

Техногенные аномалии климата и стратегическое планирование

Климатические аномалии

На эволюцию человечества всегда заметное влияние оказывали изменения природной обстановки: колебания климата и аномальная погода, землетрясения, природные катаклизмы и пр. Зачастую человек был вынужден мигрировать из привычных мест обитания в связи с ухудшением условий.

Ныне масштабы антропогенного воздействия на природу стали планетарными. Это обуслови-

вает значительные по простиранию и интенсивности изменения в окружающей среде, что в свою очередь заметно снижает устойчивость эколого-экономических систем, приводит к необратимым и даже катастрофическим изменениям в динамике природных процессов и резко меняет привычные условия жизнедеятельности людей на обширных территориях.

Участились техногенные катастрофы; это, как правило, связано с интенсивным загрязнени-

ем окружающей среды, обусловленным добычей и транспортом больших объемов углеводородного сырья (в частности, нефти). Отмечается, что в последние десятилетия скорость роста частоты аномальных явлений в окружающей среде увеличивается. Несомненно, существует тесная взаимосвязь между изменениями климата и техногенным воздействием человека на окружающую среду.

За последние 15 лет количество опасных гидрометеорологических явлений в России утроилось; при этом новые явления не наблюдаются — увеличиваются число и масштабы привычных. По мнению климатологов, имеет место не столько возникновение нового климата, сколько «разба-

Красс Максим Семенович — доктор физико-математических наук, профессор кафедры «Математическое моделирование экономических процессов» ФГОБУ ВПО «Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации».

Мерзликин Владимир Гаврилович — кандидат технических наук, доцент кафедры физики МГТУ МАМИ.

лансировка» (изменение) прежнего. К тому же при глобальном потеплении разность температур между полярными и тропическими широтами уменьшается, что приводит к снижению их взаимного блокирующего влияния.

Сегодня необходимо особо выделить изменения техногенного происхождения в окружающей среде. Поясим актуальность такой постановки вопроса на недавнем известном событии.

Обратимся к катастрофе в Мексиканском заливе в апреле 2010 г., в результате которой из поврежденной скважины за 130 дней в Атлантический океан было выброшено около 1 млн т сырой нефти. Вслед за этим событием случилось аномально жаркое лето, затронувшее обширную часть Европы (в том числе и Россию); оно стало причиной катастрофического неурожая и многочисленных чрезвычайных ситуаций (в том числе и демографических). Летняя жара и засуха обернулись большими непредвиденными трудностями для экономики и населения нашей страны.

Аномальная жара в Европе, как известно, была обусловлена тем, что в течение примерно двух месяцев над восточной половиной Европы в тропосфере (на высоте 8–10 км) располагалась дуга струйного течения, изгибавшаяся к северу. Это обеспечило устойчивый вынос тропического воздуха в данный регион и поддержание очага тепла на всех высотах, что в свою очередь повлекло за собой развитие устойчивого антициклона.

Обычно такие дуги (называемые также длинными волнами, или волнами Россби) постепенно смещаются с запада на восток, вызывая смену погоды в умеренных широтах — чередование жары и похолоданий, однако в данном случае этого не произошло. Развитие антициклона явилось прежде всего следствием образова-

ния стационарной волны струйного течения. Этот длительный процесс над европейской территорией России летом 2010 г. имел и обратную сторону: интенсивный заток холодных арктических воздушных масс по восточной периферии дуги. Как следствие, в Западной Сибири прошедшее лето было аномально холодным и дождливым.

Здесь уместно указать на фактор, определяющий погоду на Европейском континенте, — это Атлантика, являющаяся «поставщиком» циклонов в данный регион. Циклоны образуются вследствие интенсивного испарения воды с поверхности океана, причем основной вклад в этот процесс вносит Гольфстрим, снабжающий теплом западное и северное побережье Европы и атлантический сектор Ледовитого океана.

Разлив нефти в Мексиканском заливе вблизи Гольфстрима способствовал появлению уже в августе загрязнений у восточного побережья США. Ширина Гольфстрима составляет порядка 100 км,

а общая протяженность его маршрута — до 10 000 км, поэтому перенос течением обусловил площадь загрязнения не менее 1 млн км² (см. рис. 1 — карту загрязнения поверхности Атлантического океана NASA). Согласно расчетам, далеко от Мексиканского залива, в центре Северной Атлантики, образовалось громадное размываемое нефтяное пятно.

Метеорологическими наблюдениями было зафиксировано, что «большая русская жара» 2010 г. перекрыла пик «большой европейской тепловой волны» 2003 г. Температурные измерения в начале августа 2010 г. на поверхности воды показали, что с 1850 г. в главном секторе зарождения ураганов в Атлантике не наблюдались столь высокие температуры. Они способствовали росту вероятности зарождения ураганов с середины августа по середину октября 2010 г.

Поскольку техногенная катастрофа в Мексиканском заливе является типичной для современных технологий энергообеспе-

Рисунок 1

Карта нефтяного загрязнения Атлантики через два месяца после разлива нефти в Мексиканском заливе (результаты моделирования)



чения, постараемся дать ответ на важный вопрос: связана ли климатическая аномалия лета 2010 г. с разливом нефти, то есть имеет ли она техногенное происхождение? Для этого нам придется воспользоваться результатами и выводами соответствующих физических и математических моделей.

