

ПРОГНОЗ РЕГИОНАЛЬНЫХ КОРОТКОПЕРИОДНЫХ АНОМАЛИЙ КЛИМАТА

Загрязнение нефтью поверхности Атлантики обусловило перегрев воздуха вследствие уменьшения испарения воды и последующее охлаждение морской воды и Гольфстрима. Обсуждены возможные последствия короткопериодных климатических аномалий техногенного происхождения на ближайшие несколько лет: повторение сценария жаркого лета в Центральной России и аномальных наводнений и паводков в западной Европе; понижение среднезимних температур в Скандинавии; появление зимой ледяного покрова в обычно не замерзающих морях западного сектора Ледовитого океана. Представлен прогноз последствий возникновения вероятных климатических аномалий техногенного происхождения в регионах Каспия как результат высоких рисков масштабного разлива нефти по поверхности моря.

Ключевые слова: прогноз; техногенная климатическая аномалия; моделирование; экономика; риски.

Климатические последствия разлива нефти в Мексиканском заливе. В данной статье мы приведем физическую интерпретацию полученных модельных результатов [1]. 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. 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 можно выделить так называемые энергоактивные зоны океана, в которых суммарное выделение тепла в атмосферу на порядок превышает среднеширотные оценки. Еще в советские годы академик Г. Марчук сформулировал концепцию, согласно которой именно эти зоны играют ключевую роль в проблеме долгосрочного прогноза погоды и короткопериодных колебаниях климата.

На рис. 1 показана схема глобального перераспределения тепловых потоков в атмосфере и океане как результат масштабного техногенного загрязнения поверхности морской воды нефтью.

Основной вклад в нагрев океана дает солнечный поток (светлые стрелки), до 95% которого поглощается (направленная вниз сужающаяся стрелка, слева на рис. 1) в условиях слабого рассеяния в толще чистой морской воды до глубины 60–80 см с малым поверхностным отра-

жением до 10%. Процессы конвективного (серые стрелки) и терморрадиационного в длинноволновом диапазоне (черные стрелки) теплообмена в течение суток или подгревают океан, или его выхолаживают, что вызывает изменение температуры поверхности. Вклад терморрадиации и конвекции в зависимости от времени суток и температуры океана и атмосферы может изменяться в пределах до $\pm 30\%$. Происходит существенный рост рассеяния и поглощения солнечного излучения под поверхностью загрязненной морской воды (черные капли нефти у границы раздела океан – атмосфера). Это обуславливает увеличение как отраженного (поверхностью и объемом водной толщи) солнечного потока (до 30%, направленная вверх светлая стрелка, справа на рис. 1), так и поглощенного (до 35% в загрязненной подповерхностной области) потоков солнечного излучения.

Однако вглубь 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:

– имеет место дневное экранирование солнечного прогрева морской воды по глубине и значительный прогрев ее поверхностного слоя при интенсивном терморрадиационном и конвективном выхолаживании (особенно в ночные часы), усиливающимся в штормовую погоду;

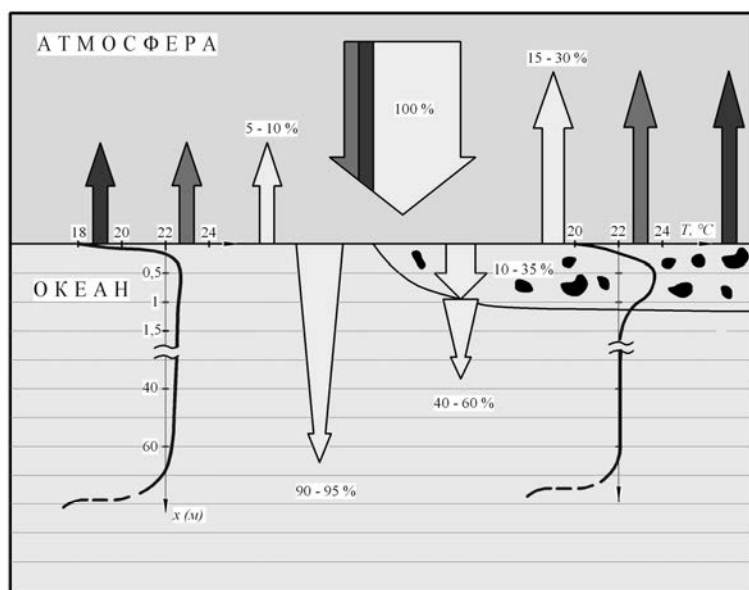


Рис. 1. Тепловой баланс и распределение температуры у границы раздела атмосферы с чистым и загрязненным нефтью океаном

