайковский. – Когда станции объединены в одну сеть, где осуществлена интеркалибровка приборов и методик, и мониторинг проводится по общим для всех правилам.

Отметим, технологии лазерных измерений, которые предложили ученые Института физики, высоко оценили европейские коллеги. На конкурсной основе белорусы получили право вести научный проект по созданию эталонного комплекса для лидарных сетей.



Участники 15-й Беларускай антарктычнай экспедыцыі. В першым ряду злева –
руководитель Алексей Гайдашов, за ним во втором ряду – Владислав Базылевич

– Наши лидарные комплексы являются одними из лучших в мире, – подчеркивает Анатолий Чайковский. – Они интегрированы в международные лидарные сети. Это позволяет вести постоянный контроль трансграничного переноса загрязнений атмосферы прежде всего для решения региональных и национальных экологических задач.

Многочастотный лидар, работающий в отличие от стандартного аж на семи волнах различной длины, – особая гордость отечественных исследователей. Длительное время такой прибор во всем мире был в единственном экземпляре и находился в Институте физики.

– Может измерять не только концентрацию аэрозоля, но и распределение частиц по размерам, показатель их преломления, – детализирует Анатолий Павлович. – Собственно, многочастотный лидар и сейчас эксклюзивный.

Между небом и землей, а именно на крыше пятого корпуса Института физики несет службу панорамная лидарная станция. Она осуществляет мониторинг воздушного бассейна столицы. Без длительных лабораторных исследований всего за

20–30 минут лидар анализирует состояние воздуха на расстоянии от 0,5 до 10 км, улавливая наличие загрязняющих веществ даже ниже ПДК.

Мой собеседник полагает, что главным направлением лазерного зондирования в обозримом будущем станет создание интегрированной системы мониторинга атмосферы, где тесно переплетутся спутниковые и наземные исследования.

– Лидары активно используются на космических аппаратах. Эксперименты по лазерному зондированию верхних слоев атмосферы из космоса в сочетании с наземным мониторингом дают хорошие результаты, – утверждает Чайковский. – Надеемся, белорусский спутник тоже оснастят нашим лидаром.

Но, собственно, причем тут Антарктида? На ледовом континенте в белорусских антарктических экспедициях побывали, пожалуй, все лидарные комплексы Института физики. В экстремальных условиях они проявили себя по-разному. Взяв во внимание все их плюсы и минусы, ученые создали действительно уникальный прибор лазерного зондирования. Аналогов в мире ему нет.



Будни белорусских полярников

Днем и ночью

Антарктида всегда считалась местом суровой романтики и подвига ради науки. Из-за сложнейших условий пятый континент часто называют «белым Марсом». При рекордных минусовых температурах на крохотных полярных станциях, оторванных от цивилизации, ученые ищут ответы на вопросы, которые ставит перед ними сегодня геология, геомагнитология, гляциология (наука о природных льдах во всех их разновидностях. – *Авт.*).

Опытный полярник, руководитель белорусских антарктических экспедиций Алексей Гайдашов вспоминает, что в 1980-е годы на российской полярной станции «Ленинградская», где ему довелось побывать, исследователи лишь мечтали о лидарах. Но тема, что называется, была на слуху.

В 2007 году на ледовый континент отправилась первая национальная экспедиция из Беларуси. Задача перед нашими полярниками стояла провести геофизические исследования атмосферы. Эта работа проводилась в рамках первой государственной программы по Антарктиде – «Мониторинг полярных районов Земли и обеспечение деятельности арктических и антарктических экспедиций на 2007–2010 годы и на период до 2015 года».



Вместе с учеными в Антарктиду прибыл отечественный опытный образец двухволнового лидарного комплекса. Его вскоре сменил стационарный многоволновой.

– В период первых белорусских антарктических экспедиций это был достаточно громоздкий прибор, в основном с ручным управлением, – рассказывает Алексей Гайдашов. – Размещали лидар в неотопляемом грузовом контейнере, там же с ним приходилось работать.

Алексей Гайдашов говорит, что антарктическая погода крайне переменчива и непредсказуема. Вроде светит солнце и на небе ни облачка, как вдруг



Пингвин полярнику как брат

резко холодает и начинается метель. Ветры на ледовом материке штормовые. Прилетают с «неистовых пятидесятих широт» Южного полушария со скоростью 30–50 м/сек., достигая нередко ураганной силы – до 75 м/сек. При таких порывах даже вездеходы отрывает от земли. Что уже говорить о лидаре, с отдельными узлами которого ввиду экстремальных условий случались проблемы и полярникам приходилось их исправлять.