Физические и математические модели причин аномалии

В конце 1980-х годов и в 1990-х авторами этой статьи был разработан ряд физических моделей светорассеивающих и поглощающих сред, позволивших обосновать новые математические модели природных процессов и объяснить ряд наблюдаемых явлений в динамике полярных ледников, а также теп-

Основу соответствующих математических моделей составляет задача об экранировании водной поверхности теплоизолирующими (или терморегулирующими) покрытиями как оптически неоднородными средами, состоящими из рассеивающих, поглощающих и излучающих органических веществ.

Базовой математической моделью, используемой в качестве аппарата количественных расчетов и оценок, является замкнутая система следующих математических соотношений:

- одномерное дифференциальное уравнение теплопроводности, коэффициенты которого включают в себя ряд оптических и теплофизических параметров морской воды (природной среды) согласно упомянутым выше физическим моделям;

Участились техногенные катастрофы; это, как правило, связано с интенсивным загрязнением окружающей среды.

лофизику антарктических озер. На этой основе сейчас созданы новые физические модели водно-теплового баланса акваторий и атмосферных потоков, образующихся над водной поверхностью, загрязненной разливом нефтепродуктов. Загрязнения на поверхности воды рассматриваются как непрозрачные или полупрозрачные взвеси (пленки) с селективными свойствами ослабления лучистых потоков тепла в видимом ближнем и среднем инфракрасном диапазоне длин волн потока солнечного излучения, а также атмосферного потока тепла с учетом конвективного теплопереноса.

Объектом исследования является трехслойная модель: вода — полупрозрачный оптически неоднородный загрязненный слой (отражающий и излучающий) — атмосфера.

- зависимость поглощения солнечного излучения в воде от глубины (в рамках теории переноса солнечного излучения);
- сложное нелинейное граничное условие на поверхности воды, включающее в себя теплообмен (отражение в коротковолновом и переизлучение в длинноволновом диапазонах, а также конвективная составляющая) с различными значениями коэффициента пропускания солнечного излучения через пленку или взвесь загрязнения в воду;
- задание оптических характеристик нефтяной пленки (эмульсии) на поверхности воды.

Численные расчеты

Приведем здесь результаты моделирования для условий нестационарного теплообмена. Модельные расчеты проводились для нескольких сценариев сочетания оптических характеристик плен-

ки (эмульсии) на поверхности морской воды, оптических и теплофизических параметров воды, а также условий теплообмена на границе раздела вода — воздух.

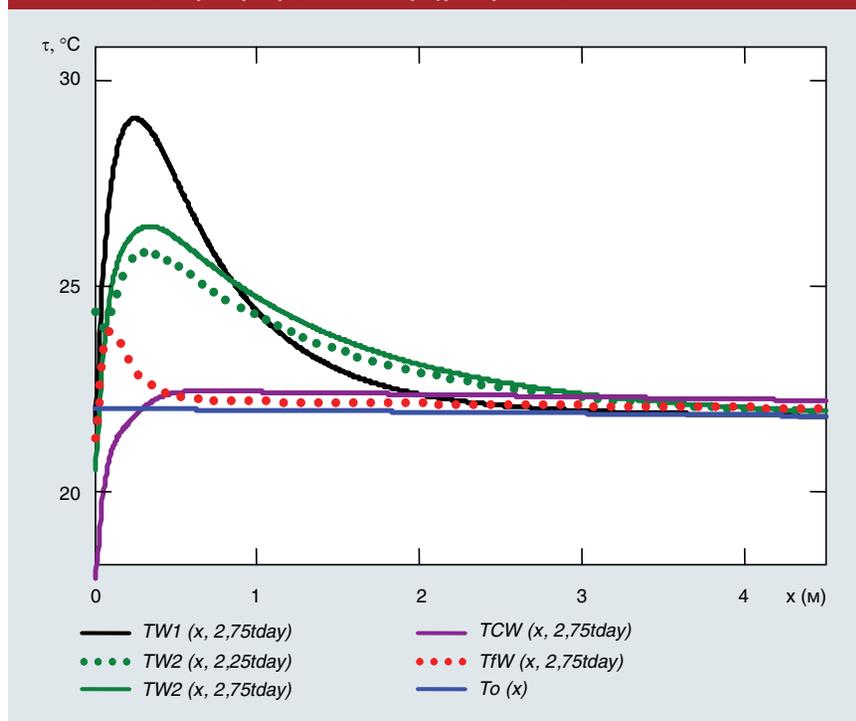
Расчетные температурные распределения по глубине, формируемые в толще морской воды на третьи сутки в астрономический полдень ($t = 2,25$ сут) и астрономическую полночь ($t = 2,75$ сут), представлены на *рис. 2*. Внешние условия моделировались как осциллирующие синфазные потоки тепла от солнечного излучения и атмосферы. Испарение с водной поверхности является сложным и нелинейным по температуре процессом, и поэтому энергетические затраты на испарение q_v рассматриваются в упрощенной форме: в граничном условии принято для чистой воды $q_v = 25$ Вт/м², для загрязнения в виде водно-эмульсионной взвеси нефти — 12,5 Вт/м², для нефтяной сплошной пленки — 0.

Загрязнение морской воды вызывает рост ее альбедо не менее чем в два раза (до 25%), что влияет на распределение энергии солнечного излучения. Расчеты проводились с модельным изменением за сутки солнечного потока от 0 до 500 Вт/м² и температуры атмосферы от 20 до 30°C для безоблачных июльских дней в районе течения Гольфстрим (~30° с.ш.). Начальное температурное распределение по глубине в стоем слое воды $T_0(x)$ принималось линейным с градиентом 0,04°C/м, что соответствует наблюдениям.

