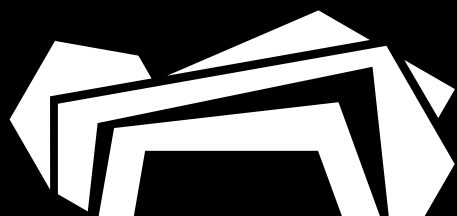


СИРИУС (ЖУРНАЛ

№ 12 | 2025

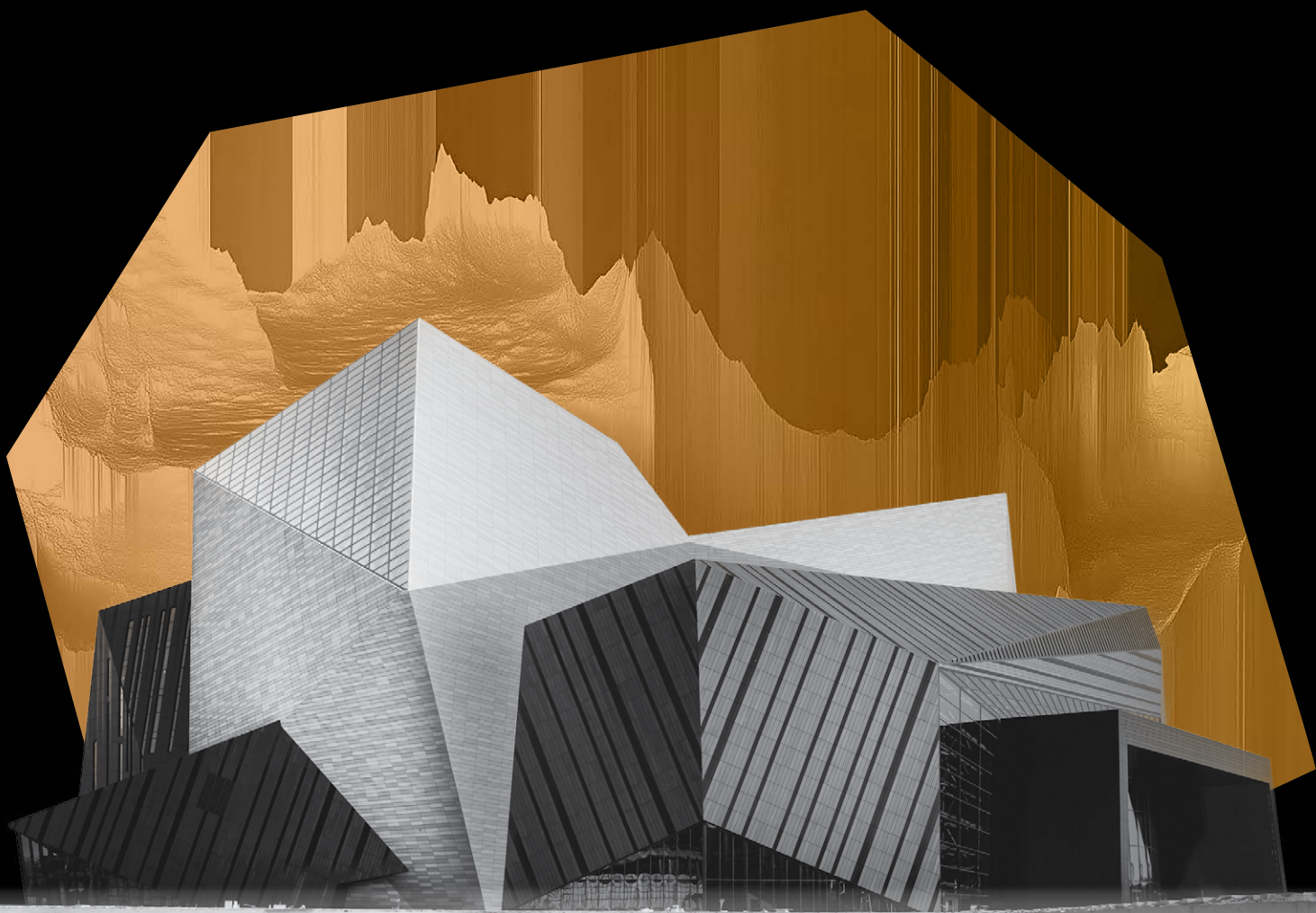
ПОЧЕМУ КЛИМАТ МЕНЯЕТСЯ ПОД ВЛИЯНИЕМ ЧЕЛОВЕКА?





Сириус
концертный
центр

ВЕРШИНА МУЗЫКИ И АРХИТЕКТУРЫ



CONCERT.SIRIUS.RU

6+

Образовательный Фонд «Талант и успех», ОГРН 1147700000172,
РФ, 354340, федеральная территория «Сириус», Олимпийский проспект, д. 40

реклама

№ 12 | 2025

ФОНД «ТАЛАНТ И УСПЕХ»
«СИРИУС.ЖУРНАЛ»
 № 12 / 2025

И. О. ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА:
 Максим Климов

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:
 Яна Алябьева, Мария Анучина,
 Александра Васильева,
 Армен Газанчян, Ольга Канищева,
 Екатерина Козаченко,
 Элина Стоянова

**В ПОДГОТОВКЕ НОМЕРА
 УЧАСТВОВАЛИ:**
 Евгения Алексеева, Мария
 Алисова, Игорь Павловский,
 Григорий Студнев

ФОТО:
 Олеся Богоцкая, Виктория
 Гололобова, Ольга Ельсукова,
 Алёна Енченко, Денис Пискарев,
 Юрий Славин, Варвара Слива,
 Александр Ушков, Евгений
 Эргардт, Ярослав Яровой

ИСТОЧНИКИ ФОТО:
 Shutterstock, ТАСС, Freepik,
 ФГБУН ФИЦ «Институт биологии
 южных морей имени
 А.О. Ковалевского РАН»,
 «Наследие С. М. Прокудина-
 Горского»

АДРЕС РЕДАКЦИИ:

354340, Краснодарский край,
 федеральная территория «Сириус»,
 Олимпийский пр-т, д. 1
 Тел.: 8 (800) 100-76-63, доб. 4366
<https://siriusmag.ru>
 E-mail: mag@sochisirius.ru

**СВИДЕТЕЛЬСТВО
О РЕГИСТРАЦИИ:**

ПИ № ФС 77-84376,
 выдано Федеральной службой
 по надзору в сфере связи,
 информационных технологий
 и массовых коммуникаций

ИЗДАТЕЛЬ:

Фонд «Талант и успех»
 354340, Краснодарский край,
 федеральная территория «Сириус»,
 Олимпийский пр-т, д. 40

УЧРЕДИТЕЛЬ СМИ:

© ФОНД «ТАЛАНТ И УСПЕХ», 2025



ПЕРИОДИЧНОСТЬ:
 один раз в квартал

**РАСПРОСТРАНЯЕТСЯ
 БЕСПЛАТНО**

ПОДПИСАНО В ПЕЧАТЬ
 00.00.2025
 Формат 220x290 мм,
 усл. печ. л. 7,56
 Тираж 4 000 экз. Заказ № 3 062

ОТПЕЧАТАНО В ТИПОГРАФИИ
 ООО «Сочи-Пресс», г. Сочи,
 пер. Виноградный, д. 15а,
 тел. +7 (862) 296-08-08





ПРИНИМАТЬ
ВЗВЕШЕННЫЕ
СТРАТЕГИЧЕСКИЕ
РЕШЕНИЯ,
КАСАЮЩИЕСЯ
КЛИМАТИЧЕСКИХ
ИЗМЕНЕНИЙ, МОЖНО,
ЛИШЬ ЧУВСТВУЯ ПОД
НОГАМИ ТВЁРДУЮ
НАУЧНУЮ ОСНОВУ.
БЕЗ НЕЁ НЕВОЗМОЖНО
ДОСТИЧЬ КЛЮЧЕВЫХ
ЦЕЛЕЙ НАЦИОНАЛЬНОЙ
ПОЛИТИКИ В ЭТОЙ
ОБЛАСТИ.

Одна из главных её целей — научно-технологический суверенитет России. Он невозможен без передовой научной школы и собственной инструментальной и инфраструктурной базы, способной производить международно признаваемые данные о состоянии климатической системы и экосистем, потоках парниковых газов. Достижение этой цели требует создания сети высокотехнологичных станций мониторинга, развития школы национального климатического моделирования, а также подготовки нового поколения учёных и инженеров, способных работать с междисциплинарными вызовами в области изучения климата.

Без научной базы не создать и эффективные системы адаптации к климатическим изменениям, учитывая

высокую пространственную дифференциацию соответствующих рисков в нашей стране. Кроме того, на основе объективных данных, верифицированных зарубежными научными партнёрами, Россия сможет адаптироваться к ключевым мерам торгового регулирования, например к СВМ (о ней мы рассказывали в первой части тематического номера), добиваться справедливого учёта поглощающей способности своих экосистем и продвигать свои подходы в области климатической политики. Ключевыми элементами становятся создание и развитие российской международно признанной системы верификации углеродных единиц. Это позволит отечественным компаниям избежать многомиллиардных затрат на покупку зарубежных квот и обеспечит им конкурентоспособность на глобальных рынках.

Именно с этой целью — формирования научной базы для принятия значимых решений в области климата — и создавалась Единая национальная система мониторинга климатически активных веществ. Это важнейший инновационный проект государственного значения (ВИП ГЗ). Его разработкой занимались шесть специально созданных консорциумов научных институтов: «Земная система: моделирование и прогноз», «Океан: мониторинг и адаптация», «Суша: мониторинг и адаптация», «Углерод в экосистемах: мониторинг», «Экономика климата», «Антропогенные выбросы: кадастр». А на Международный научный центр в области экологии и вопросов изменения климата Университета «Сириус» по поручению Президента России возложили функции по экспертному сопровождению этой комплексной программы. Мы проанализировали результаты работы коллег и собрали предложения по совершенствованию подходов к управлению Российской системой климатического мониторинга.

ВИП ГЗ — уникальный проект, который стал первым примером системного взаимодействия научных институтов и органов власти при решении научно-практических задач национального масштаба. Полученные при его реализации результаты, безусловно, будут использованы в дальнейшем для развития научной основы российской климатической политики. Функции по экспертному сопровождению стратегических инициатив Президента России в области изучения климата позволили Научно-технологическому университету «Сириус» перейти на качественно новый этап развития климатического направления и объединить вокруг федеральной территории ведущих российских и международных экспертов в этой сфере. Благодаря высокой концентрации интеллектуального потенциала, современной высокотехнологичной инфраструктуре и стратегическому сотрудничеству с ведущими академическими институтами и отраслевыми партнёрами Сириус выстраивает уникальную среду для разработки, внедрения и масштабирования передовых решений в области климатического мониторинга, управления углеродным балансом территории (в том числе через создание комплексной водно-зелёной инфраструктуры) и реализации природных климатических проектов, а также для адаптации к происходящим и прогнозируемым изменениям климата. Об этом пойдёт речь во второй части тематического номера «Сириус(Журнала)».

Отдельно хотелось бы сказать о работе, которую учёные Университета ведут на федеральной территории и в прилегающих районах. Возможно, слова «природная лаборатория под открытым небом» покажутся банальными, но Сириус — действительно пример уникального геоэкологического полигона, который притягивает учёных из разных областей наук об окружающей среде. Например, сейчас здесь создаётся комплексная система

мониторинга и предупреждения геоопасностей, в том числе землетрясений. Для этого сотрудники нашего Центра устанавливают в разных местах Сириуса и Сочи сейсмографы и приборы для спутниковой геодезии. Кроме того, мои коллеги отправляются в морские экспедиции для изучения метанового газовыделения, анализируют природное и антропогенное загрязнение горных рек черноморского побережья, формулируют правильный подход к интродукции новых видов растений, используемых для озеленения российских субтропиков. Подробнее обо всём вы узнаете, прочитав этот номер. Также коснёмся темы подготовки нового поколения профессионалов в области изучения природной среды. В части того, кто такие геоэкологи и как их готовят в Университете «Сириус». Другая статья будет посвящена новым подходам в архитектуре и градостроительстве на фоне меняющихся условий окружающей среды, а также некогда популярной концепции города-сада и тому, как её можно было бы реализовать сегодня.

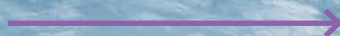
Темой отдельного материала стали климатические модели. Объясняем, как они появились, какие сегодня используются чаще всего, в чём их достоинства и недостатки. А ещё затрагиваем актуальную тему искусственного интеллекта и объясняем, почему при всех его плюсах он не стал универсальным средством прогнозирования климата. В завершение обсудим с моей коллегой Екатериной Филимоненко главные вопросы, которые были подняты в обоих тематических номерах, поговорим на ключевые темы российской климатической повестки.

Елена Гершелис,
исполнительный директор
Международного научного центра
в области экологии и вопросов
изменения климата Университета
«Сириус»



КАК ПРОГНОЗИРУЮТ КЛИМАТ:

ОТ ПЕРВЫХ МОДЕЛЕЙ
ДО НЕЙРОСЕТЕЙ



ЕСЛИ ТЕМПЫ ИЗМЕНЕНИЯ ГЛОБАЛЬНОГО КЛИМАТА НЕ УДАСТСЯ СДЕРЖАТЬ, ЧТО НАС ЖДЁТ ТОГДА?

Специалисты сходятся во мнении, что изменения коснутся всех регионов планеты, но детали их прогнозов зачастую разнятся. Так, один из наиболее обсуждаемых сценариев — ослабление Атлантической меридиональной циркуляции — крупной системы океанических течений, к которой относится и Гольфстрим. Часть исследований указывает, что эта система может значительно ослабнуть уже к концу этого века, что приведёт к резким и порой противоположным эффектам — к усилению потепления в тропиках и к похолоданию в Европе. Другие научные работы демонстрируют малую вероятность коллапса в ближайшие десятилетия и подчёркивают неопределённости в вычислительных моделях. Результаты численного моделирования — основа современных климатических прогнозов. Сложные уравнения описывают процессы в атмосфере, океане, биосфере. Всё активнее применяются методы машинного обучения, которые помогают выявлять закономерности в больших массивах наблюдений и уточнять сценарии будущих изменений. Расскажем о том, как устроены климатические модели, об их сильных и слабых сторонах. А ещё вместе с экспертами поразмышляем об эффективности использования ИИ в прогнозировании долгосрочных изменений окружающей среды.





В 2021 году
за свои научные
достижения Сюкуро
Манабэ получил
Нобелевскую
премию по физике

Модель для подражания

В конце 1960-х годов американский климатолог японского происхождения Сюкуро Манабэ создал упрощённую математическую модель, которая демонстрирует, как концентрация парниковых газов влияет на температуру воздуха. Учёный пришёл к выводу, что удвоение содержания CO_2 в атмосфере приведёт к повышению средней глобальной температуры примерно на два градуса по Цельсию. Современные климатические модели подтверждают этот результат. Именно показатель в 2°C стал ориентиром для мирового сообщества в стремлении замедлить глобальное потепление и удержать рост средней температуры у поверхности Земли в пределах этого порога.

