

*Регион: экономика и социология, 2009, № 2, с. 125–136*

## СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОСЛЕДСТВИЯ ОЖИДАЕМОГО ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА В АРКТИКЕ

**В.В. Васильев, В.С. Селин, Е.Б. Терещенко**

*Институт экономических проблем Кольского научного центра РАН*

### **Аннотация**

Показано, как в российском секторе Арктики проявляются признаки активного потепления. Обобщены ожидаемые социально-экономические последствия и риски для ведения хозяйственной деятельности от прогнозируемых в начале XXI в. изменений климата в Арктическом регионе.

**Ключевые слова:** Арктика, хозяйственная деятельность, социально-экономические процессы, изменения климата, региональные и глобальные тенденции, месторождения шельфа, морской транспорт

Исследования последних лет показывают, что прогнозируемое потепление климата будет ощущаться в полярных регионах в большей степени, чем во многих других регионах мира [1, 2]. Там, где температуры близки в среднем к точке замерзания, глобальное потепление приведет к таянию льдов как на суше, так и на море и в результате – к повышению уровня моря. Однако во внутренних частях ледовых шапок повышение температуры вряд ли будет достаточным для того, чтобы вызвать таяние льда и снега, и, очевидно, приведет к увеличению накопления снега [3]. По мере потепления ледяной покров в Арктике будет, вероятно, становиться все меньше и тоньше. Навигация в прибрежной зоне и на реках усилится, и возникнут новые воз-

возможности для водного транспорта. Прогнозируемые для Арктики изменения в ледяном покрове моря будут иметь крупные стратегические последствия для торговли, особенно между Азией и Европой.

В минувшем столетии средняя годовая температура воздуха на Земле увеличилась приблизительно на  $0,6^{\circ}\text{C}$ , а области распространения вечной мерзлоты потептели значительно больше – местами до  $5^{\circ}\text{C}$ . Одновременно теплеют и верхние слои многолетнемерзлых грунтов. Например, с 60-х годов на территории Центральной Якутии температуры почвы выросли на  $1-1,5^{\circ}\text{C}$ , а в Западной Сибири – до  $1^{\circ}\text{C}$ . Даже при столь небольшом потеплении изменяются физико-механические свойства почв, за счет чего уменьшается несущая способность фундаментов. Как итог, у зданий, мостов, опор линий электропередач и других сооружений, построенных на вечной мерзлоте, происходит просадка фундамента, деформируются опоры и разрушается дорожное полотно. В Якутске из-за просадок мерзлого грунта за последние 30 лет серьезные повреждения получили более 300 зданий. За 1990–1999 гг. число зданий, поврежденных из-за неравномерных просадок фундаментов, увеличилось по сравнению с предшествующим десятилетием в Норильске – на 42%, в Якутске – на 61%, в Амдерме – на 90% [4].

Глобальные климатические изменения будут проявляться на территории Арктической зоны Российской Федерации неравномерно. Большинство населенных пунктов региона расположено на многолетнемерзлых грунтах. Их общее число превышает 300 единиц с преобладанием сельских поселений. Численность их жителей – менее 3 тыс. чел.

Одним из главных параметров, определяющих несущую способность многолетнемерзлых пород как оснований инженерных сооружений, является их температура, зависящая и от температуры воздуха на поверхности горных пород. Колебания последней вызывают изменения несущей способности оснований инженерных сооружений, и эти изменения необходимо учитывать при проектировании. В противном случае при положительном развитии существующих на данный момент сценариев потепления климата произойдет резкое ухудшение несущей способности многолетнемерзлых пород как оснований инженерных сооружений, что в итоге может привести к повреждению или даже разрушению существующих и строящихся сегодня