Прогрев толщи чистой морской воды (кривая T_{CW}) характеризуется пониженной температурой на поверхности (за счет потерь тепла на собственное переизлучение и испарение) с малым градиентом температуры по глубине пропорционально функции теплового источника — поглощения солнечного потока по закону Бугера. Температура воды постепенно увеличивается, обес-

Рисунок 2

Расчетные нестационарные распределения температуры морской воды



печивая глубинный прогрев на величину не более одного градуса на третьи сутки модельной безоблачной «тихой» погоды океана.

Другие кривые описывают температурные распределения с загрязненной поверхностью воды: TfW — сплошная нефтяная пленка; $TW1$ и $TW2$ — эмульсии с различным поглощением солнечного излучения (концентрация нефти в воде соответственно 0,002 и 0,001). Формирующийся на глубине 10–40 см температурный максимум обусловлен объемным лучистым прогревом воды и пониженным стоком тепла с загрязненной поверхности океана (из-за уменьшения испарения и переизлучения).

Максимальное значение температуры на поверхности воды соответствует суммарному времени нагрева $t = 2,25$ сут (кривая $TW2(x, 2,25tday)$), минимальное — $t = 2,75$ сут для двух оптических моделей водно-эмульсионной нефтяной взвеси (кривые

$TW1(x, 2,75tday)$, $TW2(x, 2,75tday)$). Суточные колебания температуры атмосферы и солнечного потока обуславливают осцилляции температуры на поверхности океана, которые меняют не только свой градиент, но и его знак. К ночи имеет место сток кондуктивного тепла к поверхности из перегретой поверхностной области, а к полудню в процессе наблюдается естественная инверсия тепловых потоков.

В случае сплошной полупрозрачной нефтяной пленки (кривая TfW) имеет место рост поглощенного (до 30%) и отраженного (до 60%) потоков солнечного излучения; при этом поток солнечного тепла, воздействующий на глубинные слои морской воды, уменьшается до ~ 200 Вт/м² (что существенно меньше поглощенного потока тепла для чистой океанической воды ~ 470 Вт/м²). Для этого случая характерен интенсивный прогрев воды вблизи поверхности. При загрязнении эмульсией (кривые $TW1$, $TW2$) температура воды может дости-

гать 30°C. Для водно-эмульсионных взвесей, частично экранирующих проникающий поток солнечной энергии, на больших глубинах при $x > 3-5$ м температура меньше, чем в случае прогрева чистой воды. При длительном нагреве солнечным излучением температура воздушной среды также возрастает за счет увеличенного альбедо загрязненной воды и кондуктивного и конвективного стоков тепла.

Климатические последствия разлива нефти в Мексиканском заливе

В этом разделе мы приведем качественную физическую интерпретацию полученных модельных результатов.

Как следует из модели, зона аномального прогрева воздуха над загрязненной поверхностью морской воды (и зарождения антициклонов) не только активно расширялась, но и продвигалась на восток вместе с Гольфстримом (см. *рис. 1*). Это обеспечило формирование над обширной поверхностью океана обезвоженных конвективных потоков — воздушных атмосферных течений.

Гольфстрим — это источник огромного количества влаги (за счет испарения) и тепла для атмосферы. В зоне его действия выделяются так называемые энергоактивные зоны океана, в которых суммарное выделение тепла в атмосферу на порядок превышает среднеширотные оценки. Еще в прежние годы академик Г.И. Марчук сформулировал концепцию, согласно которой именно эти зоны играют ключевую роль в проблеме долгосрочного прогноза погоды и короткопериодных колебаниях климата.

Схема глобального перераспределения тепловых потоков в атмосфере и океане как результат масштабного техногенного загрязнения поверхности морской воды нефтью показана на *рис. 3*.

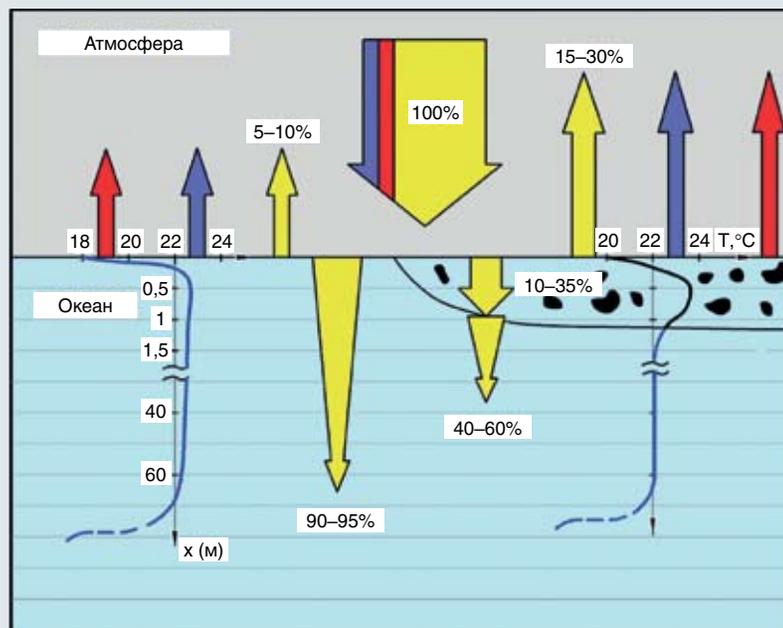
Основной вклад в нагрев океана дает солнечный поток (желтые стрелки), который поглощается до 95% (направленная вниз сужающаяся стрелка, слева на рис. 3) в условиях слабого рассеяния в толще чистой морской воды до глубины 60–80 м с малым поверхностным отражением до 10%. Процессы конвективного (синие стрелки) и терморационного теплообмена в длинноволновом диапазоне (красные стрелки) в течение суток или подгревают океан, или его выхолаживают, что вызывает изменение температуры поверхности. Вклад терморации и конвекции в зависимости от времени суток и температуры океана и атмосферы может изменяться в пределах до $\pm 30\%$. Существуют различные интерпретации формирования температурного режима океана, но влияние на него оптических свойств среды часто трактуется некорректно.