В 1967 году Манабэ совместно с метеорологом Ричардом Везеральдом опубликовал статью, которую сегодня называют первым достоверным

научным описанием глобального изменения климата. С тех пор она была процитирована более 2 500 раз. А в 1975 году его разработки легли в основу первой трёхмерной климатической модели, способной воспроизводить процессы глобального потепления. Она стала предшественницей современных климатических моделей — системной основы прогнозов, на которых сегодня строятся все ключевые сценарии будущего климата.

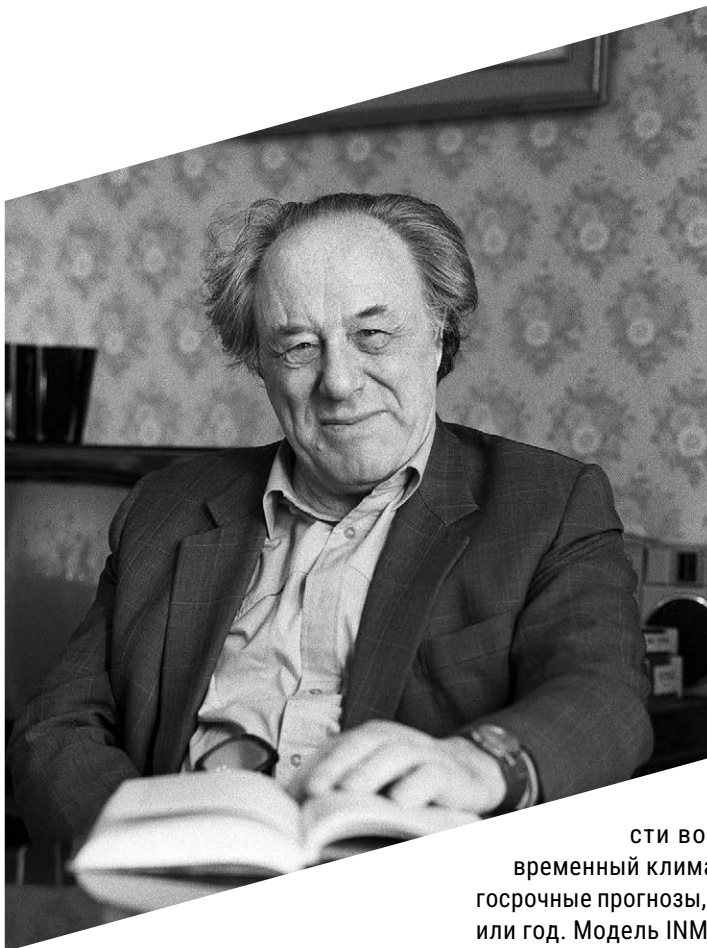
Сюкуро Манабэ предложил революционную идею — использовать численное моделирование для прогнозирования влияния атмосферных условий на температуру поверхности Земли. Но даже такие прогрессивные для своего времени модели, конечно, имели ограничения. Они опирались на небольшие массивы данных, потому упрощали многие процессы — от турбулентной динамики атмосферы до влияния облачности. С развитием технологий численного моделирования, появлением специальных компьютеров и спутниковых систем наблюдений такие программы становились сложнее и точнее.



Параллельно с США климатическое моделирование активно развивал Советский Союз — один из мировых лидеров в этой области. Всё началось с разработки совместной модели общей циркуляции атмосферы и океана, которой занимался Вычислительный центр Сибирского отделения Академии наук СССР. Там под руководством академика Гурия Марчука вслед за Манабэ была разработана трёхмерная климатическая модель, учитывающая энерго- и массообмен между океаном и атмосферой. Важную роль в формировании методологической базы сыграл и академик Никита Моисеев. Его внимание было сфокусировано на проблемах совместной эволюции природы и человеческого общества, где состояние биосферы, климатические изменения и антропогенная

↑
Благодаря анализу антарктических ледяных кернов удалось выяснить, что современная концентрация CO_2 в атмосфере (больше 420 частей на миллион) — это максимальное значение за последние 800 тыс. лет (как минимум)

деятельность образуют единую динамическую систему. Моисеев занимался математическими моделями, которые связывали циркуляцию атмосферы и океана с биогеохимическими циклами — прежде всего, с углеродным. Эти модели позволяли не только описывать изменения климата, но и изучать реакцию биосферы на разнообразные события — от загрязнения до масштабных катастроф.



«Ядерная зима»

Никита Моисеев и его коллеги первыми количественно описали последствия полномасштабной ядерной войны — «ядерной зимы». Их расчёты показали, что в результате полномасштабного конфликта с использованием десятков атомных бомб взрывы поднимут огромные массы пепла, дыма и сажи на высоту до 20–30 км. Это спровоцирует по всему миру длительное похолодание, местами со снижением температуры на 15–20 °С.

Созданные советскими учёными климатические модели были усовершенствованы и сегодня входят в число лучших. Например, INM-СМ, которую разработали в Институте вычислительной математики РАН. Эта симуляция участвует в международном проекте CMIP, где сравниваются и тестируются ведущие климатические модели мира. Последние версии, INM-СМ4 и INM-СМ5, вошли в Шестой оценочный доклад IPCC (2021), что является признанием высокого научного уровня российской школы климатического моделирования.

«Абсолютного лидера в семействе климатических моделей найти сложно: по каким-то параметрам лучшей является одна модель, по другим — другая. Нынешняя версия нашей климатической модели (INM-СМ6М) точнее всех воспроизводит наблюдаемые изменения приземной температуры на Европейской территории России. Для Западно-Европейского региона лучшей по этому критерию является модель института Макса Планка (MPI-ESM-HR). Конкурентоспособность отечественной модели заключается

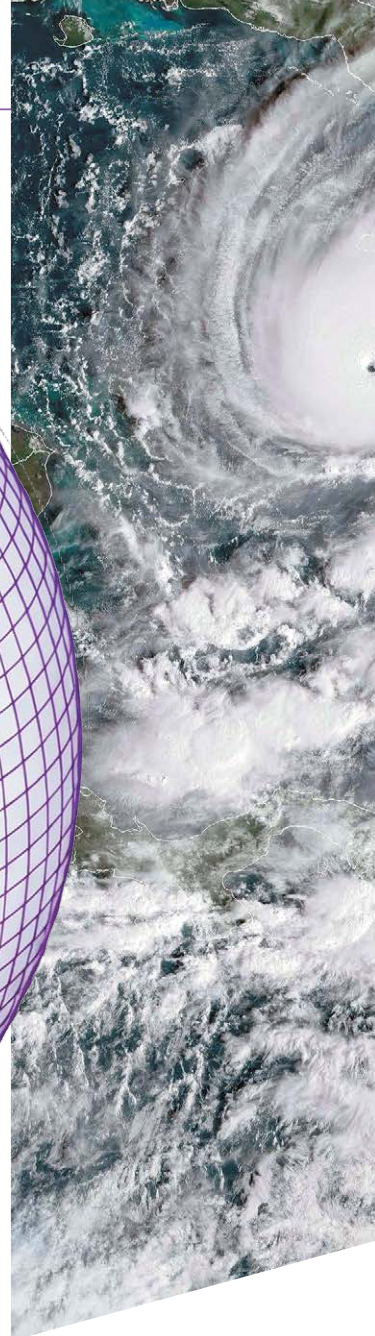
не только в способности воспроизводить современный климат, но и давать долгосрочные прогнозы, например на сезон или год. Модель INM-СМ используется в оперативной практике Росгидромета по сезонному и сверхдолгосрочному прогнозу», — говорит заместитель директора Института вычислительной математики им. Г. И. Марчука РАН Андрей Грицун.

Симуляторы климата

Климатические модели — это системы дифференциальных уравнений, основанных на базовых законах физики и химии. При их разработке на поверхность и нижние слои атмосферы Земли накладывают виртуальную решётку, и для каждой её ячейки делается расчёт, а также оценивается влияние на неё соседних «кубиков».

Гурий Марчук





Климат с точки зрения математики (климатологи определяют его как режим погоды, характерный для конкретной местности в течение 30 лет. — Прим. ред.) принято определять как статистический ансамбль состояний, принимаемый климатической системой за достаточно большой интервал времени, в пределе бесконечный. В общем случае под этим ансамблем понимается не только множество состояний, но и некоторая вероятностная мера, заданная на этом множестве и определяющая вероятность того, что система может находиться на некотором подмножестве данного множества

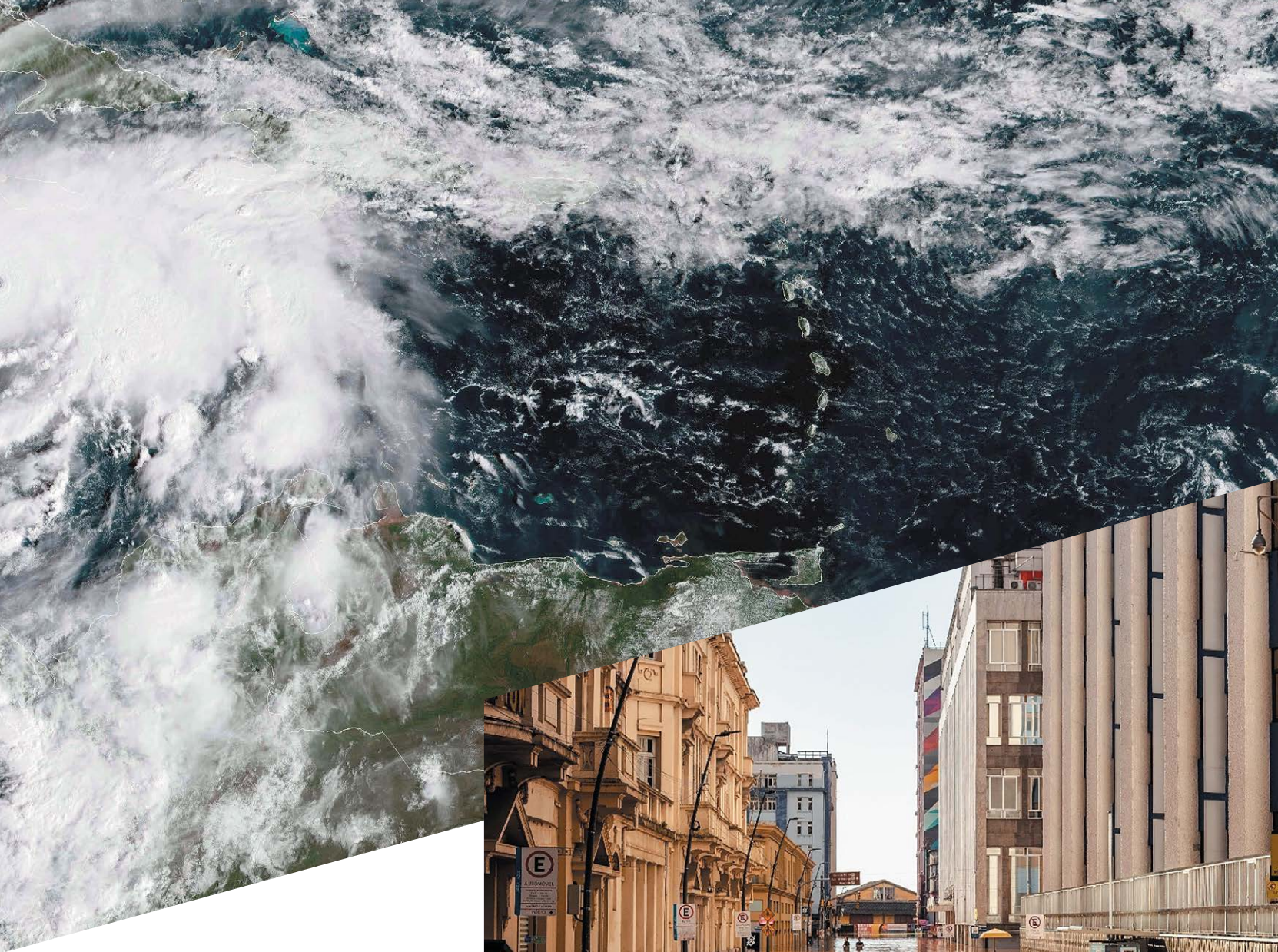
Сергей Петренко,
руководитель группы Научного
центра информационных технологий
и искусственного интеллекта Университета
«Сириус»

Модель общей циркуляции (МОЦ)

Ключевая модель земной системы — модель общей циркуляции. Она может быть атмосферной и учитывать солнечную радиацию, перенос тепла, ветровые потоки, относительную влажность. А может быть океанической, учитывая параметры течений, способность акваторий поглощать и хранить тепло и другие показатели. Бывают модели, объединяющие первую и вторую. В МОЦ можно интегрировать подмодели, описывающие состояние морского льда, взаимодействие атмосферы с растительностью, динамику углеродного цикла и другие процессы.

В основе моделей общей циркуляции описанная выше решётка, каждый блок которой — это фрагмент атмосферы или океана с определёнными характеристиками: температурой, влажностью, давлением, скоростью движения ветра, солёностью воды. Размер ячеек зависит от вычислительных мощностей. В современных

Бушевавший
осенью ураган
Мелисса стал
самым сильным
тропическим
циклоном
2025 года, он унёс
десятки жизней
на Гаити и Ямайке



моделях CMIP6 горизонтальное разрешение варьируется от 25 до 50 км. По вертикали атмосферу разбивают на 30–70 слоёв, океан — на 40–60. Чем выше разрешение и меньше размер блоков, тем детальнее модель воспроизводит климатические процессы, включая региональные особенности, циркуляцию океанских течений и образование циклонов. Это положительно сказывается на качестве прогноза, хотя требует больших вычислительных ресурсов.

МОЦ достаточно успешно воспроизводит обобщённые характеристики глобальных процессов, связанных с изменением окружающей среды, за последние десятилетия. Вот почему их активно используют в международных проектах вроде CMIP. Полученные благодаря таким моделям результаты попадают в доклады Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК), собранной Всемирной метеорологической организацией для оценки рисков из-за антропогенных факторов.



Прогнозирование наводнений

Наводнения, вызванные интенсивными атмосферными осадками и подъёмом уровня рек, поддаются моделированию с высокой точностью. Прогностические модели, использующие данные с метеорадаров, спутников и цифровых моделей рельефа, позволяют предупреждать население за часы или даже дни до начала паводков. Результаты исследований говорят о том, что в некоторых регионах экстремальные наводнения, ранее считавшиеся условно столетними, могут происходить уже с десятилетней периодичностью.

↑
Наводнение
в бразильском
городе Порту-
Алегри в апреле
2024 года

Энергобалансовые модели (ЭБМ)

Такие модели описывают климатическую систему через баланс приходящей и отражённой солнечной радиации, а также входящего и исходящего теплового излучения. Благодаря простоте и прозрачности алгоритмов их используют для исследований глобального масштаба: оценки равновесной чувствительности климата, анализа способности экосистем адаптироваться к изменяющимся условиям, изучения роли ключевых обратных связей в климатической системе, палеоклиматических реконструкций (например, ледниковых периодов), а также для прогнозирования будущих изменений климата. Достаточно высокая эффективность ЭБМ и низкие требования к вычислительным ресурсам позволяют проводить многочисленные эксперименты, калибровать модели по данным наблюдений и оперативно проверять гипотезы о долгосрочной реакции климата.