инженерных сооружений в районах распространения многолетнемерзлых пород. Для районов Воркуты, Якутска и Тикси в случае глобально-го повышения температуры воздуха к 2030 г. на 4–5°C долговечность оснований зданий, построенных по первому принципу, может снизиться в 15–25 раз, а построенных по второму принципу – в 5–15 раз [5]. При разработке нового типа фундамента за основу принимается совмещение функций несущей и охлаждающей грунт конструкций. Для этого используется отсыпаемый на мерзлом основании под пространственным фундаментом промежуточный слой, выполняемый из непучинистого материала, что значительно снижает интенсивность криогенных процессов при тепловом и механическом взаимодействии зданий с мерзлым основанием. Фундамент возводится без нарушения мерзлотно-грунтовых условий на строительных площадках, что позволяет ликвидировать временной технологический разрыв, который необходим при устройстве свайных фундаментов для их вмержания в окружающий мерзлый грунт. Это дает возможность уменьшить или полностью исключить сезонное протаивание подстилающих мерзлых грунтов основания при строительстве по первому принципу, т.е. с сохранением мерзлого состояния грунтового основания; создать искусственное основание заданной прочности с меньшими деформативными свойствами; перераспределить напряжения, локализовав максимальные в пределах более прочного (по сравнению с нижележащим естественным основанием) искусственно созданного промежуточного слоя, используя известный в механике грунтов эффект снижения по глубине напряжений от дополнительного давления, передаваемого фундаментом.

В энергетике следовало бы разработать и реализовать мероприятия по повышению энергонезависимости арктических территорий России и автономности системы их энергоснабжения, включая разработку методов дистанционного слежения, оценки рисков аварий и катастроф и потребности в действиях по защите линий электропередач, трубопроводов и других инженерных коммуникаций в Арктике.

Потребуются очень серьезные усилия, огромные финансовые и людские ресурсы, чтобы ликвидировать последствия климатических изменений. По предварительным экспертным оценкам, эксплуатационные затраты могут вырасти в зависимости от места расположе-

ния объекта в 2–4 раза, что, вероятно, выведет большинство из них за грань хозяйственной рентабельности.

Единственным положительным результатом потепления климата для коммунальной инфраструктуры арктических населенных пунктов следует признать сокращение отопительного периода вследствие повышения среднемесячных температур. Это приведет к значительной экономии топлива, расходуемого на отопление, а следовательно, к снижению общей стоимости функционирования коммунальной структуры региона.

Наиболее авторитетной международной организацией, занимающейся оценкой изменений климата, является Межправительственная группа экспертов по проблемам изменения климата (МГЭИК/ИРСС), образованная в 1988 г. совместно Всемирной метеорологической организацией и Программой ООН по окружающей среде. Каждые три-четыре года МГЭИК публикует составленные ведущими климатологами мира оценочные доклады, которые отражают изменения глобального и регионального климата в прошлом, настоящем и будущем, воздействия климатических изменений и возможности адаптации к ним, а также возможности уменьшения антропогенного воздействия. По оценкам МГЭИК, начиная со второй половины XX в. и по настоящее время в глобальной климатической системе наблюдаются значительные изменения температуры воздуха у поверхности Земли, сопровождающиеся изменениями других климатических характеристик. Среднегодовая глобальная температура воздуха, согласно Третьему оценочному докладу МГЭИК (2001 г.), за весь XX в. возросла на  $0,6 \pm 0,2^\circ\text{C}$ , уровень океана поднялся на 18–20 см [6]. В 2007 г. подготовлен Четвертый оценочный доклад, из которого следует, что рост температуры составляет уже  $0,74^\circ\text{C}$ , а поднятие уровня океана – 30 см. МГИЭК разработала также пакет сценариев изменений климата в зависимости от выбросов парниковых газов, роста населения, применения более эффективных технологий и экономического роста. На базе сценариев (жесткого, умеренного и мягкого антропогенного воздействия) были сделаны модельные расчеты изменения средней глобальной температуры на период до 2100 г. По разным прогнозам, средняя приземная температура воздуха возрастет от  $1,4$  до  $5,8^\circ\text{C}$  к концу текущего столетия [7].