Для загрязненной морской воды (черные капли нефти у границы раздела океан — атмосфера) происходит существенный рост рассеяния и поглощения солнечного излучения под поверхностью воды. Это обуславливает как увеличение отраженного солнечного потока (поверхностью и объемом водной толщи) до 30% — направленная вверх желтая стрелка, справа на рис. 3, так и его поглощенной части (до 35% в загрязненной подповерхностной области). В глубь океана распространяется не более 60% солнечного потока, вследствие чего прогрев морской воды на глубине значительно уменьшается. Таким образом, появление нефтяного загрязнения на поверхности океана приводит к кардинальной перестройке теплового режима системы океан — атмосфера:

- происходит дневное экранирование солнечного прогрева морской воды по глубине и значительный прогрев ее поверхностного слоя при интенсивном терморационном и конвективном выхолаживании (особенно в ночные

Рисунок 3

Тепловой баланс и распределение температуры у границы раздела атмосферы с чистым и загрязненным нефтью океаном



часы), усиливающимся в штормовую погоду;

- рост температуры по глубине морской воды с загрязненной поверхностью уменьшается, что приводит к формированию более холодной водной толщи в океане;
- интенсивность испарения воды с загрязненной поверхности существенно снижается, резко возрастая при сильном волнении моря;
- мест место дополнительный нагрев атмосферы за счет увеличенного отражения коротковолновой солнечной радиации от загрязненной и перегретой воды, а также роста интенсивности терморационных и конвективных потоков.

При разливах нефти, когда ее концентрация уменьшается примерно в 1000 раз и представляет собой водную эмульсию (взвесь капелек нефти размером не менее микрона), в слое загрязненной воды происходит объемное рассеяние и поглощение солнечной энергии, и глубинные слои воды пере-

стают прогреваться в прежнем естественном режиме. Здесь могут реализоваться два сценария циркуляции конвективных воздушных потоков: с дефицитом или избытком влаги, что обусловит либо продолжительную засуху на пространстве распространения обезвоженных воздушных масс, либо в случае возникновения циклона — усиление его энергии и подпитку водной массой. Таким образом, граничные условия на загрязненной поверхности акватории воздействуют на погодные условия в режиме триггера.

В первом случае перегретые пограничные слои океана (приповерхностный воздушный и поверхностный водный) могут быть причиной формирования в атмосфере специфических аномальных перегретых конвективных потоков, что в свою очередь способствует поддержанию очага тепла в средней и верхней тропосфере (термодинамические условия зарождения антициклонов). При этом отрицательный водный баланс на морских аква-

ториях может вызываться заторможенным механизмом испарения воды океана или внутренних морей, поверхность которых загрязнена на большой площади теплоизолирующей эмульсией или тонкой пленкой нефтепродуктов.

Во втором случае перегретый слой воды в результате теплообмена с атмосферой постепенно охлаждается и при зарождении ураганов отдает им свою массу, что существенно усиливает их мощность. Происходит интенсивная диссипация (рассеяние, сброс) энергии перегретой воды с поверхности океана с помощью ураганов, набирающих силу над данной акваторией, которые увеличивают свою кинетическую энергию и уносят громадную массу воды из атмосферы, в частности из Атлантики на американский континент. Усиление ураганов по частоте и энергии сопровождается сбросами из атмосферы значительного объема водной массы, которая в обычных условиях достается другим регионам суши в виде циклонов.

Иными словами, нарушение естественного тепло- и массообме-



на на поверхности океана привело к тому, что вместо циклонов над Мексиканским заливом стали зарождаться частые множественные ураганы и торнадо, а над северной Атлантикой еще и обширные антициклоны. Приход анти-

Не следует полагать, что последствия разлива нефти в Мексиканском заливе уже исчерпаны; существуют факторы, способствующие продлению этой техногенной аномалии.

циклонов на равнинные территории Европы способствовал установлению там аномально жаркой погоды — антициклональной устойчивой во времени и пространстве зоны с высоким атмосферным давлением, препятствующим продвижению циклонов из северной части Атлантики и Ледовитого океана. Именно здесь наблюдались (в том числе и в России летом 2010 г.) жаркая погода и летняя засуха.

В свою очередь «запертые» циклоны из Северной Атлантики и Ледовитого океана один за другим за короткое время обрушили все запасы своей влаги на ограниченную площадь от Западной Европы до Среднего Востока, вызвав там разрушительные наводнения.

Все атмосферные процессы обладают небольшими рамками статистической устойчивости: достаточно относительно небольшого возмущения, чтобы произошло радикальное изменение процесса по энергетике, направленности и масштабам. Длительный нагрев воздушных масс над загрязненной поверхностью океана большой площади вместе с дефицитом воды в атмосфере мог явиться причиной стационарирования волн Россби над Восточной Европой и обусловить климатическую аномалию со сценарием аномально жаркого лета.