Фундаментальное ограничение ЭБМ заключается в отсутствии пространственной детализации и трёхмерной динамики атмосферы и океана. Такие модели не могут описывать региональные климатические особенности, распределение осадков, атмосферную циркуляцию, динамику океанских течений, а также моды климатической изменчивости: Эль-Ниньо, Северо-Атлантическое колебание и другие. Модели энергетического баланса не учитывают сложные процессы облакообразования, динамику ледников и морского льда, биогеохимические циклы. Для таких задач применяются более продвинутые модели: МОЦ, представляющие атмосферу, океан и сушу с высокой детализацией, но требующие использования больших вычислительных ресурсов, или модели промежуточной сложности. Последние позволяют интегрировать климатические процессы для больших временных интервалов с учётом основных обратных связей

Александр Ольчев,
профессор кафедры метеорологии
и климатологии географического
факультета МГУ



Радиационно-конвективные модели широко применяются для оценки последствий изменения климата в тропических регионах, где конвективные процессы особенно интенсивны

Радиационно-конвективные модели (РКМ)

Эти модели учитывают вертикальную структуру атмосферы и взаимодействие между радиационными и конвективными (движение неравномерно нагретой жидкости или газа, например образование облаков) процессами. В отличие от энергобалансовых моделей, представляющих атмосферу в виде единого слоя, РКМ подразделяют её на множество уровней и детально рассчитывают радиационный перенос в каждом из них (поглощение, излучение и рассеяние радиации облаками, аэрозолями, парниковыми газами и другими компонентами). Радиационно-конвективные модели незаменимы для изучения влияния



изменения концентраций парниковых газов на вертикальную структуру атмосферы, анализа прямых и обратных связей, стратосферного охлаждения, а также для настройки соответствующих модулей в МОЦ. Минусы РКМ: отсутствие горизонтальной динамики и региональной детализации.

Радиационно-конвективные модели – инструмент для фундаментального анализа, важный для понимания механизмов вертикального обмена энергией и влагой. Он позволяет достаточно точно оценивать распределение температур в атмосфере и у поверхности, моделируя процессы прогрева, испарения, конденсации и конвекции. Это важно, ведь изменение объема облачности даже на пару процентов в глобальном масштабе может оказать тепловой эффект, сопоставимый с масштабным увеличением концентрации парниковых газов. Кроме того, РКН показывают, что усиление концентрации CO_2 приводит не только к нагреву поверхности, но и к изменению структуры

температурного градиента: тропосфера прогревается, пока верхние слои стратосферы, наоборот, охлаждаются.

Модели промежуточной сложности (МПС)

Упомянутые выше модели промежуточной сложности занимают нишу между комплексными ресурсоёмкими МОЦ и более простыми ЭБМ. Если представить климатическую систему в виде гигантского многомерного уравнения, то модели высокой сложности нацелены на максимально точный результат. МПС же уменьшают размерность уравнения, сохраняя при этом ключевые нелинейные связи и обратные связи между основными компонентами: океаном, атмосферой, криосферой, биосферой и циклом углерода. Это позволяет им быть вычислительно эффективными, сохраняя комплексность.

Модели промежуточной сложности целесообразно применять в палеоклиматических исследованиях либо в задачах, где большая длительность вычислений диктуется необходимостью ансамблевого подхода для оценки отклика

климатической системы на внешние воздействия. Так, МПС позволила воспроизвести последний ледниковый цикл, задавая лишь вариации орбитальных параметров Земли, в то время как остальные переменные, включая концентрацию парниковых газов, модель рассчитывала интерактивно. Также благодаря ей оценили, как антропогенное воздействие задерживает наступление следующей ледниковой эпохи. Повышение эффективности МПС, впрочем, как и других моделей земной системы, специалисты связывают с технологией машинного обучения.

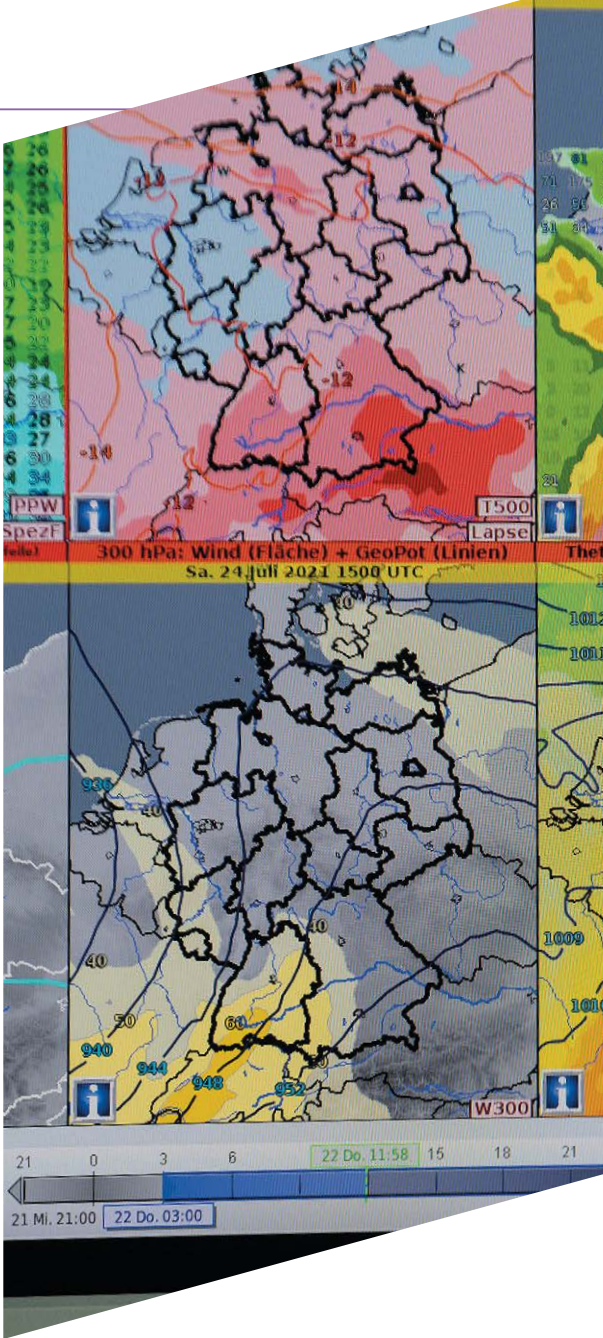
Нейросетевой климатолог с «чёрным ящиком»

Рост производительности компьютеров стал ключевым фактором в развитии климатического прогнозирования. Параллельно с развитием компьютеров в 1960-х годах появилась концепция искусственных нейросетей. Тогда казалось, что с их помощью учёные смогут решить множество сложных задач, в том числе связанных с климатическим моделированием. Нейросетевые исследования получали финансирование, но со временем выяснилось, что результаты работы ИИ-моделей плохо интерпретируются. Невозможно было понять, почему они принимают те или иные решения (подробнее об этом ниже).

«Глубокая нейронная сеть обладает высокой точностью и низкой

объяснимостью, представляя собой классический «чёрный ящик». Миллионы параметров, соединённых в сложной архитектуре, делают практически невозможным для человека прямое осмысление того, каким образом входные данные трансформируются в итоговый результат. Напротив, модель «дерево решений» отличается высокой объяснимостью и позволяет отслеживать цепочку правил («если ..., то ...»), приведших к конкретному решению. Но на сложных нелинейных данных она зачастую уступает в точности более комплексным ансамблям нейросетей. Так что разработчики вынуждены выбирать: либо внутренне интерпретируемая модель, но недостаточно точная при сложных задачах, либо высокопроизводительный «чёрный ящик» с сомнительной достоверностью объяснения», — рассказывает Сергей Космос, генеральный директор компании «Джедиум», которая занимается разработкой ПО.

В 1970-х началось сокращение субсидий, вместе с этим — стагнация машинного обучения. Она продолжалась до конца тысячелетия, пока в нулевых не появились свёрточные модели (нейросетевая архитектура, способная успешно распознавать и классифицировать изображения) и прорывные научные работы по ним. Примерно в то же время машинное обучение стали применять в климатических исследованиях в части мониторинга, измерений, отслеживания

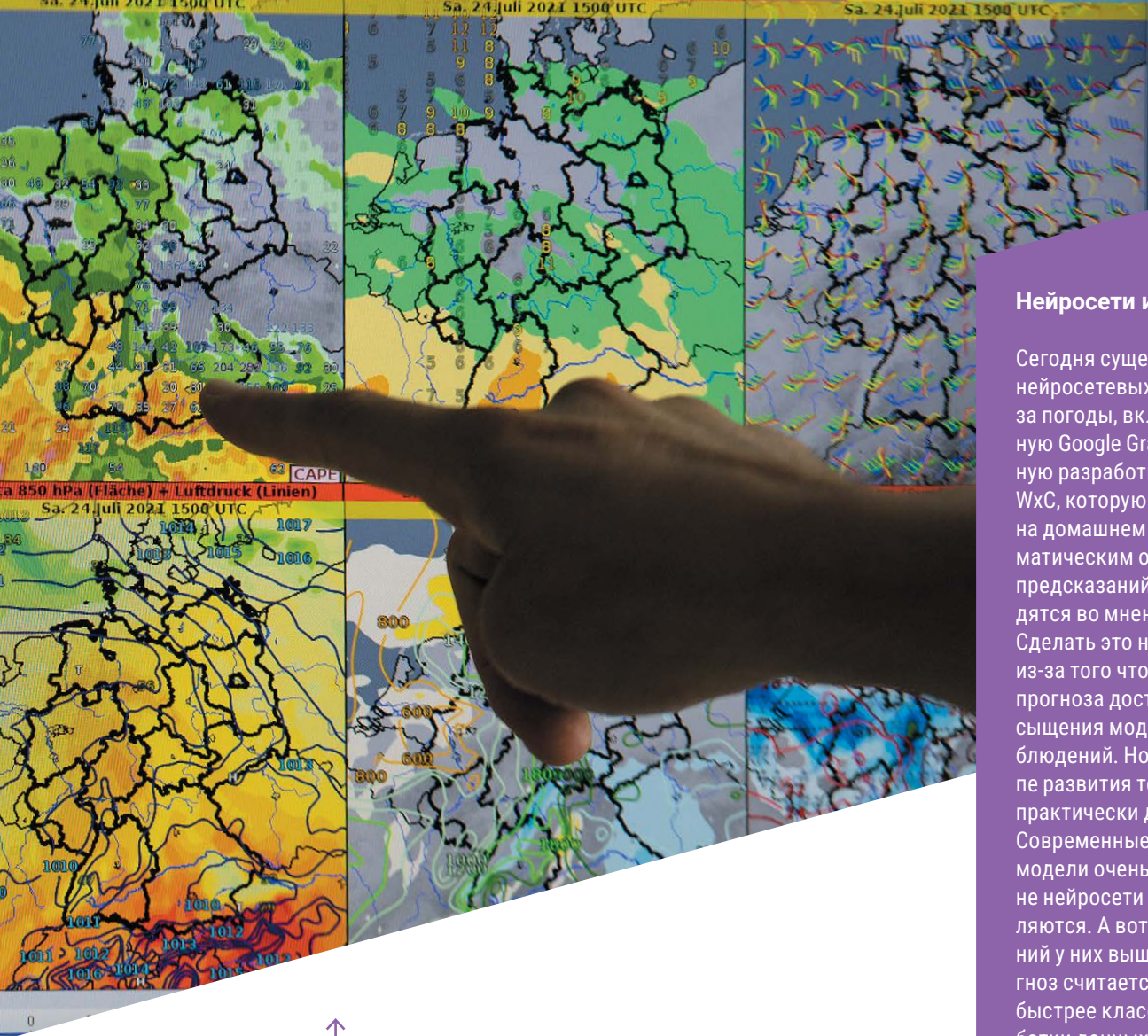


Целесообразность использования моделей земной системы для разных задач

	МОЦ	МПС	ЭБМ	РКМ
Разработка сценариев антропогенного воздействия в будущем		+	+++	
Оценки будущих изменений на десятилетнем масштабе	++			
Оценки будущих изменений на вековом и большем масштабах	++	++	+	
Оценки будущих изменений на масштабах тысячелетий		++	+	
Анализ отдельных процессов	++	++	+	+
Анализ неопределённости изменений состояния ЗКС	++	++	+	+

Количество знаков «+» соответствует на качественном уровне целесообразности использования модели, знак «+?» обозначает потенциальную возможность

Источник: «Иерархия моделей земной климатической системы», А. В. Елисеев // «Известия вузов. Радиофизика» // Том LXVII, № 7, 2024