На фоне глобального потепления наблюдаются значительные изменения климата высоких широт, прежде всего в Северном полушарии. В Арктике это сопровождается сокращением площади и толщины морского льда в Северном Ледовитом океане. По мнению ведущих отечественных и зарубежных исследователей-климатологов, Арктический регион в целом и Западная Арктика в частности являются районами, наиболее чувствительными к глобальным климатическим изменениям, а также они выступают надежными индикаторами указанных процессов. В связи с этим на Совещании Арктического совета, прошедшем в октябре 2000 г. в г. Барроу (Аляска), была разработана и принята программа АСИА (АСИА, Arctic Climate Impact Assessment), в соответствии с которой эксперты 15 стран проанализировали климатические изменения и их последствия в Арктике. Результаты этих исследований представлены в ноябре 2004 г. в докладе «Оценка последствий изменения климата в Арктике». Согласно этому документу, зимнее потепление на Аляске и в Западной Канаде составило 3–4°C за последние 50 лет. За последние 30 лет среднегодовая площадь морского льда уменьшилась примерно на 8%. Кроме этого, лед стал тоньше в среднем по Арктике на 10–15%, а в отдельных районах между 60-ми и концом 90-х годов произошло уменьшение его толщины на 40% [7].

Экстремальные условия в Западной Арктике [8, 9] ярко проявились в зимний период 2002/2003 г., когда кромка льда в апреле в Баренцевом море опустилась до 72° с.ш. на меридиане 40° в.д. (очень редкое явление с повторяемостью один раз в 50 лет). Крайне южное положение в море заняли двухлетние льды карского происхождения. В северо-восточной части моря (74°40' с.ш., 43° в.д.) в 100 км от Штокмановского газоконденсатного месторождения были зафиксированы двухлетние льды толщиной до 2,7 м. На самом месторождении было отмечено большое количество айсбергов и их обломков (около 110 единиц) с максимальными размерами 190–430 м и массой 3,67 млн т. Столь редкое явление было обусловлено трех-четырёхлетними положительными аномалиями температуры воздуха, состоянием ледового покрова (в августе–сентябре 2000 и 2001 гг. море было свободно от льда, в августе–сентябре 2002 г. площадь льдов составила всего 5%) и аномально большими тепловыми потоками атлантических вод. Таяние ледников Земли Франца-Иосифа и Новой Земли привело к их сбросу и образованию айсбергов. Под действием ветровых

потоков и поверхностных течений с северной и северо-восточной составляющими айсберги достигли столь южного положения и в конце апреля были зафиксированы на Штокмановской структуре. Одновременно в юго-восточной части моря в марте–апреле 2003 г. ветры северного и северо-западного направлений привели к уплотнению ледяного покрова, его торошению (высота торосов составила 4–5 м, скорость дрейфа – 170 м/с, кили торосов достигали глубины 18 м), наблюдалось большое количество стамух (отдельные глыбы льда, стоящие на мели). В этот навигационный период танкер ледового класса «Волгоград» водоизмещением 20 тыс. т, загруженный нефтью с терминала «Варандей» не смог выйти из ледяного мешка протяженностью около 200 км даже с помощью дизельного ледокола «Капитан Николаев». Сезон 2002/2003 г. внесен в список 10 самых тяжелых по ледовым условиям лет начиная с 1928 г.

Следует отметить, что начало освоения Штокмановского газоконденсатного месторождения (разведочное бурение, оценка запасов, создание российских и международных консорциумов по его освоению) совпало с периодом 1988–1996 гг., когда появление айсбергов в центральной части Баренцева моря оценивалось как достаточно редкое явление. Заложенная в проектную документацию максимальная масса айсберга, полученная в результате экспертной оценки на основании немногочисленных наблюдений, составляла 1,45 млн т. Однако экспедиционные исследования последних лет в корне изменили оценки вероятности нахождения айсберга и его сближения с платформой в районе месторождения. В период принятия решений по разработке Штокмановского месторождения вероятность столкновения айсберга с платформой составляла более 95% один раз в 295 лет, а с учетом данных 2003 г. эта вероятность превышает 95% один раз в 35 лет [10].

Уменьшение ледовитости арктических морей, увеличение повторяемости и силы штормовых ветров и высоты волн в совокупности с повышением уровня моря могут привести к разрушению берегов, сложенных вечномерзлыми породами. В Восточно-Сибирском море береговая абразия уже сегодня составляет десятки метров за год. Значит, сооружения береговой инфраструктуры (газонефтехранилища, трубопроводы, порты, терминалы) могут быть подвержены существенным рискам.