Как видно на *рис. 1*, нефтяная пленка едва ли покрывает 10% по-

верхности Атлантики, однако это наиболее энергоактивная поверхность океана — Гольфстрим, и техногенного энергетического дисбаланса вполне хватило, чтобы инициировать масштабную аномалию климата.

Проведенные разработки позволяют осуществлять расчетно-теоретическую оценку характеристик водно-теплового баланса на границе раздела вода — атмосфера при образовании загрязнения в приповерхностном слое водной акватории для различных климатических регионов. В свою очередь теперь стало возможным:

а) получение количественных и качественных выводов о степени влияния техногенных факторов загрязнения мирового океана и внутренних морей России на тепловые потоки и водный баланс различных участков ее суши;
б) проведение анализа воздействия техногенных изменений на региональном уровне для оценки вероятности возможных сценариев климатических изменений.

Полученная таким образом расчетная информация может являться базой для прогнозов экономических последствий климатических аномалий техногенного происхождения.

Теперь заглянем в недалекое будущее последствий от техногенных климатических аномалий, обусловленных разливами нефти на поверхности акваторий.

Эхо разлива нефти в Мексиканском заливе

Не следует полагать, что последствия разлива нефти в Мексиканском заливе уже исчерпаны; су-



существуют факторы, способствующие продлению этой техногенной аномалии.

Во-первых, океанологи и гидрологи обнаружили под поверхностью океана в Атлантике скопления облаков нефти размерами около 16 км длиной, 5 км шириной и 100 м по толщине; объем нефти в них может достигать сотен тысяч кубометров. По данным экологов, замечены еще более объемные подводные нефтяные облака. Эта подвешенная в воде суспензия является источником подпитки нефтяной пленки (взвеси) на поверхности, а значит, и ее последующего распространения по поверхности Атлантики, чему также способствует и Гольфстрим. Более того, реальна угроза ее переноса и к скандинавскому побережью.

В ближайшие годы следует ожидать как распространения нефтяного загрязнения на побережье Атлантики, так и продолжения сценария аномально жаркого лета в центральных областях Европы — может быть, с переносом области аномалии к Скандинавским странам. Уже сейчас фикси-

руется повышение средних температур воздуха в Европе; это можно трактовать как результат уменьшения испарения воды с поверхности Атлантики, загрязненной нефтью. Разумеется, нефтяное загрязнение может несколько уменьшаться вследствие штор-

Охлаждение Гольфстрима чревато уже в ближайшем будущем понижением среднезимних температур воздуха в странах Западной Европы и Скандинавии.

мового воздействия с выбросом некоторого объема нефти на побережье США и Европы, поедания ее микроорганизмами и осадением на дне океана. По худшему сценарию из-за переноса больших водных масс Гольфстримом нефтяная пленка может покрыть большую часть Северной Атлантики.

Во-вторых, прогретый слой морской воды с загрязненной поверхностью является коллектором соли: она ускоренно диффундирует в зону повышенных температур вследствие повышения ее

растворимости там. Этот факт был давно зафиксирован наблюдениями — в океане существуют «ленты» и зоны с повышенными соленостью и температурой, которые подолгу не смешиваются с окружающей морской водой.

Поскольку теплоемкость морской воды возрастает с увеличением температуры, то эта вода представляет собой долго живущий локальный источник тепла, подпитывающий как процесс прогрева атмосферы, так и образование ураганов на поверхности океана. Сейчас этот аккумулятор тепла распространяется по Атлантике вместе с Гольфстримом, несущим на себе еще и нефтяное покрывало.

В свою очередь перегрев верхнего слоя морской воды под нефтяной пленкой ведет к интенсивному оттоку тепла из воды в атмосферу, вследствие чего происходит охлаждение нижележащей водной толщи океана. Охлаждение океана приведет уже в ближайшее время к значительному уменьшению испарения воды в Атлантике. В обычных условиях эта цифра

составляет около 120 тыс км³/год; теперь, судя по приближенным оценкам, она может существенно понизиться. Это уже обусловило дефицит осадков и недобор осенней влаги в почве в Восточной Европе. Сейчас наблюдается катастрофическое обмеление рек в России и даже Волги. При уже имеющемся летнем дефиците влаги в почве это может привести к повышению среднелетних температур воздуха и засухам в будущие летние периоды, а также к малоснежным и суровым зимам на обширных территориях Европы в течение ряда лет.

Дефицит тепла в глубине океана вдоль по Гольфстриму может привести к понижению его температуры. В обычных условиях Гольфстрим, как и океан, прогревается почти равномерно до 100-метровой глубины, и приносимый им огромный объем нагретой воды в Северную Атлантику и западный сектор Ледовитого океана формирует там относительно мягкий климат. Охлаждение Гольфстрима чревато уже в ближайшем будущем понижением среднезимних температур воздуха в странах Западной Европы и Скандинавии. Может быть, в течение нескольких лет зимы будут значительно холоднее и малоснежными, что может обусловить появление ледового покрова в обычно незамерзающих Норвежском и Баренцевом морях, что подтвердилось зимой 2010–2011 гг.