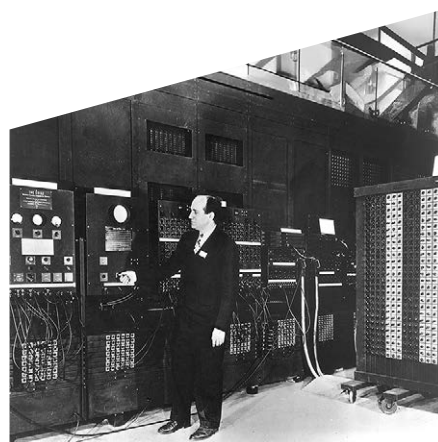


↑
Пока человек
не готов отдать
прогноз погоды
на откуп
нейросетям

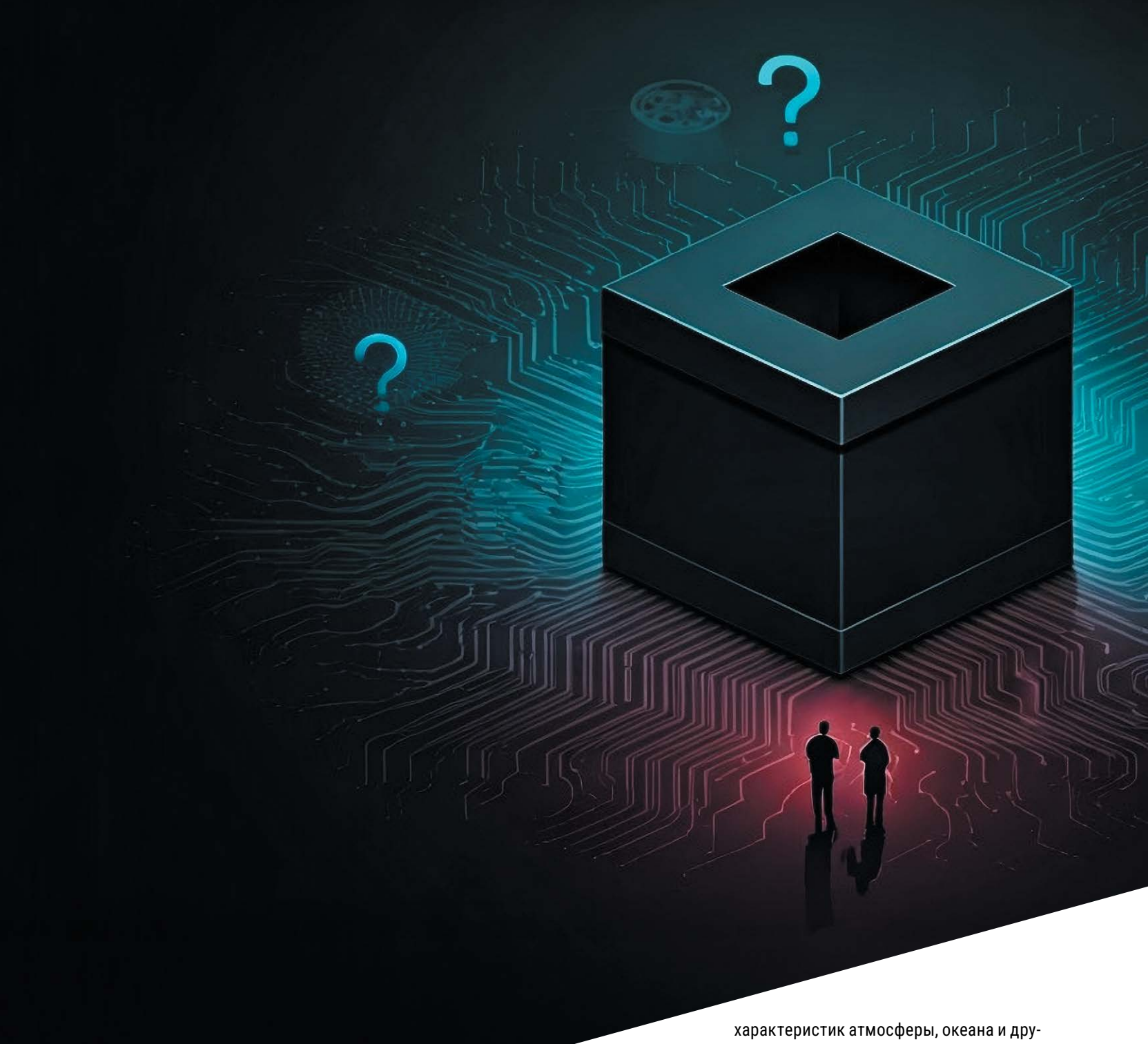
Нейросети и прогноз погоды

Сегодня существует около десятка нейросетевых моделей для прогноза погоды, включая широко известную Google GraphCast и совместную разработку IBM и NASA – Prithvi WxC, которую можно запустить на домашнем компьютере. Но драматическим образом точность предсказаний они не повысили, сходятся во мнении эксперты. Сделать это невозможно, из-за того что высокое качество прогноза достигается за счёт насыщения моделей данными наблюдений. Но на нынешнем этапе развития технологий здесь уже практически достигнут потолок. Современные гидродинамические модели очень точные, и в этом плане нейросети лучше них не справляются. А вот скорость вычислений у них выше. Нейросетевой прогноз считается на один-два порядка быстрее классического. Для обработки данных по атмосферным наблюдениям, например, требуется несколько десятков минут вместо нескольких часов.

Производительность компьютеров с разницей в 70 лет



Параметр	ENIAC (1950-е)	Earth Simulator 4 (2021)
Производительность	500 FLOPS	19.5 PetaFLOPS
Время расчёта однодневного прогноза	24 часа	Несколько секунд



Нельзя безоговорочно
доверять прогнозу,
если нет чёткого
понимания логики его
появления

характеристик атмосферы, океана и других факторов. К началу 2010-х метод глубокого обучения (вид машинного обучения с использованием многослойных нейронных сетей, которые самообучаются на большом наборе данных) позволил решить множество сложных задач. Тогда в ИИ потекли большие деньги — и появились новые вычислительные мощности. Параллельно нейросетям программисты начали разрабатывать методы, помогающие объяснить их работу, «заглянув» им внутрь. Причём важно повысить не только интерпретируемость модели (понять её структуру), но и её объяснимость (понять, почему она даёт тот или иной результат). Интерпретируемость волнует в первую очередь разработчиков, а объяснимость — конечных пользователей.



Искусственный интеллект получил применение в климатологии и метеорологии, потому что для работы ему нужны большие объёмы данных, а они в этой области накапливаются десятилетиями и даже столетиями. На базе систематизированных наблюдений за природой и погодой применение методов машинного обучения оказалось очень эффективным. ИИ позволяет выявлять скрытые закономерности, заменять или уточнять параметризацию, а также оптимизировать ключевые параметры вроде механизмов обратных связей, коэффициентов теплообмена, повышая точность прогноза. Кроме того, можно создавать «цифровые двойники» — эмуляторы сложных моделей, способные за доли секунды выдавать прогнозы с точностью, близкой к моделям энергетического баланса.

Одна из главных претензий специалистов к нейросетям заключается в том, что, в отличие от привычных и хорошо описанных математических моделей, они действуют как «чёрный ящик». Даже те, кто занимается обучением ИИ, не могут в полной мере объяснить, каким

образом искусственный интеллект получает тот или иной результат. Если классическая гидродинамическая модель опирается на физические уравнения, где каждая переменная и шаг вычисления прозрачны для исследователя, то в случае с нейросетевой программой речь идёт о многослойных преобразованиях данных внутри сети, которые невозможно интерпретировать напрямую.

«Когда кто-то говорит про климатический прогноз с использованием нейросетей, надо относиться к этому очень осторожно. У нейросетей пока нет понимания физики процессов — это статистические модели, которые не умеют экстраполировать. Происходящие изменения климата заключаются в том числе в появлении новых механизмов функционирования климатической системы нашей планеты. В обучающей выборке нейросетей их попросту нет. А вот гидродинамические климатические модели могут их воспроизвести», — добавляет заведующий лабораторией машинного обучения в науках о Земле МФТИ Михаил Криницкий.

Это один из главных недостатков технологии машинного обучения на фундаментальном уровне. Даже наиболее сложные модели «не понимают» сути задач, которые они выполняют.

«Дело в том, что человек представляет себе, как устроен мир, и знает его законы, а нейронная сеть — нет. Ей очень сложно извлечь это понимание только из текста или статических картинок, поэтому она может иной раз выдавать какую-то ерунду вместо правильного ответа. Например, в интернете мало текстов о том, как открывать дверь на себя, потому что все и так это знают. И нейросеть не может правильно передать этот простой процесс», — объясняет директор по развитию технологий искусственного интеллекта компании «Яндекс» Александр Крайнов.

При использовании ИИ результат сильно зависит от срока предсказания. Так, у климатических прогнозов, ориентированных на период до 10 лет, невысокая точность. Это связано с неопределённостью по многим факторам, воздействующим на климат. Долгосрочные прогнозы — от 10 до 100 лет и более — зачастую основаны на сценариях изменения климата МГЭИК и учитывают долгосрочные тенденции.



ИИ может закрыть серую зону прогноза между месячным прогнозом и десятилетним. Физические модели такой сложности строить очень дорого, они требуют чрезвычайно много наблюдений, данных и огромного количества вычислительных ресурсов. Модели на данных гораздо проще позволяют проверять гипотезы и искать новое знание. Но на больших горизонтах, свыше 10 лет, ничего лучше классических дифференциальных уравнений пока не придумали

Назар Сотириади,
управляющий директор
департамента интегрированного
риск-менеджмента Сбера



↑
Климатические модели позволяют не только прогнозировать состояние окружающей среды в будущем, но и заглядывать в климатическое прошлое Земли

Для долгосрочных прогнозов обычно применяют комплексные подходы, комбинирующие ИИ, классические климатические модели и данные по социально-экономическим показателям. Достоверность при этом варьируется от 50 до 70 % в зависимости от сценария и используемых моделей. В определённой мере нейросети — всё ещё программы для сложения и умножения чисел, говорят учёные. Но даже и без этой «опции» существуют непреодолимые препятствия.

«Геофизические процессы и климат — это результат взаимодействия огромного количества факторов, которые просто не поддаются учёту на имеющемся уровне технического развития человечества. Поэтому точное предсказание погоды на длительный срок до сих пор остаётся



Елена Гершелис

Подавляющее большинство исследователей (86 % из 3 000 опрошенных, согласно отчёту Insights 2024: Attitudes toward AI) обеспокоены вероятностью того, что решения ИИ могут привести к критическим ошибкам. Это особенно опасно в прогнозировании и принятии решений в области климата — от сельскохозяйственного планирования, подготовки к стихийным бедствиям до выработки долгосрочных стратегий борьбы с антропогенными выбросами парниковых газов. Ошибка в алгоритме может стоить очень дорого: любая неточность в долгосрочных сценариях способна исказить представление о будущем и повлиять на мировую экономику и политику. Выходит парадокс — ИИ способен работать с гигантскими массивами данных эффективнее, чем человек или классическая модель, но доверять результатам его действий в полной мере мы не можем. Ведь до конца не понимаем, как программа пришла к своим выводам. Так что оптимальным решением видится сочетание новых технологий с проверенными временем инструментами.

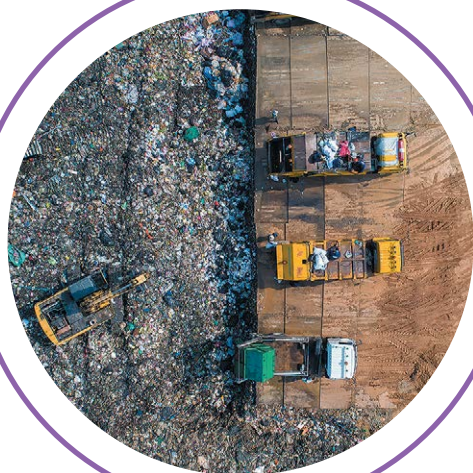
невыполнимой задачей. Моделирование климата по сложности сравнимо с моделированием процессов, происходящих в нашем сознании и подсознании», — объясняет доктор технических наук и доцент Константин Гнидко, заместитель руководителя научной группы Научного центра информационных технологий и искусственного интеллекта Научно-технологического Университета «Сириус».

Для сравнения он приводит пример с бильярдными шарами — невозможно точно предсказать их поведение после четвёртого-пятого соударений. Первое можно спрогнозировать достаточно хорошо, а профессионалу по силам и два последующих. Но что произойдёт после шести соударений всех шаров друг с другом? Мельчайшая шероховатость

сукна может изменить траекторию на доли миллиметра, а в итоге картина меняется кардинально.

«То же самое и с климатом. Существует огромное количество факторов, и все они имеют вероятностный характер. Поэтому, к сожалению, на данном этапе прогнозирование климата на сотни лет — это фантастика. Как сказал один из специалистов по применению ИИ в моделировании климата доцент Южного федерального университета Александр Иошпа, когда появится идеальная математическая модель, которая учтёт все факторы, влияющие на климат, и докажет свою эффективность точным прогнозом погоды хотя бы на полгода, это будет Нобелевская премия. Я с ним согласен», — резюмирует доктор Гнидко. ■

КАК СНИЗИТЬ СОДЕРЖАНИЕ CO₂ В АТМОСФЕРЕ



Рекультивация свалок и других загрязнённых территорий

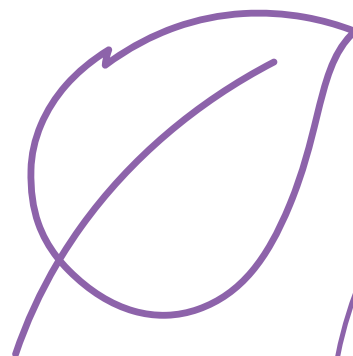
Рекультивация участков, где хранятся промышленные отходы или нефтепродукты, позволяет вернуть им естественное состояние. Благодаря этому можно сократить объём метана и углекислого газа, которые выделяются при гниении мусора. Ну а растения, которые высаживают на восстановленных территориях, поглощают CO₂.



Восстановление и охрана леса

Устойчивое управление лесными территориями подразумевает управление пожарами и отказ от чрезмерной вырубки.

Предотвращение возгораний и их оперативное тушение позволяет сохранить деревья и ограничить эмиссию. Ключевую роль в лесовосстановлении играет высадка новых деревьев.



Защита почв и регенеративное сельское хозяйство

За последние 50 лет темпы ежегодных потерь почвенных ресурсов в 30 раз превысили средние исторические темпы. Почвы — самый большой резервуар углерода в наземных экосистемах, и их деградация в результате нерационального использования приводит к росту эмиссии CO_2 . Для борьбы с этим есть несколько методов: севооборот, контурное земледелие и почвосберегающие технологии распахки, использование покровных культур, органических удобрений и капельного орошения. А ещё лучше просто минимизировать обработку почвы.



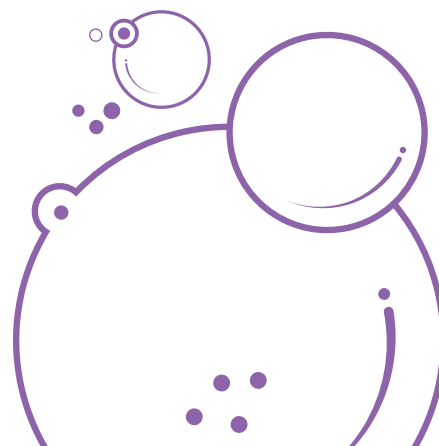
Выращивание водорослей

Водоросли поглощают CO_2 в разы эффективнее наземных растений. Их можно выращивать в биореакторах или на морских плантациях с последующим использованием для производства биотоплива, кормов или удобрений.



Восстановление водно-болотных угодий и обводнение торфяников

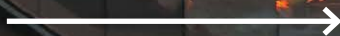
Торфяники и болота — гигантские хранилища углерода. При осушении они горят и выделяют огромное количество CO_2 . Насыщение таких территорий водой позволяет не только сократить выбросы, но и восстановить природную способность торфяников и болот к поглощению углерода.





УГЛЕРОДНЫЕ СУБТРОПИКИ

КАК ИЗУЧАЮТ УНИКАЛЬНЫЙ
КЛИМАТИЧЕСКИЙ УГОЛОК РОССИИ



ОСОБОЕ МЕСТО НА КЛИМАТИЧЕСКОЙ КАРТЕ РОССИИ ЗАНИМАЕТ ПОБЕРЕЖЬЕ ЧЁРНОГО МОРЯ

Его бо́льшая часть находится в субтропическом поясе с тёплым, но не экстремально жарким летом и достаточно мягкой (особенно по меркам нашей страны) зимой. А территория Сочинской агломерации (и Сириуса в том числе) вообще уникальна — это единственные влажные субтропики в нашей стране. Благодаря соседству с морем и высокими горами это место стало не только магнитом для туристов, но и неповторимой площадкой для проведения научных исследований в области климата и экологии. Расскажем, чем именно здесь занимаются опытные учёные и чему они учат молодых коллег.

Сотни тонн загрязнённого мазутом песка, тысячи пострадавших птиц и ущерб примерно на 85 млрд рублей (по данным Росприроднадзора). Масштабная экологическая катастрофа в Керченском проливе в очередной раз напомнила о том, насколько хрупка природа и как сильно она зависит от влияния человека. В декабре прошлого года при крушении двух танкеров, по разным оценкам, в Чёрное море попало от 4 до 5 тыс. тонн топочного мазута марки М100. Такое произошло впервые в истории человечества, сообщили в Морспасслужбе. Загрязнения этим «тяжёлым» нефтепродуктом особенно сложно очищать, ведь углеводород адсорбирован на частичках песка, и механического просеивания грунта недостаточно.

Решением проблемы может стать биоремедиация — технология бактериальной очистки. Речь идёт об особом штамме микроорганизмов, которые «поедают» мазут, разлагая его на безопасные белки. Когда микробы поглощают все нефтепродукты, они умирают, превращаясь в биомассу, которой, в свою очередь, питается планктон. Использовать такой метод предложили в Сириусе.