Нами обобщены ожидаемые социально-экономические последствия и риски, связанные с прогнозируемыми изменениями климата в Арктическом регионе в начале XXI в. Природные и социально-экономические последствия ожидаемого изменения климата в Арктике будут проявляться по-разному.

1. Последствиями *повышения температуры воздуха* могут быть следующие:

- сокращение отопительного периода, улучшение теплового режима зданий;
- сокращение сезона промерзания почвы, сокращение времени доступа к ресурсам по материкам;
- оттаивание вечной мерзлоты: просадки грунта, оползни, солифлюкция (течение грунта по склонам), термокарст; разрушение дорог, аэропортов, нефтепромысловых и других промышленных объектов; деформация и разрыв трубопроводов, водопроводно-канализационных систем; деформация фундаментов зданий, опор ЛЭП, мостов; угроза разрушения хранилищ радиоактивных отходов; сложности в доставке грузов вследствие сокращения сроков использования зимников;
- уменьшение толщины морского льда и ледовитости морей, следовательно, облегчение доступа по морю к нефти, газу, минеральным ресурсам Северного Ледовитого океана; удлинение периода навигации для морских и речных судов; неблагоприятные последствия для зависящих от льда морских млекопитающих;
- возрастание ветровых нагрузок вследствие сокращения площади льда, образование ледовых торосов, морских брызг, в итоге – увеличение повторяемости ледовых штормов, рост интенсивности разрушения берегов, сложенных вечномерзлыми породами; обледенение судов; ограничение работ на нефтяных и газовых платформах в открытом море; ограничение рыболовства и транспортного морского сообщения;
- увеличение вероятности появления айсбергов, в результате – затруднение судоходства и эксплуатации Штокмановского газоконденсатного месторождения;
- более позднее замерзание и более раннее вскрытие льда на реках и озерах, следовательно, сокращение периода доставки гру-

зов сухопутным путем в труднодоступные районы по замерзшим руслам; изменение величины испарения, скорости течения, уровня растворенного кислорода и воздействия ультрафиолетовой радиации на пресноводные организмы; изменение параметров наводнений;

- расширение зоны бореальных лесов, сокращение зоны тундры, в результате – расширение возможностей лесного хозяйства; смещение границ обитания птиц, животных, некоторых видов рыб;
- повреждения леса вследствие учащения пожаров и нашествий древесных вредителей (еловый жук-короед, еловая листовертка-почкоед);
- опустынивание некоторых территорий (вместе с ростом температуры увеличиваются испарение и отток воды от грунта протаявшей мерзлоты), замена хвойных лесов осиновыми;
- увеличение возможности коммерческого выращивания сельскохозяйственных культур: фуражных (люцерна), некоторых зерновых (ячмень) и овощных (картофель);
- расширение ареалов распространения некоторых видов насекомых-вредителей, паразитов, сорняков;
- рост новых инфекционных болезней: увеличение случаев заболеваний клещевым энцефалитом, числа кишечных инфекций за счет нарушения деятельности водопроводно-канализационных сооружений и т.д.; угроза традиционному укладу жизни коренного населения.

2. Последствия **роста количества осадков**, учащения случаев ливневых осадков:

- эрозия почвы, повышение уровня грунтовых вод, подтопление обширных районов;
- наводнения, каменные осыпи и лавины, как результат – разрушение объектов инфраструктуры.

3. Последствия **повышения температуры воды**:

- рост продуктивности отдельных видов промысловых океанических рыб (треска, сельдь, камбала) и неракообразных беспозвоночных, снижение запасов мойвы (угроза большинству коммерческих рыбных ресурсов, китам и морским птицам), появление



ние более южных видов рыб (макрель), радикальные изменения видового состава в некоторых районах;

- смещение к северу предприятий аквакультуры (вследствие роста болезней рыб, цветения ядовитых водорослей), увеличение затрат;
- сокращение зоны обитания некоторых арктических пресноводных видов (сиговых, арктического гольца, арктического омуля) из-за неоптимальных термических условий и соперничества с видами, перемещающимися с юга.