Потенциальные источники близкой опасности

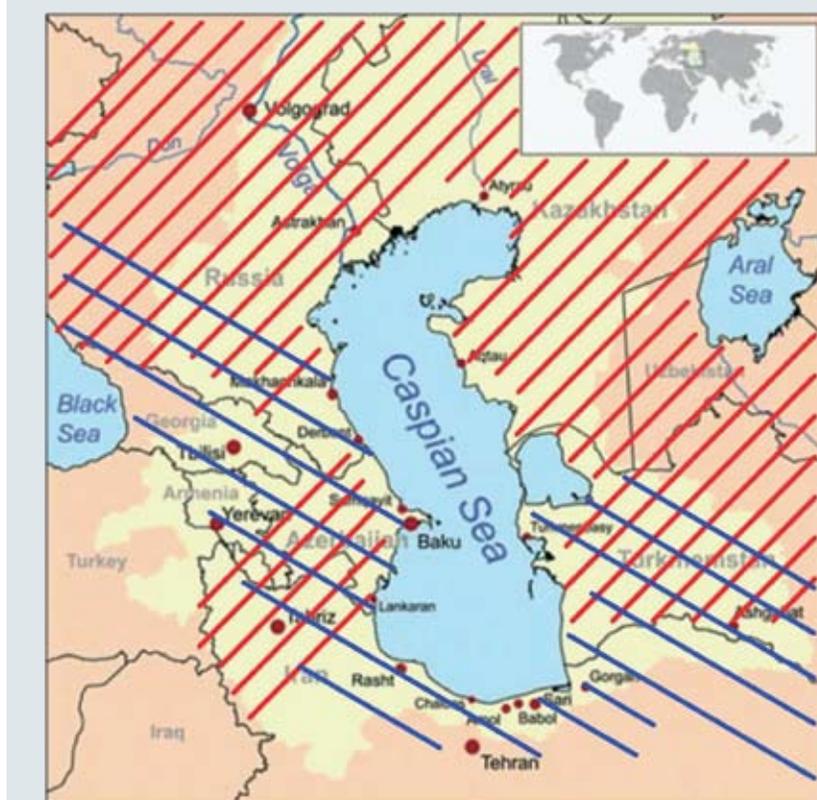
Особый интерес представляет прогнозирование техногенных климатических аномалий и их последствий в других регионах при сценарии загрязнения водной поверхности нефтью, аналогичного тому, которое произошло в Атлантике. В настоящее время можно вполне уверенно предположить, что наиболее уязвимым регионом для техногенных изменений на акватории сейчас является Каспий.

На встрече в Баку 18 ноября 2010 г. лидеры пяти стран (Ирана, Казахстана, Азербайджана, России, Туркменистана) подписали соглашение по региональному сотрудничеству с дальнейшей целью раздела сфер влияния и освоения Каспийского моря. Запасы нефти под дном Каспия оцениваются в десятки миллиардов тонн, и в ближайшей перспективе следует ожидать интенсификации разработки этих нефтяных месторождений.

подавляющее большинство ныне действующих там нефтяных сква-

Рисунок 4

Прогноз последствий климатической аномалии в прикаспийских регионах при катастрофическом разливе нефти



жин, пробуренных в море, интенсивно эксплуатируется уже свыше 20 лет, и оборудование работает на пределе износа (особенно в секторе Азербайджана). Существуют риски, связанные с колебаниями уровня Каспия. Возможные чрезвычайные ситуации на близко стоящих нефтяных платформах будут сопровождаться масштабными пожарами и разливами нефти (быстро распространяющимися, поскольку нефть Каспия относится к разряду легких и легко воспламеняема, а пластовое давление в месторождениях очень велико).

В результате за короткое время может образоваться устойчивое загрязнение в виде водно-эмульсионной нефтяной взвеси с последующим его распространением по поверхности гигантской замкнутой акватории. Этот фактор будет определять существенное

уменьшение испарения с поверхности Каспия со всеми тепловыми эффектами, описанными выше.

Прогноз последствий климатической аномалии техногенного происхождения в Каспийском регионе схематически показан на рис. 4. Атмосферные осадки станут дефицитными в районах Поволжья и Северного Кавказа, а также в житнице России на Кубани. При характерных северо-восточных ветрах в весенний период и с установлением сухой жаркой погоды в летний период (зона с красной штриховкой) только от них будет зависеть накопление влаги в почве. Районы, расположенные к востоку от Каспийского моря, будут в меньшей мере подвержены осушающему эффекту указанных атмосферных фронтов, так как поступающие с севера в отсутствие горных массивов влаж-

ные воздушные массы смогут частично компенсировать водный баланс региона. Тем не менее деградация Арала ускорится.

Юг и юго-восток Каспийского моря, ограниченные цепью высоких гор вплоть до Памира и Тянь-Шаня, не почувствуют осушающего эффекта устойчивого антициклона от Каспия. Однако перманентная встреча теплых антициклонов с холодными воздушными потоками высокогорья будет генерировать

Наиболее уязвимым регионом для техногенных изменений на акватории сейчас является Каспий.

в этой области частые разрушительные природные явления — ураганы и торнадо, наводнения и оползни (зона с синей штриховкой). На равнинной области северо-запада Ирана следует ожидать чередования жаркой погоды и ураганов с кратковременными разрушительными паводками; в северной его области будут преобладать ураганные явления с паводками.

В близлежащих горных областях Кавказа климатическая аномалия может вызвать интенсификацию существующих природных процессов: ускоренное таяние ледников и их катастрофические подвижки, исчезновение снежников, интенсивные сходы селевых потоков.

Замкнутость акватории Каспия будет способствовать длительному сохранению нефтяного загрязнения на его поверхности. Следовательно, можно предполагать, что возможная техногенная аномалия климата в этом регионе сохранится на некоторый период времени — как минимум на несколько лет. Уже сейчас следует признать достаточно большую вероятность того, что в недалеком будущем экономика стран, окружающих Каспий, может быть нанесен значительный ущерб.