Эту технологию разработали 15 лет назад, и она зарекомендовала себя как эффективный способ ускоренной ликвидации последствий экологических катастроф вроде разлива нефти. Такой подход позволяет не только минимизировать ущерб окружающей среде, но и помогает экосистемам восстанавливаться самостоятельно

Ева Уголькова,
аспирант Университета «Сириус» и младший научный сотрудник Международного научного центра в области экологии и вопросов изменения климата

Аспиранты и магистранты Университета «Сириус» активно участвуют в полноценной научной работе. Практика — ключевой элемент обучения, и ей уделяют особое внимание в Международном научном центре в области экологии и вопросов изменения климата (в Университете «Сириус» вместо привычных факультетов и кафедр действуют научные центры по приоритетным для России направлениям). Для валидации предложенной технологии учёные Центра взяли пробы грунта с пляжей Анапы и изучили, как проявляют себя биопрепараты в конкретной черноморской экосистеме. Эксперимент показал, что в течение 28 дней содержание углеводородов в среде с мазутом снизилось на 32 %. И это не предел. Теперь предстоит проверить возможность повышения эффективности технологии и её масштабирования, а также провести полевые испытания.

По данным пресс-службы МЧС и Оперативного штаба Краснодарского края, с начала работ по ликвидации последствий ЧП в Анапе было очищено более 600 км береговой линии





Над проектом учёные Сириуса работают вместе со специалистами компании «Р-Фарм». Там предложили использовать обеднённые питательные среды, которые остаются после культивирования микроорганизмов при производстве фармацевтической продукции. По сути, это технологические отходы, сохраняющие полезные свойства. Значит, их можно применить для выращивания специализированных бактерий, способных расщеплять мазут. Это особенно актуально в условиях развития в стране экономики замкнутого цикла, которая требует переработки отходов.

«Мы рассматриваем отходы фармацевтического производства не как обременение, подлежащее только утилизации, а как возможную ресурсную базу. Так родилась идея на стыке биотехнологии, экологии и фармацевтической технологии: если остатки питательных сред не несут риска, но сохраняют ценность, то логично использовать их там, где важны масштабируемость и экономическая целесообразность. Выращивание бактерий для биоремедиации — один из таких примеров», — объясняет директор по экономике здравоохранения компании «Р-Фарм» Александр Быков.

Река-море

После ЧП в Керченском проливе значимых случаев загрязнения нефтепродуктами на пляжах Сочи и Сириуса выявлено не было. Конечно, экологическому состоянию приморских курортов уделяют особое внимание. Ежегодно отдыхать на них приезжают миллионы туристов, поэтому специалисты Роспотребнадзора регулярно проверяют качество морской воды. Изучают её бактериологический состав, содержание тяжёлых металлов, радионуклидов и уровень органического загрязнения.

С начала 2025 года в Сочи специалисты Роспотребнадзора исследовали 4 730 проб воды по санитарно-химическим, микробиологическим, паразитологическим и вирусологическим показателям. Результаты соответствовали гигиеническим нормативам.



Состояние черноморской прибрежной акватории у склонов Кавказа во многом определяют спускающиеся с гор и впадающие в море реки. Изучением их влияния сегодня занимаются в Научно-технологическом университете «Сириус». На качество воды в реках влияет множество факторов: от стоков до мусора, который смывает в русло во время ливней. В пик летнего сезона многократно возрастает риск микробного загрязнения.

«В межень (низкий уровень рек) на реках Сочи всегда наблюдается повышение уровня загрязняющих веществ. В основном это тяжёлые металлы, нефтепродукты, некоторые биогенные вещества (нитраты и нитриты). То есть речь идёт об антропогенной нагрузке. С другой стороны, не всегда повышенное содержание металлов в воде говорит нам о влиянии человека — часто это связано с подстилающими горными породами. И так как это горные реки, для них такое загрязнение является природным», — рассказала старший научный сотрудник Международного научного центра в области экологии и вопросов изменения климата Университета «Сириус» Юлия Моисеева.

Цветение водорослей, гибель рыб, большое количество медуз — симптомы нарушения баланса, вызванного изменением температуры воды, загрязнением её сточными водами и мусором, в том числе пластиковым. Чтобы не просто лечить их, а поставить диагноз и делать прогноз на будущее, на федеральной территории проводят масштабную работу по анализу данных. Учёных особенно интересует, как изменилась ситуация за последние 20 лет из-за возросшей антропогенной нагрузки при строительстве олимпийских объектов и роста турпотока. В большом проекте, удостоенном гранта РНФ, задействованы магистранты и аспиранты Университета «Сириус».

Результаты многолетнего труда лягут в основу полноценной системы оценки стока загрязняющих веществ в Чёрное море, а также прогнозирования данного показателя. Это вопрос не только экологии, но и экономической стабильности главного курорта России, чьё развитие зависит от чистоты его акватории и пляжей.

Сириус создан, чтобы объединять молодых талантливых людей, готовых искать ответы на глобальные вызовы современности. Экологическое благополучие — один из таких вызовов, важнейшая цель национального развития, поставленная Президентом России. Ключевыми условиями успешной работы являются междисциплинарность, развитие международного сотрудничества, вовлечение молодых людей в практические проекты и опора на науку. Эти четыре принципа — фундамент работы экологического направления в Сириусе

Елена Шмелева,
председатель Совета федеральной территории,
руководитель Образовательного фонда «Талант и успех»

ГЕОЭКОЛОГИ: КТО ОНИ И ЧЕМУ ИХ УЧАТ?

Выяснить, как выбросы завода влияют на здоровье местных жителей, и определить источники загрязнения грунтовых вод. Это лишь небольшая часть задач, которые решают геоэкологи. Такие специалисты не просто фиксируют проблемы, но и ищут причинно-следственные связи, а также пути решения.

Одна из главных проблем в изучении окружающей среды и способов её защиты — нехватка специалистов широкого профиля. Часто выпускники обладают глубокими знаниями только в одной конкретной области и слабо знакомы с современными методами и технологиями, необходимыми для комплексной оценки климатических угроз и их устранения. Такая узкая направленность мешает полноценно отвечать на национальные запросы в области охраны окружающей среды и разработки стратегий устойчивого развития экосистем.

Вот почему сегодня востребованы квалифицированные кадры, сочетающие глубокие познания в науках о Земле с междисциплинарными навыками в биологии, биогеохимии и математике. Нужно уметь проводить современные научные исследования, обрабатывать собранные данные и уверенно пользоваться новейшими инструментами и подходами, объединяя традиционные методы геохимии с достижениями молекулярной и изотопной биогеохимии.

Научно-технологический университет «Сириус» — один из немногих, кто готовит таких профессионалов. Там открыты магистратура и аспирантура по направлению

«Геоэкология». Учащимся доступен крупный лабораторный комплекс, оснащённый современным оборудованием. С первых дней они включаются в реальные проекты, осваивая методы мониторинга, геоинформационные системы и нейросети для анализа данных.

Работают и в полях. Так, минувшим летом состоялась экспедиция на Эльбрус. Это самая высокая горная вершина Европы, и на её склонах можно изучать почвенные процессы на разных стадиях их протекания. Полевые исследования включали описание, классификацию и отбор почв, геоботаническое описание растений и сбор гербарного материала.

«Работы выполнялись комплексно на 12 участках, расположенных на высоте от 2 800 до 3 200 метров над уровнем моря. Эти участки образуют временной ряд начиная от самой молодой зоны у кромки ледника, где моренные отложения только освободились ото льда, заканчивая зонами на расстоянии около восьми километров с ледника, где почва и растительный покров уже сформировались сотни, а возможно, и тысячи лет назад. Мы отобрали более 200 проб — и теперь определим в них содержание углерода



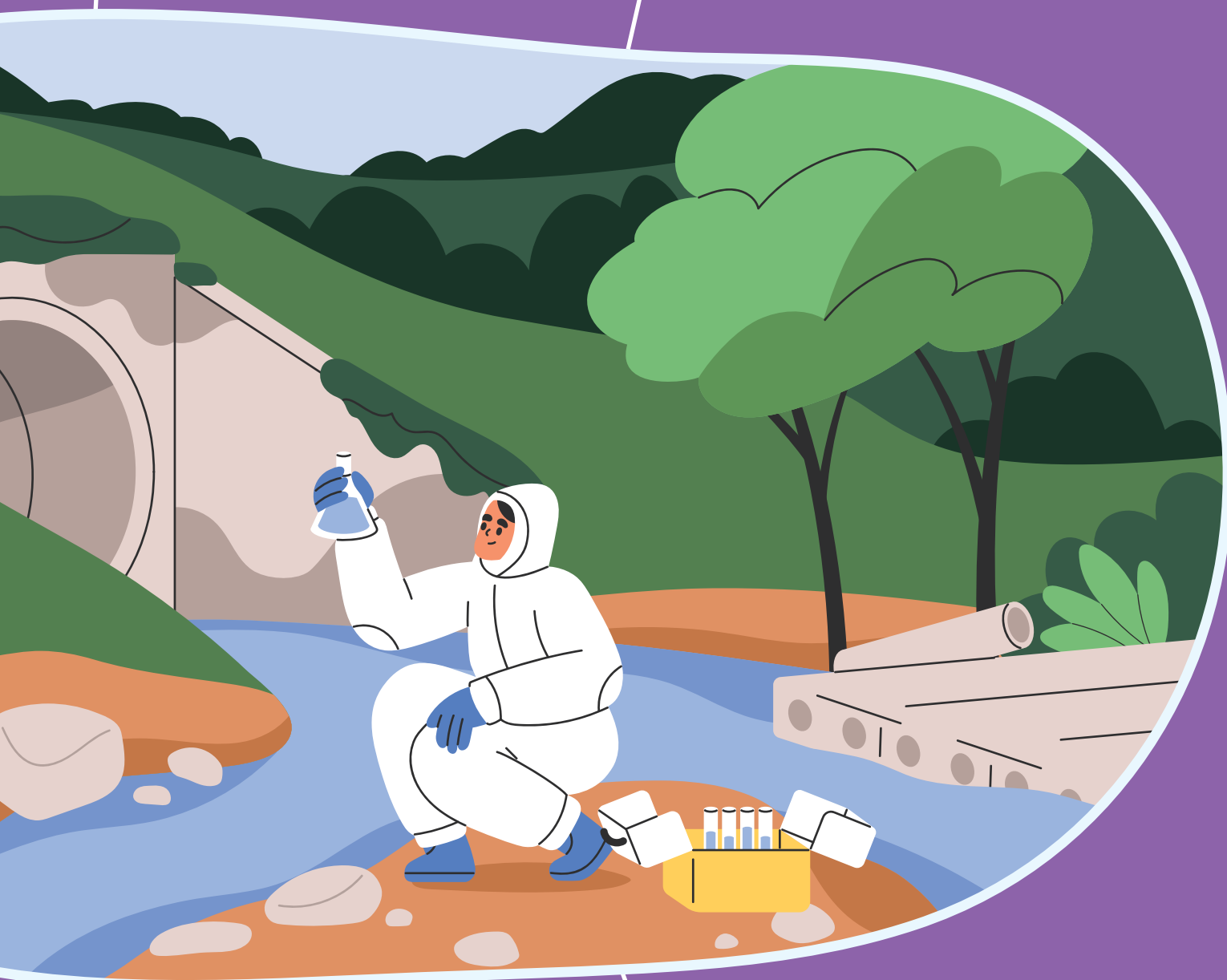
Чем занимается геоэколог

Диагностика:

оценивает состояние почв, водных объектов, атмосферного воздуха.

Терапия:

разрабатывает меры по защите окружающей среды.



Профилактика:

проводит экологическую экспертизу перед строительством объектов.

Прогноз:

моделирует последствия техногенных катастроф (разливы нефти, выбросы химикатов).



↑
Экспедиция учёных
Университета
«Сириус»
в Приэльбрусье,
на снимке (слева
направо): аспирант
Анфиса Харибина,
ведущий научный
сотрудник
Екатерина
Филимоненко,
специалист-
исследователь
Наталья Самохина

и азота, оценим скорость выделения из почв CO_2 , установим ведущие механизмы стабилизации углерода в почвах в зависимости от времени, прошедшего после отступления ледника и старта процессов почвообразования», — объясняет ведущий научный сотрудник направления «Геоэкология» Международного научного центра в области экологии и вопросов изменения климата Университета «Сириус» Екатерина Филимоненко.

Все члены команды хорошо адаптировались к высоте и справились с задачами, требовавшими индивидуальной физической подготовки и слаженной коммуникации внутри группы. Для младшего научного сотрудника направления «Геоэкология» Анфисы Харибиной это была первая экспедиция такого уровня.

«Вместе с коллегами мы просеивали почвы, организовывали систему просушивания и упаковки проб в нашем

базовом лагере. В полевых условиях эта работа проходит совершенно иначе — не так, как в стационарной лаборатории. Здесь, например, необходимо предусмотреть переменчивость погоды, чтобы обеспечить сохранность и качественную подготовку образцов к анализам. Для отбора проб мы ежедневно поднимались из нашего базового лагеря на морену, набор высоты доходил до 700 метров. Такие ежедневные восхождения требуют хорошей физической подготовки и походного опыта. В первые дни было сложно засыпать в горных условиях, но затем организм постепенно адаптировался к гипоксии и смене давления. Неизменным спутником для нас в экспедиции был Эльбрус, его видимость была знаком хорошей погоды для проведения полевых работ», — рассказывает она.

По словам учёных, благодаря экспедиции удалось собрать первичный

Учёные
Университета
«Сириус» работают
в горах Сочи



материал для начала исследования — изучения механизмов накопления и стабилизации углерода в почвах Кавказского региона на самых ранних этапах почвообразования. Такая научная работа позволит глубже понять базовые принципы, регулирующие углеродный цикл, ведь почва — крупнейший резервуар углерода в наземных экосистемах планеты.

Выпускники программы «Геоэкология» сформируют все необходимые компетенции для работы в научных центрах технологических предприятий, государственных и международных экологических организациях, научно-исследовательских институтах РАН и консалтинговых компаниях. Они смогут стать квалифицированными экспертами по экологической безопасности, специалистами по управлению природными ресурсами, аналитиками в сфере экологии, исследователями в области устойчивого развития.



Как Чёрное море стало таким?

Одной из главных, хотя и критикуемых версий возникновения Чёрного моря считается теория «черноморского потопа». По ней, этот водоём в древности был огромным пресноводным озером. Около 7 500 лет назад после очередного глобального потепления уровень Мирового океана поднялся. Тогда из Мраморного моря в том месте, где сейчас находится Босфор, в будущее Чёрное море хлынула солёная вода. Уровень водоёма поднялся примерно на 140 метров. Предполагается, что тогда погиб почти весь живой мир озера. Солёная вода, будучи плотнее пресной, опустилась на дно. Без кислорода на глубине активизировались анаэробные бактерии, использующие для дыхания сульфаты морской воды. Продуктом их жизнедеятельности стал сероводород, который постепенно накопился в глубинных слоях моря.

