Криосфера Земли, 2007, т. XI, № 2, с. 76–83 **http://www.izdatgeo.ru**

УДК 624.131.4

О ПРОБЛЕМАХ ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВА В КРИОЛИТОЗОНЕ (НА ПРИМЕРЕ ЯКУТСКА)

О.И. Алексеева, В.Т. Балобаев, М.Н. Григорьев, В.Н. Макаров, Р.В. Чжан, М.М. Шац, В.В. Шепелев

Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН, 677010, Якутск, ул. Мерзлотная, 1, Россия, o.i.alekseeva@mpi.ysn.ru

Рассмотрены основные проблемы устойчивости зданий и сооружений в городе Якутске. Проанализирована их связь с инженерно-геокриологическими условиями территории, состоянием окружающей среды, современным потеплением климата и протекающими на территории города криогенными процессами и явлениями. Рассмотрены проблемы строительства и эксплуатации зданий, пути повышения их надежности и долговечности.

Криолитозона, здания и сооружения, криогенные процессы, потепление климата, мерзлые грунты

URBAN DEVELOPMENT PROBLEMS IN PERMAFROST AREAS (BY THE EXAMPLE OF YAKUTSK)

O.I. Alekseeva, V.T. Balobaev, M.N. Grigoriev, V.N. Makarov, R.V. Zhang, M.M. Shatz, V.V. Shepelev

Melnikov Permafrost Institute SB RAS, 677010, Yakutsk, Merzlotnaya str., 1, Russia, o.i. alekseeva@mpi.ysn.ru

The basic problems of the building and structure stability in Yakutsk are discussed. They are analyzed in relation to local permafrost conditions, environmental situation, recent climate warming, and cryogenic processes and phenomena occurring in the city area. The building construction and maintenance problems, as well as the ways of improving the reliability and durability of buildings are discussed.

Cryolithozone, buildings and structures, cryogenic processes, climate warming, frozen ground

ВВЕДЕНИЕ

Многолетнемерзлые грунты занимают около 65 % территории России. Строительное освоение этой обширной территории ведется в сложных инженерно-геокриологических условиях и суровом климате. Здесь созданы такие крупные городские промышленные комплексы, как Якутский, Воркутинский, Норильский и Магаданский. В них входят транспортные, гидротехнические, производственные и другие городские сооружения. Функционирование комплексов инженерных сооружений вызывает изменение всех компонентов природной среды: растительного покрова, мезо- и микрорельефа, поверхностных и грунтовых вод, температурного режима и морфологии мерзлых толщ. Это, в свою очередь, приводит к изменению свойств оснований самих сооружений и негативно сказывается на их устойчивости [*Чжан, 2005*]. Дальнейшее освоение территории криолитозоны, а также поддержание функционирования уже имеющейся инженерной инфраструктуры требуют углубленного изучения закономерностей взаимодействия человека и природы в новых условиях и решения вытекающих из этого общих и частных проблем. Рассмотрим указанные проблемы на примере Якутска – самого крупного города в мире, расположенного в зоне сплошной криолитозоны.

ИНЖЕНЕРНО-ГЕОКРИОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ЯКУТСКА

Мощность криолитозоны в районе г. Якутска в среднем составляет 250–350 м. Вне городской застройки среднегодовая температура грунтов изменяется от –0,5 до –2,7 °С для супесей и от –1 до –4 °С для суглинков. Мощность слоя годовых теплооборотов 15–17 м. На участках, примыкающих к современным водоемам или древним русловым и озерным понижениям, температура грунтов составляет 0...–1 °С. Низкая температура грунтов характерна для возвышенных древних останцовых поверхностей (–3...–4 °С), для береговых валов и гряд (–1,5...–2,0 °С).

В естественных условиях глубина сезонноталого слоя (СТС) составляет в среднем 1,5–1,7 м для суглинков, 1,6–2,0 м для супесей и 2,0–2,5 м для песков. Многолетняя изменчивость глубины СТС, обусловленная климатическими колебаниями, оценивается в 0,4–0,5 м. Повторно-жильные льды редки и маломощны. Сильнольдистые грунты залегают в понижениях рельефа и представлены суглинками и супесями со слоистой криогенной текстурой. В малольдистых песчаных отложениях, приуроченных к возвышенным грядам, криогенная текстура массивная. Сильнольдистые горизонты чаще встречаются на глубине 3–4 м на нижней

© О.И. Алексеева, В.Т. Балобаев, М.Н. Григорьев, В.Н. Макаров, Р.В. Чжан, М.М. Шац, В.В. Шепелев, 2007

границе экстремального СТС и приурочены к контактам дисперсных грунтов с песками, таликовым зонам и погребенным почвенным горизонтам.