***«Это „мерседес“ среди лидаров.
Многое в нем совершенно».***

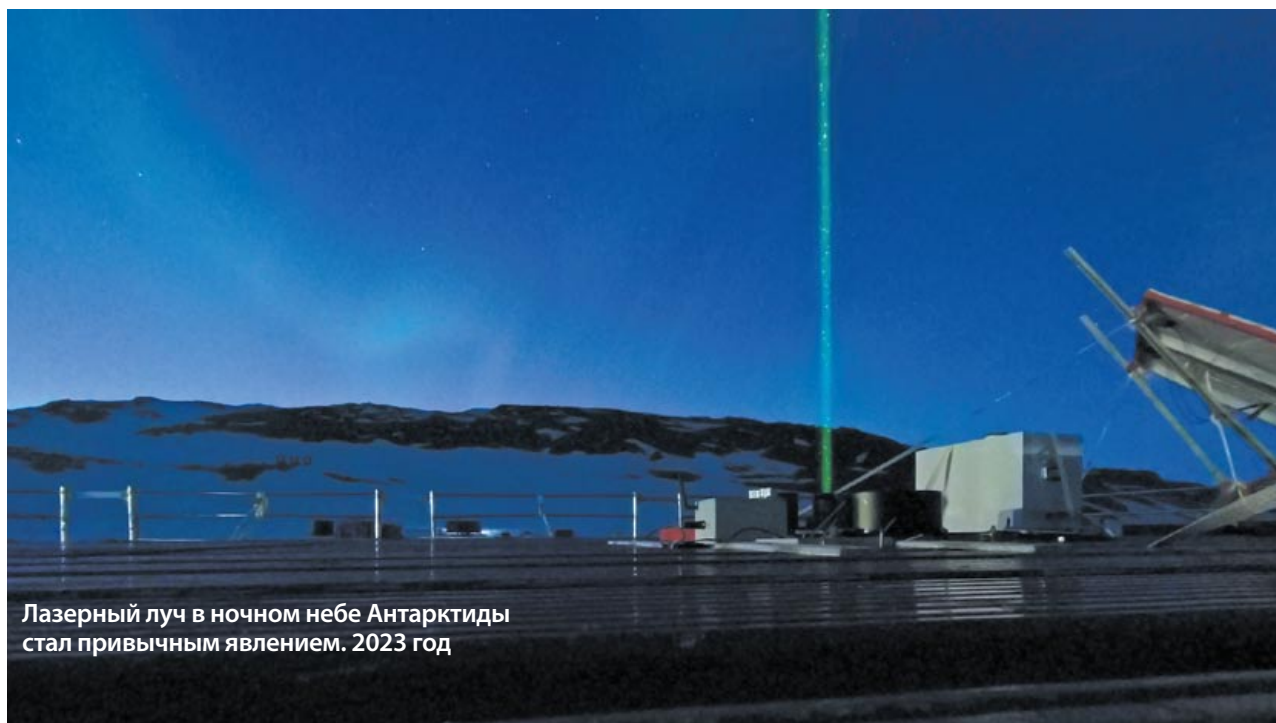
Сотрудник Института физики имени Б.И. Степанова Михаил Король одним из первых начал работать с лидарной техникой в суровой полярной среде. Он неоднократно бывал в белорусских антарктических экспедициях. Проводил исследования атмосферного аэрозоля и озонового слоя.

В 2008 году Институт физики в сотрудничестве с лабораторией оптики атмосферы Лилльского университета (Франция) создал станцию радиометрического зондирования *Vechernaia_Hill* в районе горы Вечерней. К слову, в Антарктиде 13 станций ERONET, но регулярные измерения проводят на пяти.

Новейший лидарный комплекс доставила в Антарктиду недавняя 15-я Белорусская экспедиция. Дорога на континент с 150-килограммовым

прибором показалась полярникам даже чуть полегче, нежели работа на месте, когда нужно было установить его в лаборатории. Чтобы пробраться с ценным лидаром по узким коридорам антарктической станции, пришлось тщательно продумывать маршрут и алгоритм действий. Зато «квартира» для него по-настоящему комфортная. В 2021 году ввели в эксплуатацию первую очередь Белорусской арктической станции, работы продолжаются. Но уже готовы специализированные помещения, в том числе лаборатория физики атмосферы, где и установили станцию лазерного зондирования. Предусмотрели, чтобы температура в помещении не опускалась ниже пятнадцати градусов, бесперебойное энергообеспечение. С учетом того, что прибор потребляет прилично электроэнергии во время работы, вторая задача не такая простая, как может показаться. Пришлось также соблюсти еще ряд условий, чтобы лидарная станция трудилась с максимальной эффективностью.