– 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 только при сильном волнении моря;

– имеет место дополнительный нагрев атмосферы за счет увеличенного отражения коротковолновой солнечной радиации от загрязненной и перегретой воды, а также роста интенсивности терморadiационных и конвективных потоков.

За последние 10–20 лет оценки водно-теплового баланса отдельных участков мирового океана и суши показывают, что катастрофические потери или существенный избыток среднемесячных осадков не согласуются с традиционными моделями колебаний климата и погодных условий как результатами действия известных циклонов или антициклонов. На эти несоответствия еще указывал известный ученый А.С. Монин: расшифровка данных об изменениях климата во все возрастающей мере требует использования физических методов [2]. Существуют различные интерпретации формирования температурного режима океана, но влияние на него оптических свойств среды часто трактуется некорректно. При разливах нефти, когда ее концентрация уменьшается примерно в 1 000 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 перестают 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.

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 акваториях может вызываться заторможенным механизмом испарения воды океана или внутренних морей (что актуально для России), 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 массообмена 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 по простиранию антициклоны. Приход антициклонов на равнинные территории суши 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 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 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. Нефтяное загрязнение едва ли покрывает 10% поверхности Атлантики, однако вызванного ею энергетического дисбаланса вполне хватило, чтобы инициировать масштабную аномалию климата (это своего рода точка бифуркации).

Приведенные модели 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. 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.

Эхо разлива нефти в Мексиканском заливе. Теперь заглянем в недалекое будущее последствий от техногенных климатических аномалий, обусловленных разливами нефти на поверхности акваторий. Не следует полагать, что последствия разлива нефти в Мексиканском заливе уже исчерпаны; 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

риной и 100 м толщиной; объем нефти в них может достигать сотен тысяч м³. 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 фиксируется повышение средних годовых температур воздуха в Европе; это можно трактовать как результат уменьшения испарения воды с поверхности Атлантики, загрязненной нефтью. Разумеется, нефтяное загрязнение может несколько уменьшаться вследствие штормового воздействия с выбросом некоторого объема нефти на побережье США и Европы, а также поедания микроорганизмами. 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 теплотемкость 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 течением Гольфстрим, несущим на себе еще и покрывало водно-нефтяной эмульсии.

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. С высокой степенью вероятности это может повлечь за собой дефицит осадков и недобор влаги в почве в восточной Европе. Уже сейчас наблюдается катастрофическое обмеление рек России, даже Волги. При уже образовавшемся 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.

Дефицит тепла в глубине океана вдоль Гольфстрима 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 среднелетних температур воздуха в странах западной Европы и Скандинавии. Вследствие этого можно прогнозировать в Европе аномально суровые последующие зимы. Следует ожидать, что в течение нескольких лет зимы будут значительно холоднее и малоснежными; это может обусловить появление ледового покрова в обычно не замерзающих Норвежском и Баренцевом морях. Уже прошедшей зимой впервые за сто лет замерз Кольский залив, а в Англии зима была суровой и затяжной. Сейчас Гольфстрим на грани исчезновения [3], что зафиксировано космическими наблюдениями; чем это чревато для глобального изменения климата сначала в Северном полушарии, а затем и на Земле уже в ближайшее десятилетие, пока трудно оценить.