Аппарат прогнозирования в экономике

Глобальные природные процессы обладают несравненно большей энергией по сравнению с технологическими возможностями человека. Однако сегодня человек может вызвать масштабные изменения в граничных условиях и тем самым круто изменить характер и направленность этих процессов, что может явиться причиной короткопериодных климатических аномалий.

Для того чтобы правильно обозначить место и роль оценок и расчетов эколого-экономических рисков техногенных аномалий климата в стратегическом планировании, обратимся к основным категориям этого направления в аспекте системного подхода.

Стратегическое планирование базируется на прогнозировании. Под прогнозом принято понимать формирование совокупности представлений о возможных состояниях некоторого объекта (системы) в будущем. Сам процесс разработки прогноза составляет предмет прогнозирования.

Осуществление краткосрочных прогнозов имеет своей первоочередной целью анализ последствий накопления кризисных явлений в различных сегментах экономики. Именно краткосрочные прогнозы должны содержать качественную и количественную информацию о потенциальных аномальных климатических изменениях и обусловленных ими эколого-экономических рисках. Эта информация должна служить базой для рекомендаций по изменению и коррекции экономической стратегии, в том числе и по характеру изменений, включая государственное регулирование и международную кооперацию.



Рисунок 5



Среднесрочные прогнозы должны включать в себя как накопительный эффект краткосрочных прогнозов, так и среднесрочные экономические цели участников экономики. При этом также следует принимать во внимание международное сотрудничество и объединение усилий в тех сегментах экономики, состояние которых может стать критическим в плане зарождения кризисных ситуаций, в том числе и обусловленных аномальными климатическими изменениями. Комплекс регулирующих мероприятий должен быть включен в целевые функции участников.

Что касается долгосрочных прогнозов, то здесь речь может идти только о прогнозе тенденций (направлении вектора эволюции экономики). Прогноз этого типа является фоновым; он должен учитывать и аспекты международного сотрудничества в долгосрочном плане (в частности, противостояние экологическим кризисам, которые могут приобретать глобальные масштабы и круто изменить структуру мировой экономики и экономических отношений, а также обусловить острый дефицит жизненно важных природных ресурсов).

Схема соотнесения прогнозов разных лагов показана на рис. 5.

На основании всех типов прогнозов разрабатывается экономическая политика и осуществляется стратегическое планирование, которое представляет собой формирование совокупности предпосылок по обеспечению динамики экономики в соответствии с экономической стратегией.

Современные экономические и политические прогнозы как база для экономических стратегий и стратегического планирования невозможны без использования моделей разных видов. В связи с этим возникает методологическая проблема: какие модели следует строить и как их использовать в принятии стратегических решений.

Уточним здесь определение модели. Современная трактовка модели должна быть достаточно универсальной и соответствующей вступлению мирового сообщества в эпоху информационной экономики. Таковой можно принять следующую: *модель — это внутренне непротиворечивая совокупность представлений об исследуемом объекте (явлении), реализованная с целью анализа его информационного поля.*

Из приведенного определения следует, что модели могут быть различных классов по специ-

кации, предназначению, детальности. Более того, разные исследователи могут построить разные модели для одного и того же объекта даже внутри одного класса, поскольку в конкретной модели неизбежно присутствует субъективный подход ее создателя (теперь чаще всего коллективного), отражающий его индивидуальные качества: мышление, интуицию и научный уровень.

Согласно приведенному выше определению, модель реализует отображение информационного поля X исследуемого объекта в конечную совокупность Y расчетных или прогнозных информационных признаков. Тогда формула

$$Y = F(X) \quad (1)$$

определяет модель — отображение (переработку) множества X в множество Y посредством оператора F , выбор которого зависит от автора модели.

Поскольку модель является гомоморфизмом (частичное отображение, в отличие от изоморфизма — взаимно однозначного отображения двух множеств), то использование множества Y в качестве образа множества X приводит к определенной погрешности уже в силу неполноты модели или, что то же самое, к ошибкам в прогнозировании.

В самом общем виде суммарная погрешность (ошибка) прогноза δ_{pr} может быть определена по аддитивной формуле

$$\delta_{pr} = \delta_m + \delta_{inf}, \quad (2)$$

где δ_m — погрешность модели прогноза; δ_{inf} — погрешность, обусловленная недостатком исходной информации.

Погрешность δ_m обусловлена упрощениями, которые имеют место при переходе от реального объекта бесконечной сложности к модели — объекту конечной

сложности. В этом плане модель — это как бы фотоснимок оригинала, она всегда «беднее» него (гомоморфизм несет в себе потерю в исходной информативности).

Погрешность δ_{inf} характеризует полноту задания исходной информации (базы данных). Как правило, эта величина обусловлена рядом причин: трудности при проведении экспериментов на объекте исследования, несовершенство самого экспериментального исследования, статистическая неопределенность и порой даже отсутствие некоторой информации в базах данных. В силу объективных причин погрешность δ_{inf} достигает порой десятков процентов и более. Иногда часть необходимой информации неизвестна вообще (это характерно при построении моделей природных процессов); в таком случае модель является некорректно сформулированной, с информационными «дырами», которые приходится восполнять дополнительными гипотезами. Даже при удачно построенной модели основной вклад в погрешность прогноза, согласно формуле (2), вносит исходная информация.

В свете сказанного можно сформулировать основные требования, которым должны удовлетворять модели.

1. Модель не должна быть чрезмерно сложной, так как это приводит к неоправданно большим затратам ресурсов при ее реализации. Необходимо соотносить сложность и детальность модели с уровнем достоверности исходной информации.