↑
*Река Агура в Сочи
впадает в Чёрное
море и обладает
природным молочно-
белым оттенком
из-за примесей
сероводорода*

Газированное море

Значительная часть глубинных слоёв Чёрного моря заполнена сероводородом — ядовитым газом, опасным для морских обитателей и человека. По оценкам учёных, верхний край этой зоны находится примерно на глубине 200 метров (хотя в зависимости от времени года и других факторов глубина может сокращаться до 65 метров). При подъёме близко к поверхности возможны массовые отравления и гибель живых существ.

Чёрное море — крупнейший в мире резервуар с сероводородом. Скопления этого легковоспламеняемого газа учёные оценивают примерно в три миллиарда тонн. Глубокие и поверхностные слои воды почти не смешиваются, поэтому резкий подъём огромной массы сероводорода на поверхность и её возгорание маловероятны. Хотя существуют



факторы, способные нарушить это хрупкое равновесие и вызвать пусть и точечные, но опасные выбросы: сильные штормы (мощные течения и высокие волны могут «взболтать» воду и поднять глубинные слои ближе к поверхности) и изменение уровня моря (снижение уровня уменьшает давление на глубине, потенциально облегчая высвобождение газа).

Удерживать сероводородный слой от подъёма к поверхности могут защита моря от загрязнений и сохранение естественного притока пресных вод из рек. Пригодилась бы и система наблюдения за движением газовой подушки, чтобы вовремя подготовиться к возможным негативным последствиям и снизить потенциальные угрозы. В эту работу сейчас вовлечены специалисты по робототехнике из Университета «Сириус».

«Идея заключается в применении беспилотных дронов и оснащённых датчиками буйков для сбора информации в открытом море. Данные будут передаваться в Единый центр обработки, где их проанализирует специальный мощный нейросетевой алгоритм. Он же



↑
Для оперативного выявления и контроля источников сероводорода в морской среде могут использовать беспилотные летательные аппараты

предложит модели текущих сценариев и оптимальные решения для выявленных угроз», — поясняет руководитель группы Научного центра информационных технологий и ИИ Университета «Сириус» Сергей Петренко.

Метан — другой интересующий учёных газ в Чёрном море. Его струйные газовыделения, они же сипы, — распространённый феномен. В 2024 году учёные Института биологии южных морей зафиксировали у крымского побережья больше 400 точек мелководной пузырьковой разгрузки.

Как горело Чёрное море

В ночь на 12 сентября 1927 года в Крыму произошло 8–9-балльное землетрясение, от которого серьёзно пострадали Ялта и другие курорты полуострова. Были жертвы и пострадавшие. Тогда же в 55 км к западу от Севастополя с трёх маяков заметили громадную огненную полосу высотой в сотни метров. Также её видели в других районах крымского побережья. Оказалось, что произошло возгорание поднявшегося с глубины газа. Вероятнее всего, это был метан.

Изучают метановое газовыделение и в Университете «Сириус». В 2024 году ведущий научный сотрудник Международного научного центра в области экологии и вопросов изменения климата Андрей Гринько участвовал в морской экспедиции у крымских берегов и взял больше 200 проб морской воды и донных отложений.

«Сейчас мы анализируем органическое вещество поверхностного слоя осадков и более глубоких горизонтов (до 1,5 м) в местах интенсивного выхода газа. Ищем отклонения, связанные с изменением состава органического вещества, в зонах разгрузки метана, в отличие от фоновых. Новые образцы, отобранные моими коллегами во время экспедиции 2025 года, дадут нам больше данных, чтобы лучше понять геохимические процессы, происходящие в зонах метановых выходов», — объясняет он.

Эта научная работа позволит детальнее разобраться в том, как метановые сипы влияют на придонные слои воды и донные осадки. Её результатом должны стать рекомендации для улучшения экологической ситуации в черноморской акватории.



На борту научно-исследовательского судна «Профессор Водяницкий» 11 лабораторий





Секретарь
Сухумского
общества сельского
хозяйства Пётр
Подгурский
на хлопковой
плантации
в Сухумском
ботаническом саду,
1912 год



Виды-захватчики

Другая серьёзная проблема для уникальной природы российского Причерноморья — инвазивные виды, то есть растения и насекомые-вредители, завезённые сюда человеком. Когда во второй половине XIX века началось активное заселение побережья Кавказа, первые землевладельцы принялись массово высаживать в садах культурные растения из ближайших питомников. Некоторые выписывали посадочный материал из Южной Европы и даже из Японии. Изучать интродуценты, то есть переселённые растения, начали сотрудники Сочинской опытной станции в конце позапрошлого века. Первоначально исследования были сфокусированы на плодовых и технических культурах, имевших практическое значение.



← Черноморская
научная
экспедиция
2025 года



Полноценная научная работа по акклиматизации и натурализации растений развернулась в 1930-х годах. Тогда же в научных кругах стали говорить об уникальности влажных субтропиков. В отличие от более сухого Крыма и жаркой Грузии, местный климат обладает мягкостью, а абсолютный минимум температур составляет всего $-13,4^{\circ}\text{C}$. Иначе говоря, хорошие условия растениеводства. Но в погоне за экзотикой важно не совершить ошибок, которые могут привести к непоправимым последствиям.

«Сейчас открыт доступ ко всем питомникам мира. Мы можем ввозить любые растения, а вместе с растениями — кого угодно. Это большая проблема. В своё время была нарушена система карантинных питомников — закрытых территорий, где привезённые растения выстаивались для выявления затаившихся вредителей, затем обрабатывались и потом, чистые, использовались для городского озеленения. Сейчас единственная стоп-линия — это фитосанитарный контроль на границе. Если повезёт, там обнаружат вредителя и запретят ввоз растения. Но насекомое может пройти контроль в зачаточной стадии, когда его очень сложно обнаружить», — рассуждает заместитель директора — руководитель службы по управлению проектами муниципального бюджетного учреждения «Парки ФТ» (МБУ занимается озеленением Сириуса. — Прим. ред.) Кристина Клемешова.

Начиная с 2011 года, когда для озеленения олимпийских объектов в Сочи массово завозили иностранные растения, в регионе акклиматизировалось не менее 30 новых видов насекомых-вредителей, не считая фитопатогенных грибов. «Чужеземцы» обладают широкой кормовой базой и представляют угрозу как для аборигенных, так и для декоративных растений. Самый яркий и печальный пример — самшитовая огнёвка (*Cydalima perspectalis*). Она практически полностью уничтожила насаждения самшита колхидского — из 2 342 гектаров реликтового леса в Сочи было утеряно около 1 900.

А каштановая орехотворка (*Dryocosmus kuriphilus*) поразила большую часть каштанов в городской черте и проникла на территорию Кавказского заповедника. Из-за того что деревья гибнут, их перестают опылять пчёлы. Таким образом возник дефицит полезного каштанового мёда. Под угрозой оказался и зелёный символ главного курорта страны — пальмы. Два инвазивных вида — красный пальмовый долгоносик (*Rhynchophorus ferrugineus*) и пальмовый мотылёк (*Paysandisia archon*) принялись уничтожать деревья, съедая их изнутри. Остановить их удалось лишь с помощью специальных химических препаратов. Теперь обработка пальм проводится регулярно.

Агрессивно распространяются не только насекомые-вредители,

но и растения-интродуценты. Например, айлант высочайший (*Ailanthus altissima*) — единственное древесное растение, внесённое в официальный карантинный перечень. Оно активно захватывает лесные территории, угрожая существованию краснокнижной лапы крылоплодной (*Pterocarya pterocarpa*). Ещё один захватчик — пуэария лопастная (*Pueraria lobata*). Это мощная лиана, формирующая густой зелёный ковёр. Изначально её завезли для укрепления прибрежных склонов, но расчёт себя не оправдал. Когда растение сбрасывает листья, дождевая вода беспрепятственно стекает вниз, размывая почву. К тому же нет естественных вредителей, сдерживающих рост пуэарии в Кавказском Причерноморье.



↑
Самшитовая
огнёвка

←
В «Музыкальном саду» Сириуса высажено более 100 видов растений, в том числе редких, привезённых из других стран





Пуэрария буквально покрывает деревья и кустарники зелёным ковром из листьев

Очевидно, что интродукция новых видов растений, используемых для озеленения, требует тщательного контроля. Нужно оценить и необходимость сохранения ранее завезённых видов. Этой научной работой сейчас занимаются в Университете «Сириус». Команда исследователей под руководством ведущего научного сотрудника Центра генетики и наук о жизни Алексея Розанова собирает данные по видовому составу и динамике флоры и микробиоты в природных и антропогенных системах первой в России федеральной территории и её окрестностей. Учёные определяют степень влияния интродуцированных (в том числе натурализованных) растений на местные экосистемы и оценивают степень антропогенной трансформации черноморской флоры. Результатом этой масштабной работы, которую завершат в 2026 году, станет современная геоботаническая карта растительности Сириуса, наложенная на топографическую основу. ■



Китайская веерная пальма (*Trachycarpus fortunei*), которую туристы встречают буквально на каждом шагу, — тоже инвазивный вид для Черноморского побережья Кавказа



Елена Гершелис

В Научно-технологическом университете «Сириус» мы создаём уникальную образовательную среду, где студенты сразу применяют на практике полученные академические знания. Каждый учащийся получает возможность внести свой вклад в решение актуальных экологических проблем, участвуя в международных проектах нашего Центра. Их наставники — ведущие российские и зарубежные эксперты. Это не просто обучение, а старт научной карьеры в глобальном профессиональном сообществе.

КАК СНИЗИТЬ СОДЕРЖАНИЕ CO₂ В АТМОСФЕРЕ



Переход на возобновляемую энергетику

Замена электростанций, работающих на ископаемом топливе (уголь или газ), на солнечные, ветряные, гидроэлектростанции, а также на АЭС (работают на невозобновляемом источнике энергии (уран), но считаются низкоуглеродными).



Повышение энергоэффективности

Снижение объёма потреблённой энергии там, где возможно. Добиться этого можно за счёт утепления зданий, использования энергосберегающих приборов (светодиодов), систем умных датчиков.





Электрификация промышленности и транспорта

Замена технологий, основанных на сжигании угля, нефти и газа, на электрические. Например, электродуговые печи в металлургии вместо доменных, электромобили вместо современных поездов вместо машин с двигателем внутреннего сгорания и устаревших локомотивов.



Экономика замкнутого цикла

Переход от модели «произвёл – использовал – выбросил» к системе, где отходы становятся ресурсом. Их ремонт и повторное использование, а также глубокая переработка снижают энергозатраты на производство новых продуктов и сокращают выбросы свалочного газа на полигонах твёрдых бытовых отходов (метан + углекислый газ).



Устойчивое градостроительство и умные города

Развитие городов с упором на пешеходные зоны, велосипедную инфраструктуру и общественный транспорт, чтобы сократить использование личных автомобилей. Строительство энергоэффективных зданий и озеленение городских пространств.







ГОРОД-САД

КАК АДАПТИРОВАТЬ ЖИЛУЮ СРЕДУ
К ИЗМЕНЕНИЮ КЛИМАТА



ГРАДОСТРОИТЕЛЬНЫЕ РЕШЕНИЯ — ОДНА ИЗ ФОРМ АДАПТАЦИИ К ГЛОБАЛЬНЫМ КЛИМАТИЧЕСКИМ ПЕРЕМЕНАМ.

Современный город не только испытывает на себе такие пертурбации, но и сам их провоцирует, пусть и локально. Как сделать его менее восприимчивым к подтоплениям и засухам и даже приспособить к экстремальным погодным явлениям? Ответ на этот вопрос подсказывает сама природа. Расскажем о городе-саде, городе-губке и об уникальном масштабном проекте, который задумали в Сириусе.

Город против стихии

В 2012 году Китай пережил серию наводнений. Вышедшие из берегов реки буквально затопили многомиллионные мегаполисы. Кульминацией разгула стихии стал ливень в Пекине 21 июля — осадки не прекращались 20 часов. Тогда в течение дня пришлось экстренно эвакуировать почти 57 тыс. горожан, 77 человек погибли. Разрушенными оказались по меньшей мере 8 200 домов. Только в столице урон составил 1,6 млрд долларов, а всего по стране — не менее 2,3 млрд.

После такого эксцесса власти КНР обратились к концепции города-губки, сформулированной ландшафтным архитектором и профессором Пекинского университета Ю. Кунцзянем. Он предложил природные решения для борьбы с наводнениями, а также с засухами и нехваткой пресной воды. Таких экстремальных событий на фоне глобального потепления, как мы уже писали ранее, становится больше. К тому же город сам активно влияет на окружающую среду.

Тайфуны нередко приносят в китайскую столицу мощные затяжные дожди, которые приводят к масштабным разрушениям и эвакуации тысяч людей



«Физические механизмы влияния городской среды на атмосферные процессы — это сложная система со многими составляющими. В частности, изменение свойств поверхности, которая становится непроницаемой для влаги. Это меняет тепловой баланс. Сложная геометрия ландшафта способствует развитию более интенсивного турбулентного обмена атмосферы с поверхностью. Меняются теплоёмкость и теплопроводность по сравнению с природными ландшафтами. В крупных городах антропогенный поток тепла от транспорта, отопления, кондиционирования может достигать более 100 Вт/м² — это треть того, что Земля получает от Солнца», — объясняет старший научный сотрудник лаборатории суперкомпьютерного моделирования природно-климатических процессов Научно-исследовательского вычислительного центра МГУ имени М. В. Ломоносова Михаил Варенцов.

Современный мегаполис — это скопление жёстких поверхностей: бетона, металла, стекла, асфальта и бордюрной плитки с редкими зелёными оазисами. Попадая в ливнёвки, дождевая или талая вода уходит по ним в очистные сооружения, а оттуда — в реки и водохранилища. В результате влага не задерживается в городе. Но во время обильных осадков, выпадающих за короткий промежуток времени, канализационная система не справляется. Напротив, в жаркие дни воды не хватает. В мегаполисах возникают так называемые острова тепла, когда воздух прогревается значительно сильнее, чем в пригороде.



Цвет автомобилей также влияет на повышение температуры в городе. Прошлогоднее исследование в Лиссабоне показало ожидаемый результат — машины чёрного цвета нагреваются сильнее белых, если сравнивать с обычным асфальтом (почти на 4 °С). Всё потому, что такая краска активно поглощает солнечное тепло, а белая — нет. Снизить этот эффект помогут навесы над открытыми стоянками и ограничение парковки для машин тёмных цветов.



«К примеру, в Лондоне в ясную погоду температура в центре города может превышать температуру на периферии на 8 °С. Особенно ярко эта разница выражена летом. А в Москве на волне жары июля 2021 года, когда днём воздух прогревался до +35 °С, ночью за городом он довольно сильно остывал — до комфортных 15–18 °С. При таких показателях человеческий организм успевает отдохнуть от теплового стресса, но в городе этого не происходит, если в квартире нет кондиционера. Ночные температуры, превышающие порог +24 °С, как в тропиках, представляют опасность для человека с точки зрения теплового стресса», — поясняет Михаил Варенцов.

Вот почему Ю Кунцзянь предложил сохранять воду — город должен впитывать её в дождливые дни, как губка, и отдавать в жаркие. Так можно снизить эффект теплового острова. Для реализации этой концепции, в которую Китай вложил миллиарды долларов, придумано множество решений. Так, в 30 мегаполисах появились гигантские экопарки с большим количеством водоёмов и заболоченных участков, для сбора осадков были созданы подземные хранилища, воду из которых можно использовать во время засух.