Молодой инженер-радиометрист, научный сотрудник Центра оптического дистанционного зондирования Института физики Владислав Базылевич первым испытал новый лазерный аппарат в условиях Антарктиды. Несмотря на возраст, он в общем-то опытный полярник, за его плечами три сезонные экспедиции, а впервые отправился на ледовый континент в 23 года.



Лазерный луч в ночном небе Антарктиды стал привычным явлением. 2023 год

– Это «мерседес» среди лидаров, – восхищается Владислав. – Много в нем совершенно. Обычно лазеру при работе необходимо водяное охлаждение, а вода при температурах Антарктики может замерзнуть. Но твердотельному лазеру, который здесь установлен, оно не требуется. Фильтры, диафрагму оптики раньше приходилось менять вручную. Сейчас это происходит в автоматическом режиме. Все в нашем атмосферном лидаре продумано. Как тут не восхититься?!

Владислав вспоминает свое волнение, которое испытывал перед экспедицией. Даже устроил для себя специальный «тест-драйв», стараясь предусмотреть возможные неполадки, до тонкостей изучая устройство и принцип работы прибора. Как оказалось, такая тщательная и ответственная подготовка не была напрасной. Буквально через три-четыре дня после прибытия судна в Антарктиду лидарный комплекс на белорусской станции заработал, и ученый приступил к измерениям, во многом уникальным.

– Прибор может работать и днем, и ночью, – продолжает Владислав. – Главное условие – отсутствие помех в виде облачности. Автоматический режим и хорошее программное обеспечение – большое подспорье.

– Во время нынешней экспедиции чистая, безоблачная атмосфера частенько бывала поздно вечером, – дополняет Алексей Гайдашов. – По каким-то производственным задачам приходилось иногда вставать полярной ночью, и я с удовольствием наблюдал, как из крыши лабораторно-жилого модуля, рассекая ярким лучом ночное небо, уходит в ледяную безбрежность импульс нашего лидара.

В разработке современных лидарных комплексов белорусские ученые сделали огромный шаг вперед, полагает молодой полярник. То, что было еще каких-то лет 10–15 назад, не сопоставить с се-

БЕЛОРУССКИЕ АНТАРКТИЧЕСКИЕ ЭКСПЕДИЦИИ



С 2006 года Беларусь проводит самостоятельные научные исследования в Антарктиде, организуются регулярные антарктические экспедиции.

В 2015 ГОДУ НАЧАТО СТРОИТЕЛЬСТВО БЕЛОРУССКОЙ АНТАРКТИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ (БАС) «ГОРА ВЕЧЕРНЯЯ».

Термометр
Станция способна выдержать температуру до минус 60 градусов и порывы ветра до 80 м/с.

Толщина стен
Толщина стен станции из негорючего пенополиуретана – 100 мм.

15-Я БЕЛОРУССКАЯ АНТАРКТИЧЕСКАЯ ЭКСПЕДИЦИЯ

- Стартовала в октябре 2022 года и завершилась в июне 2023 года.
- В состав экспедиции вошло 12 человек под руководством А. Гайдашова.
- В рамках экспедиции реализованы семь научных программ.
- Проведен уникальный внутриконтинентальный поход в ранее не изученный район материковой части Антарктиды: удаление от полевого лагеря составило 200 км.

ИНТЕРЕСНЫЕ ФАКТЫ

- В Антарктиде работают 54 страны мира, включая Беларусь.
- Начало участия белорусских специалистов в исследованиях Антарктиды – 1950-е годы (в рамках советских экспедиций).
- В целях проведения научных антарктических исследований в 2006 году в Беларуси принята первая госпрограмма.
- Сегодня научные исследования ледового континента реализуются в рамках подпрограммы «Развитие деятельности белорусской антарктической станции» государственной программы «Научно-инновационная деятельность Национальной академии наук Беларуси» на 2021–2025 годы

© Инфографика БЕЛАТА

годняшними реалиями. Это как сравнивать работу с тяпкой в огороде и вспашку земли беспилотным трактором. Новейший лидар для измерений атмосферы, которому нипочем даже лютый холод Антарктики, – убедительное тому доказательство. Отечественная разработка, не имеющая аналогов в мире, еще раз показала, каких высот может достичь не только лазерный луч, но и научная мысль.

Снежана МИХАЙЛОВСКАЯ,
*Фото Кристины АКСЁНОВОЙ, из архивов
Алексея ГАЙДАШОВА и Владислава БАЗЫЛЕВИЧА*

■ Проект создан за счет средств целевого сбора на производство национального контента