Техногенные аномалии климата — это предупреждение нам от природы.

2. Не следует строить модель всеобъемлющего прогноза реально-го объекта. Это приводит к чрезвычайно громоздким, необозримым и неанализируемым моделям, которые к тому же могут оказаться еще и плохо обусловленными (неустойчивыми). Такой случай характерен, в частности, для глобальных климатических моделей.

3. Если возникает необходимость в прогнозе ряда разнородных качеств реального процесса, то целесообразно построить совокуп-

ность или *иерархию* соподчиненных относительно простых моделей.

Анализ прогнозной информации, полученной посредством использования иерархии моделей, является основой для принятия решений, в том числе и тех, которые определяют цели в стратегическом плане и стратегическое планирование.

Перечислим виды и типы современных моделей, которые могут составлять иерархии, предназначенные для прогнозирования в экономике. Эта совокупность должна содержать в себе модели следующих классов:

- математические модели аномальных природных явлений и техногенных катастроф;
- экспертные и качественные модели — они обладают достаточно большой гибкостью и применимостью;
- экономико-математические модели прогнозов, в том числе и рисков;
- математические модели расчетов областей устойчивости систем в гиперпространстве определяющих параметров;
- комплекс вспомогательных моделей обработки, агрегирования и наглядного представления информации (информационные технологии типа OLAP);
- комплекс системы поддержки принятия решений (СППР).

При анализе проблем современной экономики необходимо также придерживаться концепции устойчивого развития, основные положения которой вошли в директивные документы, определяющие вектор направления экономики России. Уже на современном этапе научных исследований и подходов и в ближайшем будущем перспективно рассматривать не экономические системы,



а эколого-экономические системы — ЭЭС. Такой подход позволит гармонизировать экономическое развитие с экологическими стандартами рационального природопользования, в том числе в национальном и международном масштабе, а также обеспечить безопасность развития в целом.

Поведение сложных нелинейных динамических систем, к которым с разной степенью агрегирования можно отнести экономики стран и глобальную экономику, описывается гиперповерхностями их стационарных состояний в гиперпространстве определяющих параметров. На них существуют критические точки, соответствующие отсутствию стационарных устойчивых состояний (точки бифуркации решений). При подходе к такой точке система скачком переходит из одного стационарного состояния в другое посредством резкого нестационарного перехода (необратимые изменения). Эти состояния систем описываются в рамках теории катастроф, а также соответствуют основным положениям теории самоорганизации систем — синергетике.

Техногенные аномалии климата понижают устойчивость ЭЭС и способствуют их «дрейфу» к точкам бифуркации; поэтому в стратегическое планирование следует включать прогноз таких возможных аномалий, оценку их экономических последствий и пути их превентивного ослабления. Безусловно, это приведет как к необходимости коррекции существующих экономических стратегий, так и к ревизии ряда стратегических прогнозов.

Природа в терминах теории игр не является пассивным партнером, как это полагал Джон фон Нейман; при возрастании техногенного давления она «вынуждена выбирать» такие оптимальные для себя стратегии, которые реализуются в виде аномалий, затрудняющих жизнедеятельность



и технологическую активность человека.

Пора учиться прогнозировать глобальные и региональные последствия наших взаимоотношений с окружающей средой по множеству допустимых сценариев и на этой основе проектировать будущую экономическую стратегию.

Техногенные аномалии климата — это предупреждение нам от природы. ■

ПЭС 11028/09.03.2011

Авторы признательны профессору А.Б. Шмакину за полезные обсуждения аспектов статьи.

Литература

1. Агеев А.И., Курдюмов В.С., Малинецкий Г.Г. Проектирование будущего. Кризис и идеи С.П. Курдюмова // Экономические стратегии. 2009. № 4 (70). С. 94–103; № 5–6 (71–72). С. 96–107.
2. Гастев Ю.А. Гомоморфизмы и модели. М.: Наука, 1975. 150 с.
3. Красс М.С., Мерзликин В.Г. Радиационная теплофизика снега и льда. Л.: Гидрометеиздат, 1990. 262 с.
4. Красс М.С. Моделирование эколого-экономических систем. М.: ИНФРА-М, 2010. 272 с.
5. Красс М.С. Концепция анализа современных проблем экономи-

ки // Экономические науки. 2010. № 5 (66). С. 246–259.

6. Кузык Б.Н., Кушлин В.И., Яковец Ю.В. Прогнозирование, стратегическое планирование и национальное программирование. М.: Экономика, 2008. 576 с.

7. Мониин А.С. Климат как проблема физики // Успехи физических наук. 2000. Т. 70, № 4. С. 419–445.

8. Порфирьев Б.Н. Экономика климатических изменений. М.: АН-КИЛ, 2008. 168 с.

9. Сильвестров С.Н. Безопасность, обеспеченная развитием // Экономические стратегии. 2009. № 3. С. 42–47.

10. Стратегический прогноз изменений климата Российской Федерации на период до 2010–2015 гг. и их влияния на отрасли экономики России. М.: Федеральная служба по гидрометеорологии и контролю окружающей среды (Росгидромет), 2006.

11. Указ Президента Российской Федерации от 1 апреля 1996 г. № 440 «О Концепции перехода Российской Федерации к устойчивому развитию».

12. Porter M. The competitive Advantages of Nations. New York, 1990.

13. NOAA (National Oceanic & Atmospheric Administration) / ESRL (Earth System Research Laboratory). Physical Science Division. <http://blog.agu.org/geospace/2010/08/25/ blocked-up- weather/>