4. Последствия **повышения уровня моря** (за счет теплового расширения):

- затопление низменных прибрежных территорий, увеличение эрозии берегов, наводнения в прибрежной зоне, в итоге – разрушение инфраструктуры береговой зоны (трубопроводы, нефтехранилища, терминалы, порты, населенные пункты);
- уменьшение зоны тундры, следовательно, сокращение площади оленьих пастбищ.

5. Последствия **изменения атмосферной циркуляции, увеличения скорости ветра**:

- увеличение повторяемости штормов и скорости дрейфа ледяных полей, в результате – затруднение многих видов морских операций;
- увеличение числа аварий на ЛЭП;
- удорожание строительно-монтажных работ на открытом воздухе; развитие ветроэнергетики.

6. Последствия **большой межгодовой изменчивости гидрометеорологических параметров** (ледовитость, скорость ветра, высота волн):

- трудности планирования морских перевозок и разработки шельфовых месторождений;
- в отдельные годы – значительное превышение продолжительности отопительного периода относительно средних норм;
- в отдельные годы – очень сложная ледовая обстановка на Северном морском пути, ограничивающая период безледокольного плавания.

7. Последствия **резких суточных колебаний метеорологических параметров** (температура воздуха, атмосферное давление), увеличения вероятности продолжительности экстремальных явлений с критическими значениями метеорологических параметров, изменения сезонных особенностей погоды:

- осложнение морских операций из-за высокой степени изменчивости ледовой и метеорологической обстановки;
- ухудшение условий эксплуатации зданий, уменьшение их долговечности;
- ухудшение самочувствия и здоровья населения: рост сердечно-сосудистых заболеваний и смертности от ишемической болезни сердца, инсульта, рост заболеваний органов дыхания, нервной системы.

При наличии некоторых положительных тенденций представляется, что проблемы, уже сейчас требующие системных решений, более весомые. В первую очередь к ним относятся

- комплекс негативных явлений, связанных с оттаиванием вечной мерзлоты и просадкой грунтов (разрушение дорог, фундаментов зданий, опор линий электропередач, мостов и т.п.);
- ухудшение транспортной доступности (увеличение сроков завоза грузов) районов, в которые транспорт идет по зимникам и льду рек;
- рост повторяемости ледовых штормов, увеличение интенсивности разрушения берегов, повышение риска появления айсбергов в местах расположения перспективных месторождений углеводородного сырья.

С большой вероятностью можно говорить, что в ближайшие 10–15 лет ледовые условия в целом будут становиться легче. Вместе с тем более шести месяцев в году Арктика будет закрыта льдом – начиная от Карских ворот и далее на восток. Несмотря на более благоприятные в среднем условия плавления в случае, если потепление продолжится, в ряде районов будет сохраняться вероятность возникновения очень тяжелых ледовых условий вследствие подвижек ледовых массивов. Необходимо произвести переоценку полученных ранее экстремальных высот волн, масс и размеров айсбергов, предусмотреть со-

здание специальных служб контроля айсберговой и ледовой опасности и строительство ледоколов.

Зарубежные организации и фирмы считают оживление транзита по Северному морскому пути вполне реальным, особенно в ожидании дальнейшего изменения климата. Канадская фирма «Broye/Omni TRAX» заявила в 2007 г. о намерении реализовать совместно с российскими компаниями международный проект «Арктический мост» для крупномасштабных перевозок транзитных грузов по трассе в направлении Запад – Восток. Аналогичную схему предложила Академия торгового мореплавания США, – это транспортно-технологическая система Нью-Йорк – Рейкьявик – СМП – Петропавловск-Камчатский – Брементон (Западное побережье США) с использованием атомного контейнеровоза вместимостью 8 тыс. TEU. Плавание судна в Арктике будет осуществляться круглогодично без ледокольной проводки. Финская судостроительная корпорация «Aker Arctic Technology» совместно с Институтом Севера (Institute of North, Аляска) еще в 2006 г. выполнила модельные исследования по эксплуатации арктического контейнеровоза вместимостью 5 тыс. TEU на направлении Алеутские острова – СМП – Исландия. Результаты моделирования показали возможность работы контейнеровоза на трассах СМП до шести месяцев в году без ледокольной поддержки. Стоимость транспортировки контейнера оценивается в 526 долл. США/TEU, что значительно ниже стоимости доставки контейнеров южным путем [11].