На смену привычным газонам в некоторых местах пришли дождевые сады — участки хорошо поглощающей влагу почвы с деревьями, растениями и углублениями для сбора жидкости. А при обустройстве тротуаров между блоками бордюрной плитки оставляют небольшие зазоры, заполненные щебнем, чтобы впитывать воду. Подобные и другие проницаемые дорожные покрытия из пористых материалов позволяют жидкости уходить в землю и пополнять грунтовые воды, проходя при этом естественную фильтрацию.

В городе можно размещать и так называемые камеры биологической очистки, где дождевая вода собирается, задерживается и дренируется. Это такой слоёный пирог из мульчирующего материала, фильтрующего слоя почвы, дренирующего слоя гравия, гравийного основания и дренажной трубы, под которой находится ненарушенный грунт. Хранить и транспортировать воду также позволяют биосейлы, или биодренажи, — траншеи

с растительностью, под которой проходит дренажная труба. Аналогичную функцию выполняют фонтаны, водопады и другие водные объекты.

Ещё один способ удержать влагу в городе — озеленение крыш домов с использованием нескольких слоёв почвы и грунта. Растения не только не дают нагреваться зданиям, но и поглощают большой объём выпадающих осадков. Вместе с грунтом они впитывают часть воды, а остатки уходят в мембранную систему. Она задерживает поток на несколько часов, чем разгружает систему водостока во время затяжных ливней. Причём этот подход работает не только в тёплом климате — даже для регионов с суровыми зимами можно подобрать выносливые растения, например очиток.

«Используя в комплексе эти инструменты и уменьшая сток, мы снижаем риски подтопления территорий. При этом можно получить и хороший экономический эффект. По статистике, затраты на строительство объектов вырастают на 1–3 %, зато недвижимость, при возведении которой применены современные подходы, может подорожать на 10–30 %. Из сметы уходят затраты на организацию классической ливнёвки, появляется много привлекательных зелёных зон», — говорит президент ассоциации «Гильдия ландшафтных инженеров» и преподаватель кафедры рационального природопользования географического факультета МГУ Алексей Саянов.



Декоративные
элементы вроде
сухих ручьёв
во время дождей
наполняются водой,
сохраняя остальную
инфраструктуру





↑
Озеленение крыш
в Берлине

Водоёмы Сириуса
позволяют
регулировать
уровень воды
в системе ливневой
канализации



Сегодня концепцию города-губки перенимают в Северной Европе, Канаде и США. Российские урбанисты также используют зелёную инфраструктуру, и в наших мегаполисах постепенно появляются сухие пруды и ручьи, дождевые сады, зелёные крыши, а также системы оборотного использования серой воды. Это вода из душевых, умывальников и стиральных машин, которая после локальной очистки может использоваться для технических нужд: полива растений, смыва унитазов, очистки тротуаров. Такой принцип «двойного оборота» снижает нагрузку на водозабор и канализацию, а экономия питьевой воды может достигать до 40 %.

«Хороший пример — территория Образовательного центра „Сириус“. Здесь системы сбора и повторного использования серой воды будут интегрированы в комплексную экологическую инфраструктуру: дождевые сады, испарительные водоёмы, зелёные кровли. Серая вода позволит не только экономить ресурсы, но и формировать комфортный микроклимат. Таким образом, именно южные регионы России могут стать площадкой для адаптации лучших международных практик по серой воде к нашим реалиям», — отмечает директор Научно-исследовательского института устойчивого развития в строительстве (НИИУРС) Вера Бурцева.

Джунгли, но не каменные

Градостроительные решения, продиктованные самой природой, сегодня применяются всё чаще. Хотя мысль превратить город в сад не нова. Пожалуй, самое яркое воплощение она получила благодаря английскому социологу Эбенизеру Говарду. В конце XIX века он предложил объединить преимущества жизни в городе и за его пределами. Так родилась концепция города-сада, ставшая ответом на проблемы урбанизации того времени.

По задумке Говарда, город должен быть компактным и утопать в зелени, а до всех его ключевых объектов вроде больницы или школы можно достаточно быстро идти пешком. Автор концепции хотел отделить промышленные зоны от жилых районов кольцом из садов и сельскохозяйственных угодий. В центре населённого пункта — площадь и парк. Они окружены малоэтажной застройкой с жилыми

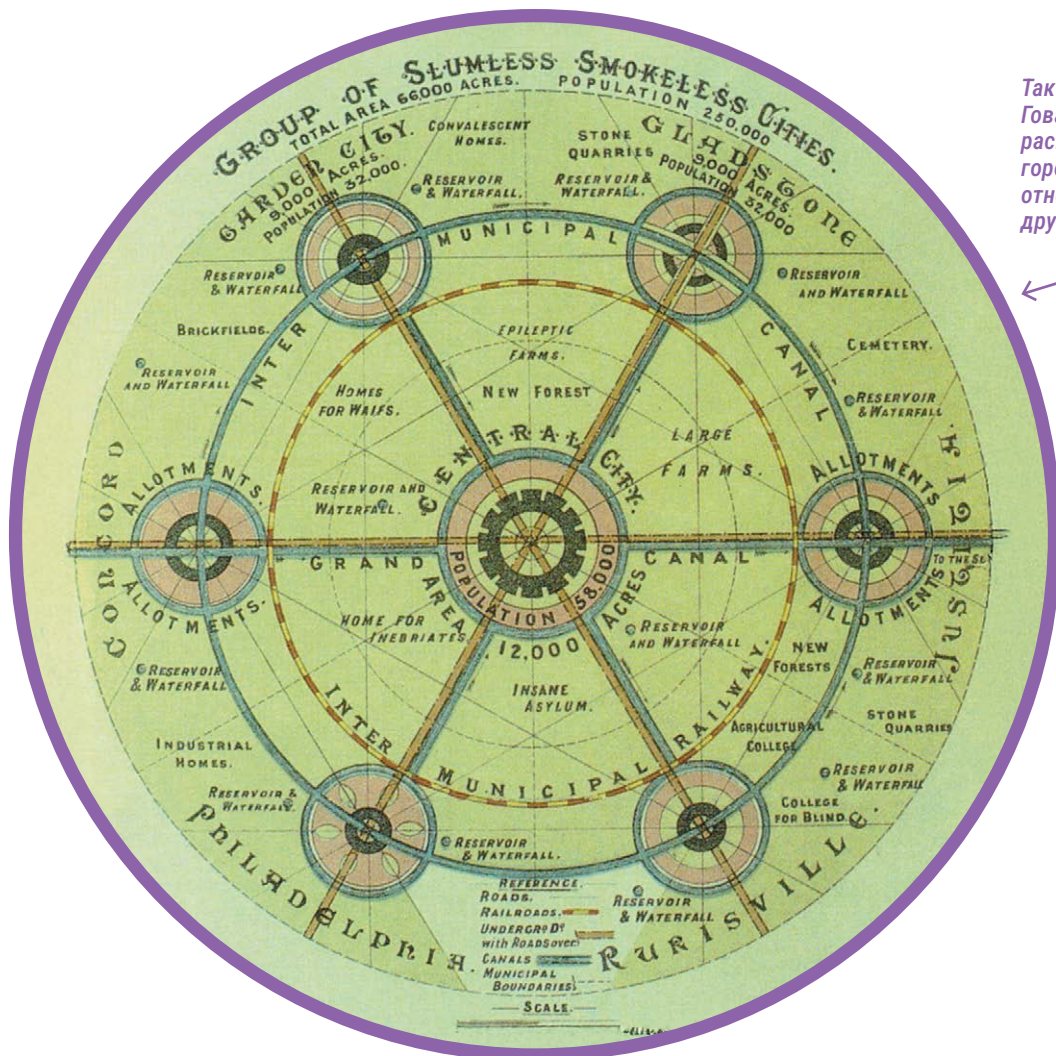
и общественными зданиями. Из сердца города лучами расходятся бульвары, которые делят территорию на сектора. На периферии промышленные предприятия и сельхозземли, окружённые нетронутой природой. Говард считал, что население таких городов должно ограничиваться несколькими десятками тысяч жителей, а если населённый пункт разрастается, по соседству строится новый. Со временем подобная агломерация окружила бы мегаполис, а связать их между собой должны были поезда или трамваи.

Концепцию впервые воплотили в британском Летчворте. До начала XX века это была небольшая деревня, пока большую её часть вместе с окрестными землями не выкупила компания Эбенизера Говарда и его сторонников. Затем новый подход применяли при переустройстве других населённых пунктов, в том числе некоторых районов Лондона.



Сегодня
в Летчворте живёт
около 35 тысяч
человек

Так Эбенизер
Говард видел
расположение
городов-садов
относительно друг
друга





↑
Район Кёнигсберга
Ратсхоф
в 1920-х годах

Районы-сады Кёнигсберга

В начале прошлого века будущий Калининград бурно застраивался, и там тоже нашла воплощение концепция города-сада. Её реализовали в районах Амалиенау и Ратсхоф. Первый облюбовали богатые горожане. Трамвайная линия связывала его с центром Кёнигсберга. Прусские градостроительные нормы разрешали планировку только прямых улиц, так что для кольцевой застройки в них пришлось вносить изменения. Архитектурный замысел приводил в жизнь один подрядчик. Каждый дом строился по индивидуальному проекту, к зданиям подводили водопровод и канализацию, освещение было электрическим. Но Первая мировая война и экономический кризис 1929 года не дали довести до конца первоначальный замысел, и часть района была построена быстровозводимыми дешёвыми домами.

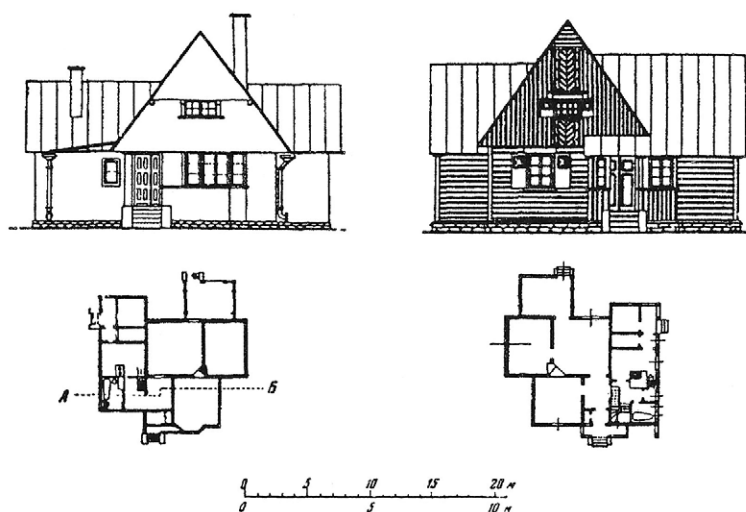
Параллельно с Амалиенау развивался Ратсхоф. Это был район не для элиты, а для рабочих вагоностроительного завода Кёнигсберга. Предполагалось превратить его в благоустроенный городок с удобным недорогим жильём. Там строились двухэтажные дома — как для отдельных семей, так и многоквартирные. В каждом были кухня, туалет, ванная, прачечная. С годами Ратсхоф стал престижным районом Кёнигсберга.

Английские ростки дали всходы по всему миру. Районы-сады появлялись в Брюсселе, Барселоне, Гамбурге, Кёнигсберге. Не стала исключением и Москва. В 1920-х годах в советской столице не хватало жилья, и чтобы решить эту проблему, власти разрешили горожанам возводить дома за свой счёт и объединяться в кооперативы. В 1923 году на севере Москвы был основан первый в столице кооперативный посёлок Сокол. Его ещё называли «посёлком художников», хотя жили там не только живописцы, но и сотрудники наркоматов, экономисты, учителя, агрономы, представители технической интеллигенции. Всего насчитывалось больше сотни домов (многие были построены по индивидуальным проектам). К услугам их жильцов были продовольственные магазины, столовая, библиотека, детский сад, парк и спортивные площадки. Интересно, что каждую улицу засадили определёнными деревьями: Сурикова — липами, Брюллова — клёнами, Шишкина — ясени, Саврасова — тополями.

В 1936 году кооперативное строительство в СССР свернули, и все дома Сокола перешли в собственность Москвы. С начала 1950-х было несколько попыток сноса посёлка, но в итоге этого удалось избежать. А в 1979 году Сокол стал памятником градостроительства первых лет советской власти и теперь охраняется государством.

Помимо Москвы, новую градостроительную концепцию с разной степенью успешности пытались внедрять в Ростове-на-Дону, Вологде, Иванове, Мытищах, Жуковском, Бийске, Рубцовске, Горно-Алтайске. Впрочем, ко второй половине XX века идея города-сада утратила популярность. Для воплощения таких проектов требовались внушительные инвестиции. К тому же поселковый формат поселений не выдержал конкуренцию с большими городами, привлекающими людей масштабом и новыми возможностями. Да и мегаполисы сегодня становятся зеленее.

«Сегодня взгляд на город как на что-то противоположное природе с точки зрения антропогенной нагрузки устаревает. С учётом доступности современных технологий дистанционного зондирования, цифровых моделей, мастер-планирования идею о городе-саде можно переводить в цифры. Появилось понятие „экосистемные услуги“, то есть имеющие количественный эквивалент блага, которые можно получать от зелёной инфраструктуры. Современные методы позволяют насыщать идею, делая задачу описываемой и достижимой», — говорит доктор биологических наук и профессор департамента ландшафтного проектирования и устойчивых экосистем Российского университета дружбы народов им. Патриса Лумумбы Вячеслав Васенев.



Проекты дома
для одной семьи
в посёлке Сокол



Сады Сириуса

Образ города-сада не перестаёт манить архитекторов и градостроителей. Его элементы сочетаются с популярной сегодня идеей компактного проживания людей — концепцией 15-минутного города. Это когда всё, что вам нужно для повседневной жизни, находится недалеко от дома либо доставляется домом. Такой подход находит отражение в современных экокварталах и загородных посёлках. А крупнейшим городом-садом XXI века может стать первая в России федеральная территория. Для этого в Сириусе намерены создать первый в стране национальный водный природно-климатический парк.



В Сириусе много мест, где можно с натуры написать прекрасную картину

«Сейчас в каждом уголке федеральной территории есть свои красивые места, но концептуально они пока не объединены. Это можно изменить с помощью искусственного озеленения, выразительной геопластики (искусственное преобразование рельефа. — Прим.ред.), композиционных решений и подбора растений. В проекте нового парка Сириуса я увидела прекрасную идею, которая полностью отвечает этому принципу, — концепцию природно-водного ландшафта. Там появятся тематические павильоны, названия которых будут связаны с посаженными рядом определёнными деревьями, а планировка, формы и элементы благоустройства обыграют эту ключевую идею. К примеру, силуэт дубового листа в рисунке дорожек, камень-жёлудь в инсталляции или другие творческие находки ландшафтных дизайнеров», — рассказывает научный сотрудник Междисциплинарного научного

центра антропологических исследований в образовании РГПУ им. А. И. Герцена ландшафтный архитектор Елена Штиглиц.