Под основным руслом р. Лены в районе г. Якутска существует сквозной талик щелеобразной формы. Под городской протокой находится талик несквозной мощностью около 30 м, а глубина проникновения таликовых зон под городскими озерами и старичными понижениями не превышает 20 м. Во всех устойчивых таликовых зонах развиты надмерзлотные грунтовые воды. Они характеризуются гидрокарбонатным натриево-магниевым или кальциево-натриевым составом с минерализацией от 0,1 до 2,0 г/л. Надмерзлотные воды сезонноталого слоя, приуроченные к возвышенным участкам, обычно пресные, а распространенные в депрессиях рельефа, как правило, минерализованные. В нижних частях пологих склонов образуются локальные маломощные несквозные талики (до 3–4 м), где происходит засоление грунтов и возможно формирование криопэгов или сильнольдистых засоленных грунтов.

Древнейшие пойменные гряды, прирусловые валы и центральные части останцовых поверхностей в большинстве случаев сложены малольдистым песчаным материалом и достаточно хорошо дренируются. Именно такие участки имеют более благоприятные инженерно-геокриологические условия. В старичных, межгрядовых и других древних пойменных депрессиях преобладают тонкодисперсные грунты (илы, супеси, суглинки и пылеватые пески), характеризующиеся повышенной льдистостью. К этим же понижениям в основном приурочены и очаги заболачивания, в которых наблюдается высокая интенсивность развития криогенных процессов и явлений.

О РАЗВИТИИ КРИОГЕННЫХ ПРОЦЕССОВ И ЯВЛЕНИЙ

Основными криогенными процессами на территории Якутска являются термокарстовые и термосуффозионные просадки, морозобойное растрескивание, солифлюкция, локальное и площадное морозное пучение, термоэрозия, термоденудация, термопросадки, заболачивание и подтопление, а также техногенное наледеобразование. Активизация этих процессов неблагоприятно сказывается на функционировании городской инфраструктуры. В последние десятилетия отмечается расширение площадей распространения деструктивных криогенных процессов. Это выражается в разрушении дорожных покрытий и коммуникаций, деформациях насыпей, фундаментов сооружений, формировании термоэрозионных рытвин, увеличении зон заболачивания (рис. 1).

Масштабность развития подтопления и обводнения территории Якутска обусловливает высокую степень нарушенности и нестабильности мерзлотно-грунтовых условий оснований зданий, сооружений и коммуникаций, способствует активизации опасных криогенных процессов [*Шепелев, Шац, 2000*]. Именно обводнение является одним из наиболее неблагоприятных факторов, влияющих на потерю устойчивости грунтов оснований и несущих конструкций. Причем происходит обводнение как пресными, так и минерализированными подземными водами – криопэгами. Ярким примером обводнения может служить аэропорт в Якутске (рис. 2).

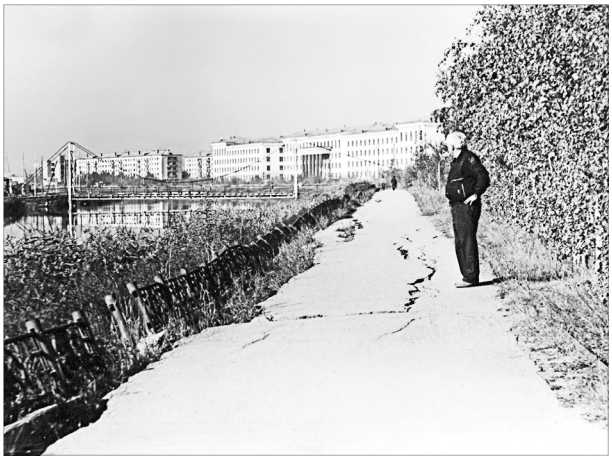

Рис. 1. Термопросадки по ул. Кулаковского в Якутске (1999 г., фото М.Н. Григорьева).

Серьезная проблема городского хозяйства зимой – техногенные наледи, обусловленные аварийными утечками воды из водопроводно-канализационных коммуникаций и являющиеся массовым и непрерывным процессом [*Григорьев и др., 1997*]. Наледный сток на территории города в среднем составляет 50 мм в год. В отдельных городских кварталах эта величина достигает более 200 мм, что значительно превышает сумму зимних атмосферных осадков. Наледи, минерализация льда которых достигает 1,5–2,0 г/л, представляют собой существенный источник загрязнения городской территории, они негативно влияют на качество грунтов и их инженерно-геологические свойства. Наледи способствуют заболачиванию территории, изменяют тепловой баланс и химический состав подстилающих отложений.