Таким образом, резкое нарастание грузопотоков на трассе СМП весьма вероятно уже в ближайшие пять лет [12], и российские транспортные системы должны быть к этому готовы, чтобы не отдать стратегические преимущества и соответствующие финансовые потоки в другие руки.

Если принять во внимание, что ст. 234 Конвенции по морскому праву предоставляет приарктическим государствам право принимать законы, направленные на защиту морской среды в покрытых льдом большую часть года районах 200-мильной исключительной экономической зоны, то правила, принятые Россией, могут содержать более строгие требования в отношении конструкции и оборудования судов, а также квалификации экипажа, чем действующие на международном уровне. Это позволяет России устанавливать особый режим плавания по Северному морскому пути и делает заявле-

ния Запада о необходимости добиваться максимальной интернационализации СМП беспочвенными.

## Литература

1. **О комплексном** подходе к вопросам обеспечения безопасности населения северных регионов Российской Федерации. – М.: Изд-во Совета Федерации, 2008. – 114 с.
2. **Цаликов Р.Х.** Изменения климата на Севере России: опасности и угрозы жизнедеятельности // Регион: экономика и социология. – 2009. – № 1. – С. 158–166.
3. **Изменения** климата: Обобщенный доклад. 2001 г. – М.: ВМО; ЮНЕП; МГЭИК, 2003. – 68 с.
4. **Хрусталеv Л.Н., Медведеv А.В., Пустовайт Г.П.** Многолетнее изменение температуры воздуха и устойчивость проектируемых в криолитозоне сооружений // Криосфера Земли. – 2000. – Т. IV, № 3. – С. 35–41.
5. **Хрусталеv Л.Н., Гарагуля Л.С., Гордеева Г.И. и др.** Прогноз среднегодовой температуры воздуха на территории Республики Саха (Якутия) по результатам ретроспективного анализа // Криосфера Земли. – 2002. – Т. VI, № 2. – С. 66–74.
6. **Израэль Ю.А., Груза Г.В., Катцов В.М., Мелешко В.П.** Изменения глобального климата: Роль антропогенных воздействий // Метеорология и гидрология. – 2001. – № 5. – С. 48–60.
7. **Impacts of warming Arctic: Arctic climate impacts assessment / ACIA.** – Cambridge University Press, 2007. – 92 p.
8. **Алексеев Г.В., Данилов А.И., Клепиков А.В.** Климатические изменения в Арктике и их возможные последствия для морской экономики // Национальная морская политика и экономическая деятельность в Арктике: I Всерос. науч.-практ. конф. (Мурманск, 1–2 июня 2006 г.) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.kolasc.net.ru/russian/news/ier-4.pdf> (дата обращения 20.12.2008).
9. **Зубакин Г.К., Бочков Ю.А., Бузин И.В.** Экстремальные ледовые условия и процессы в Баренцевом море в 2002/2003 гг. // Нефть и газ Арктического шельфа: Науч.-практ. конф. (Мурманск, 15–17 ноября 2006 г.) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.arcticshelf.ru/files/Abstracts2006/Russian/Workshop2/2-16-15-20.pdf> (дата обращения 20.12.2008).
10. **Наумов А.К., Зубакин Г.К., Гудошников Ю.П. и др.** Льды и айсберги в районе Штокмановского газоконденсатного месторождения // Труды РАО-03 (Санкт-Петербург, 16–19 сентября 2003 г.). – СПб., 2003. – С. 120–131.
11. **75 лет** Северному морскому пути / Пресс служба ААНИИ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.aari.ru/docs/press\\_release/2008,02,21\\_SevMorPut.html](http://www.aari.ru/docs/press_release/2008,02,21_SevMorPut.html) (дата обращения 20.12.2008).
12. **Харитоновa В.Н., Кин А.А.** Северный морской путь как инфраструктурный проект развития Арктики // Сибирь в первые десятилетия XXI века / Отв. ред. акад. РАН В.В. Кулешов. – Новосибирск: Изд-во ИЭОПП СО РАН, 2008. – С. 564–584.