Потенциальные источники близкой опасности. Особый интерес представляет прогнозирование техногенных климатических аномалий и их последствий в других регионах при сценарии загрязнения водной поверхности нефтью, аналогичном тому, что произошло в Атлантике. В настоящее время можно вполне уверенно предположить, что наиболее уязвимым регионом для техногенных изменений на водной акватории сейчас является Каспий. На встрече в Баку 18 ноября 2010 г. лидеры пяти стран (Иран, Казахстан, Азербайджан, Россия, Туркменистан) 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 скважин, пробуренных в море, интенсивно эксплуатируется уже свыше 20 лет, и оборудование работает на пределе износа. Возможные чрезвычайные ситуации на близко стоящих нефтяных платформах будут сопровождаться масштабными пожарами (быстро распространяющимися, поскольку нефть Каспия относится к разряду легких и является легко воспламеняемой) и разливами нефти (из-за высокого пластового давления). В результате за короткое время образуется 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 схематически показан на рис. 2.

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 правой штриховкой). Осадки в осенне-зимний период будут поступать с юго-западными ветрами, и 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 с севера, в

отсутствие горных массивов, влажные воздушные массы смогут частично компенсировать водный баланс региона. Тем не менее деградация Арала ускорится.

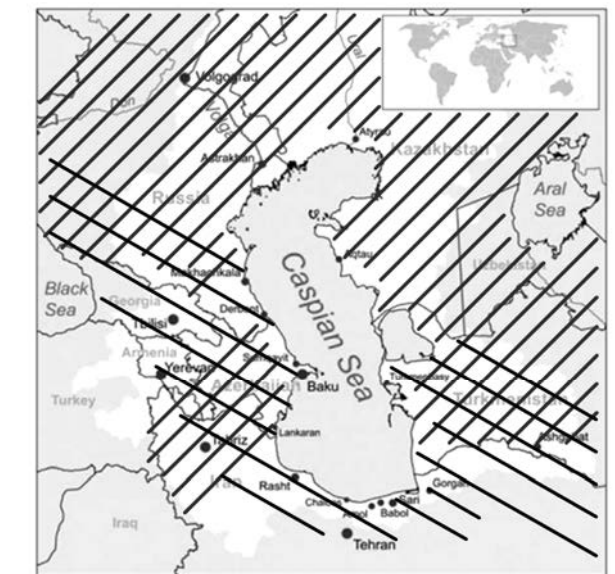


Рис. 2. Прогноз последствий климатической аномалии в прикаспийских регионах при катастрофическом разливе нефти

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 в этой области частые разрушительные природные явления – ураганы и торнадо, наводнения и оползни (зона с левой 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. Можно предполагать, что возможная аномалия климата техногенного происхождения в этом регионе сохранится на некоторый период времени – как минимум на несколько лет. Это означает, что в недалеком будущем экономикам стран, окружающих Каспий, может быть нанесен значительный ущерб.

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. Пример тому – ноосфера Китая.

Техногенные аномалии климата не только понижают устойчивость ЭЭС, но и способствуют их «дрейфу» к точкам бифуркации [4]; поэтому в стратегическое планирование следует включить прогноз таких возможных аномалий посредством моделирования, 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 [5, 6].

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 и затрудняют жизнедеятельность и технологическую активность человека, уметь прогнозировать глобальные и региональные последствия взаимоотношений человека с окружающей средой и на этой основе строить будущую экономическую стратегию.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Красс М.С., Мерзлик В.Г., Сидоров О.В.* Моделирование техногенных причин короткопериодных аномалий климата // Вестник ТГУ. Сер. Науки о Земле. 2011. № 8.
2. *Монин А.С.* Климат как проблема физики // Успехи физических наук. 2000. Т. 70, № 4. С. 419–445.
3. *Zangari G.* Risk of Global Climate Change by BP Oil Spill. National Laboratories (LNF) – National Institute of Nuclear Physics (INFN). Italy, 2010. URL: <http://www.associazionegeofisica.it/oilspill.pdf/>
4. *Красс М.С.* Моделирование эколого-экономических систем. М.: ИНФРА-М, 2010. 272 с.
5. *Стратегический прогноз изменений климата Российской Федерации на период до 2010–2015 гг. и их влияния на отрасли экономики России.* М.: Росгидромет, 2006.
6. *Красс М.С., Мерзлик В.* Техногенные аномалии климата и стратегическое планирование // Экономические стратегии. 2011. № 4.

Статья представлена научной редакцией «Науки о Земле» 24 июня 2011 г.