Подход к формированию водно-зелёного каркаса первой федеральной территории будет научно обоснован. Сейчас учёные Университета «Сириус» определяют, какие аборигенные и интродуцированные растения лучше всего переносят городской стресс. Также оценивают способность местных почв фильтровать воду, питать растения, поглощать и выделять углерод. Итогом этой масштабной работы станет карта размещения зелёных зон, где будет рассчитано оптимальное соотношение между озелёнными и застроенными участками. Работа в этом направлении началась ещё несколько лет назад, когда учёные взяли первые пробы грунта. Они собрали образцы в разных местах федеральной территории.



Нас сильно удивил тот факт, что все рекультивационные горизонты в Сириусе сформированы поверхностными горизонтами чернозёмов, которые распространены в Ростове-на-Дону или в Краснодаре. То есть здесь много привозных почвенных масс, не свойственных данной территории. В условиях субтропиков такие городские почвы выделяют намного больше CO_2 , поэтому мы сейчас изучаем не только уже функционирующие конструкторы, созданные во время строительства олимпийских объектов, но и механизмы использования для рекультивации отдельных горизонтов местных почв вместо чернозёмов. Именно оценка и разноплановое изучение уже созданных парковых зон позволит нам избежать ошибок при формировании стабильных почвенных конструкций на федеральной территории «Сириус» в будущем

Сергей Горбов,
руководитель научной группы, которая занимается исследованием местных конструкторов в Международном научном центре в области экологии и вопросов изменения климата Университета «Сириус»



Строительство
Ледового дворца
спорта «Айсберг»,
2011 год



Конструкторы — это созданные человеком многослойные почвенные системы. Они неотъемлемый компонент благоустройства территорий по окончании строительных работ и при восстановлении городских зелёных зон. Очевидно, масштабная стройка, которую пережила Имеретинская низменность при подготовке к Олимпиаде-2014, потребовала использования больших объёмов почвенных масс — основы для конструкторов. Сохранить свежесаженные растения могла лишь имитация естественной почвенной среды, которая бы удерживала воду, питала корни, поддерживала жизнь микроорганизмов и поглощала углекислый газ.

Теперь исследователи намерены не только изучить состояние сформированных в Сириусе конструкторов, но и создать, а также протестировать разные типы почвенных конструкций, сложенных местными материалами, стабильно функционирующими в условиях влажного субтропического климата. Для этого на территории Олимпийского парка будет создана экспериментальная площадка — своеобразная лаборатория



Почвоведы
из Университета
«Сириус» отбирают
почвенные пробы
в самом сердце
Олимпийского
парка



под открытым небом, которая объединит десятки вариаций «новых» почв.

«На федеральной территории утверждена государственная программа научно-технологического развития. Учёные Университета „Сириус“ проводят исследования и решают практические задачи — создают полигоны для определения оптимальных почв и газонных покрытий для нашей климатической зоны влажных субтропиков. Устойчивое травяное покрытие из местных растений позволит снизить затраты на полив, поскольку будет в основном питаться естественными осадками. Параллельно мы обсуждаем проекты по использованию тепла, вырабатываемого зданиями. Например, рассматриваем возможность строительства рядом с ледовыми аренами бассейнов. Воду в них можно было бы подогревать с помощью тепла, выделяемого при охлаждении спортивных объектов. За счёт таких решений можно серьёзно экономить», — делится планами глава администрации федеральной территории «Сириус» Дмитрий Плишкин.





Покраска в белый цвет не только стен домов, но и крыш позволяет снизить нагрев зданий

Сочетание больших олимпийских арен и открытых пространств создаёт в Сириусе ощущение разрежённости застройки. Наполнить пространство между ключевыми зданиями помогут и малые архитектурные формы, в том числе арт-объекты. С их помощью можно разбивать ветровые потоки.

Отдельное внимание – береговой линии. Её особая конфигурация и нередкие для Чёрного моря штормы повышают требования к гидротехническим и защитным сооружениям. Сложная инженерная инфраструктура требует не просто поддержания в рабочем состоянии, но и адаптации под новые задачи территории. Должна быть она готова и к возможным климатическим рискам. Рассчитать их вероятность помогут прогнозные модели. С их помощью можно создать виртуальную копию («цифровой двойник») Сириуса, способную точно воспроизводить гидрометеорологические характеристики федеральной территории.



«В Сириусе можно смоделировать различные сценарии в масштабе как отдельных зданий, так и всей федеральной территории. Посмотреть разные планы застройки и оценить риски и проблемы, которые возникают в каждом из них, а также наложить на них тренды изменений климата», — предлагает Михаил Варенцов.

Например, определить зоны, которые сильно перегреваются и требуют навесов, или оценить эффективность перекрашивания крыш в белый цвет (белые крыши лучше отражают солнечные лучи и меньше нагреваются).

Но, пожалуй, самое главное — сделать город комфортным, а его инфраструктуру — доступной жителям и туристам. Так считает катарский профессор архитектуры и городских теорий Али Абдельрауф

Али Абуэльсаад из Университета Хамада бин Халифа.

«Пример — набережная Сириуса с велодорожкой, детскими и спортивными площадками. Там всё интегрировано и продуманно, и променады не прерываются, даже когда проходит мимо дорогих отелей. Создаётся ощущение, что всё это доступно, оно для тебя. Это критически важно для концепции города-сада. Если вы чувствуете, что город вас принимает, позволяет вам наслаждаться набережной и парками, значит, он ваш, и вы его часть. Для меня это ощущение принадлежности — один из прекрасных инструментов для знакомства с концепцией зелёного города не на искусственном и поверхностном, а на очень глубоком уровне», — говорит он. ■

Елена Гершелис

Больше половины людей на Земле живут в городах. В нашей стране горожане составляют около 75 % населения. Очевидно, что именно крупные населённые пункты нужно адаптировать к климатическим изменениям и опасным природным явлениям, которые они провоцируют. И решения для этого есть — как архитектурные, так и ландшафтные. Применять и те и другие намерены в Сириусе при создании первого в России водного природно-климатического парка. Важно, что эта работа будет иметь под собой научную базу и станет показательным примером роли науки в решении прикладных задач. Планируем наделить будущий парк особым охранным статусом, поэтому вполне можно говорить о свежем взгляде на концепцию города-сада. Если удастся воплотить её в жизнь, а я уверена, что это получится, мы создадим мировой прецедент.



Высадка соснового
бора в Херсонской
области в рамках
национального
проекта
«Экология». Так
восстанавливают
лесные массивы,
уничтоженные
в результате
обстрелов





«ЦЕЛИ ДОЛЖНЫ БЫТЬ
АМБИЦИОЗНЫМИ —
ТОЛЬКО ТАК МОЖНО
РАЗВИВАТЬСЯ»



В РОССИИ СТАНОВИТСЯ БОЛЬШЕ ЛЮДЕЙ, КОТОРЫЕ ЗНАЮТ О ПРОИСХОДЯЩИХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЯХ И ОБЕСПОКОЕНЫ ИМИ.

Они хотят как-то нивелировать их последствия и готовы действовать. Что нужно делать и на чём сфокусироваться? Какую роль в снижении рисков играют фундаментальная наука и сбор объективных репрезентативных данных? Как адаптироваться к глобальным переменам? Ключевые вопросы, которые мы подняли в этом номере, решили задать геоэкологу Екатерине Филимоненко — ведущему научному сотруднику соответствующего направления в Международном научном центре в области экологии и вопросов изменения климата Университета «Сириус».



↑
Екатерина
Филимоненко

— **Екатерина Анатольевна, какие последствия глобальных климатических изменений негативнее всего могут повлиять на Россию?**

— Россия — огромная страна с очень большим градиентом природных зон, поэтому климатические изменения в отдельных её частях, безусловно, дадут негативные эффекты, хотя в некоторых, наоборот, позитивные. Среди первых, вызывающих особую обеспокоенность из-за их обратной связи с климатом и усиливающего эффекта на происходящие изменения, выделю учащение и усиление природных пожаров. Это один из фокусов научных исследований в нашей группе. Другие неблагоприятные эффекты проявляются в трансформации режимов осадков, что может приводить к контрастам засух и затоплений.



Нельзя забывать и про деградацию многолетней мерзлоты, которая провоцирует повреждение важной инфраструктуры, в том числе связанной с нефтедобычей.

— Какие адаптационные решения помогут сгладить негативные последствия изменения климата в России?

— Как я уже сказала, страна у нас большая, и каждому региону требуется свой высокоспециализированный путь адаптации. Базироваться он должен на фундаментальных научных исследованиях. Например, необходимо сфокусироваться на селекции сельскохозяйственных культур с повышенной устойчивостью к засухам или температурному стрессу. Или искать технологические решения, направленные на стабилизацию деградирующей мерзлоты для поддержания функциональности инфраструктуры: зданий, дорог, трубопроводов.

— Может ли наша страна что-то выиграть от климатических изменений?

— Да, например, сельскохозяйственный сектор. Напомню, растения буквально питаются углекислым газом, так что выбросы CO₂ создают для них благоприятную среду. К тому же с повышением температуры увеличивается интенсивность фотосинтеза и образования органических веществ. Увеличение продуктивности естественных экосистем в средней полосе приведёт к повышению урожайности и снижению некоторых рисков земледелия. А расширение площади лесов означает больший объём поглощённого углерода.

Часть трассы «Колыма» подвержена эрозии из-за таяния многолетнемерзлых грунтов



— **Достижение баланса выбросов и поглощения к 2060 году — критически важная для России цель или этот срок можно пересмотреть?**

— На мой взгляд, цели должны быть амбициозными — только так можно развиваться. А исследования и разрабатываемые меры нужно сфокусировать на двух процессах. Во-первых — на снижении выбросов. Во-вторых — на поиске таких подходов к управлению экосистемами, которые позволят увеличить их поглощающую ёмкость.

Отрицательный углеродный баланс экосистем России

В ноябре 2025 года руководитель карбонового полигона «Урал-Карбон» Виктор Валдайских представил карту среднегодового поглощения углекислого газа экосистемами России. Она основана на разработанной специалистами полигона математической модели, которая, в свою очередь, базируется на метеорологических и спутниковых данных, собранных более чем за 10 лет на 180 экспериментальных станциях Северного полушария. Расчёты показали, что природные сообщества нашей страны каждый год поглощают в среднем около 1,1 млрд тонн CO₂, выделяя при этом порядка 0,3 млрд тонн. Таким образом, формируется отрицательный углеродный баланс — около 0,8 млрд тонн CO₂ в год. Антропогенные источники выбросов при моделировании не учитывались.

— **Достаточно ли сегодня объективных данных для того, чтобы оценить уровень выбросов и поглощения парниковых газов в России? Что необходимо сделать, чтобы получить набор репрезентативных данных?**

— За последние несколько лет в России было очень много сделано для организации системы мониторинга за потоками климатически активных газов. Сейчас важно продолжать эту планомерную работу, рассчитанную на десятилетия. Достоверность оценок и прогнозов зависит от полноты, детальности и надёжности входных данных, поэтому так важно не прекращать их сбор. Длительные тренды могут быть установлены только по соразмерным временным рядам наблюдений.

По сути, вызовы климатической науки такие же, как и в любой другой науке, а в России они точно такие же,

как и в других странах. Ведь наука по сути своей глобальна. Я много общаюсь с иностранными коллегами, и мы все отмечаем, что ключевой элемент успешного проекта — это команда. Нужны люди, увлечённые своим делом и обладающие широкими компетенциями и знаниями. Поэтому если мы хотим быть эффективными и занимать лидирующие позиции (а мы хотим!), важно сфокусироваться на людях: развивать креативность, привлекать и стимулировать талантливых и трудолюбивых исследователей, поддерживать доброжелательную конкуренцию.

— **Какие климатические исследования, проводимые в Сириусе, вы бы выделили с точки зрения значимости для фундаментальной науки?**

— И фундаментальные, и прикладные исследования критически важны. Безусловно, у них разные цели и разные

Экспедиция в Приэльбрусье сотрудников Международного научного центра в области экологии и вопросов изменения климата Университета «Сириус»



горизонты планирования. Например, наша группа в большей степени работает по фундаментальному треку. Мы исследуем механизмы, ответственные за длительное сохранение углерода в почве. Они влияют на снижение CO_2 в атмосфере. В наземных экосистемах почва — самый большой резервуар углерода, и для того чтобы найти способы управления потоками парниковых газов, нужны глубокие знания о том, как удерживать в ней углерод надолго и как на его сохранение действуют экстремальные краткосрочные события и долгие тренды. Эти знания — основа для всех последующих прикладных исследований, поэтому они так важны!



Один из симптомов глобального потепления по всему миру — отступление ледников. На свободных ото льда территориях развиваются растительные сообщества и формируются почвы. Это точки активного накопления углерода, и увеличение их площади может оказывать существенное влияние на углеродный цикл. Недавно мы вернулись из экспедиции на Эльбрус, целью которой было оценить влияние контрастных природных условий на механизмы стабилизации углерода в почвах — абиотических (в первую очередь температурных, изменение которых обусловлено высотным градиентом) и биотических (тип биоценоза в зависимости от времени, прошедшего после отступления ледника).

Глобальное отступление ледников обнажает новые дегляцированные территории, предоставляя уникальную возможность понять развитие почвенных экосистем в условиях изменяющегося климата. Благодаря экспедиции мы собрали материал для первого шага в изучении процессов накопления и стабилизации

углерода в почвах Кавказского региона на самых ранних стадиях их развития. Это позволит понять фундаментальные механизмы, лежащие в основе регулирования углеродного цикла.

— **Как вы оцениваете уровень осведомлённости населения России о происходящих климатических изменениях? Есть ощущение, что этому вопросу в нашем обществе всё ещё не уделяют должного значения. Или что-то меняется?**

— Однозначно меняется. Совершенно точно, что всё больше людей не просто осведомлены о климатических изменениях, но обеспокоены ими и хотят делать что-то, чтобы снизить риски. Конечно, среди них преобладает молодёжь. Для неё экологическая повестка очень важна, и она искренне заинтересована в том, чтобы исследовать проблему, разрабатывать технологии для снижения негативных последствий изменений и искать меры, чтобы эти изменения замедлить. ■

Софийский ледник
в Карачаево-Черкесии



Концертный центр «Сириус»
Федеральная территория «Сириус»,
ул. Чемпионов, 5



ФЕДЕРАЛЬНАЯ
ТЕРРИТОРИЯ
«СИРИУС»



Сириус
концертный
центр



22.12.25—
14.01.26
НОВОГОДНИЙ
МУЗЫКАЛЬНЫЙ
ФЕСТИВАЛЬ
«СИРИУС»



Образовательный Фонд «Талант и успех», ОГРН 1147700000172, РФ, 354340,
федеральная территория «Сириус», Олимпийский проспект, д. 40

Узнайте подробности
и закажите билеты
по телефону или онлайн
concert.sirius.ru
8 800 200 61 11

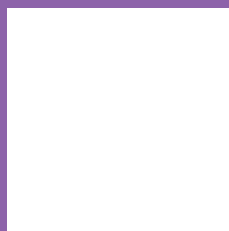




ОФИЦИАЛЬНЫЙ
ЖУРНАЛ
ФЕДЕРАЛЬНОЙ
ТЕРРИТОРИИ
«СИРИУС»
SIRIUSMAG.RU



SIRIUSMAG.RU



**ПОДПИСЫВАЙТЕСЬ
НА НАС В ТЕЛЕГРАМ**