Наиболее интенсивное развитие криогенных процессов происходит в пределах линейных участков, приуроченных к древним пойменным и старичным понижениям, которые охватывают территорию города густой сетью и наиболее распространены на поверхности первой надпойменной террасы. Эти участки служат ареной активного развития криогенных процессов и явлений, а древ-

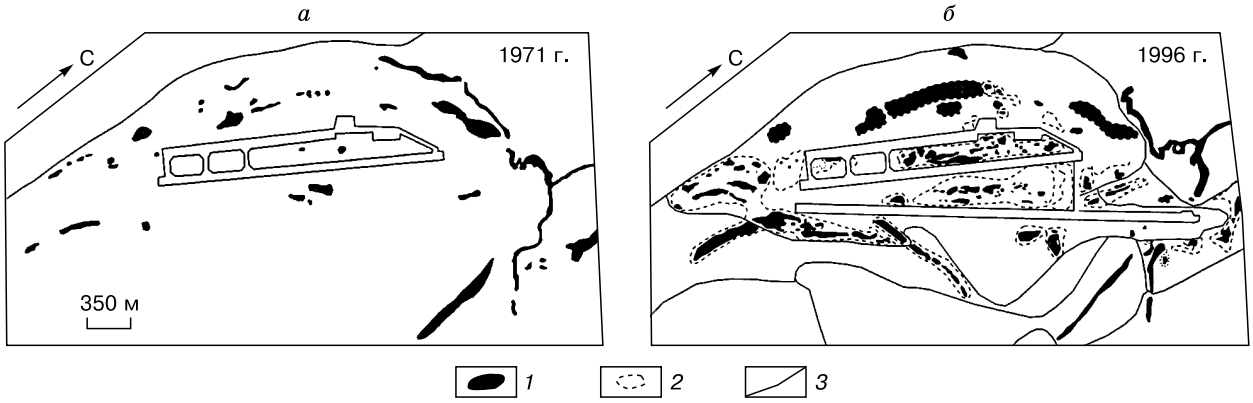

Рис. 2. Геоэкологическая ситуация района аэропорта Якутск:

а – съемка 1971 г., *б* – съемка 1996 г.; *1* – водоемы с открытой поверхностью, *2* – участки с избыточным увлажнением, *3* – дороги.

ние пойменные гряды, напротив, характеризуются относительной стабильностью. К числу наиболее динамичных явлений относятся сезонное пучение и просадки грунтов (до 15–20 см/год), термоэрозия, спровоцированная техногенезом (первые метры в год), а также термокарстовые просадки дна новообразованных озер на северо-западе города (до 15–40 см/год).

Все это вынуждает администрацию г. Якутска ежегодно расходовать огромные средства на укрепительно-восстановительные, ремонтные и аварийные работы, на усложнение конструкций фундаментов, дорог, схем прокладки инженерных сетей и т. д. Однако эти меры не снижают кризисности мерзлотно-гидрогеологической, инженерно-геологической и геоэкологической обстановки в городе. Без принятия кардинальных мер Якутск может оказаться в ситуации, когда дальнейшее его функционирование на существующей территории будет весьма проблематичным.

СОСТОЯНИЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ РАЙОНА г. ЯКУТСКА

Проведенные Институтом мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН (ИМЗ СО РАН) эколого-геохимические мониторинговые исследования свидетельствуют о том, что территория Якутска отличается высокой плотностью техногенного давления на экосистемы. Это обусловлено как неблагоприятными климатическими и инженерно-геологическими условиями, так и ошибками, допущенными при создании и эксплуатации городской инфраструктуры. Техногенные геохимические аномалии фиксируются во всех природных средах: атмосфере, снежном покрове, почвах, природных водах, растительности.

Загрязнение атмосферы Якутска разнообразными выбросами охватывает не только непосредственно территорию городской застройки, но и распространяется далеко за ее пределы. Аномальное геохимическое поле занимает площадь около 150 км^2. Средний объем суммарных выпадений из атмосферы изменяется от 5 т/км^2 (пос. Табага) до 104 т/км^2 в год (пос. Кангалассы). Основная масса загрязнителей приходится на пылеватые выпадения, объем которых в пригородных поселках Жатай и Кангалассы достигает 92–96 % от общего количества выпадений.

Попадание сточных вод в поверхностные водоемы и их инфильтрация в почвы ведет к частичной или полной метаморфизации химического состава поверхностных и надмерзлотных подземных вод. Ухудшение санитарно-гигиенического состояния природных вод связано в основном с повышением минерализации воды за счет концентрирования хлоридов магния и натрия, увеличением концентрации соединений азота и ряда токсичных элементов (марганца, стронция, хрома и др.).

Характерным для Якутска является высокая интенсификация фильтрационно-миграционных процессов, вследствие которых происходит глубинное засоление многолетнемерзлых грунтов и их переход в пластично-мерзлое и талое состояния. На отдельных участках города минерализация надмерзлотных и межмерзлотных вод – криопэгов возросла до 50–100 г/л. Температура замерзания грунтов (водно-химический талик), содержащих воды с такой минерализацией, достигает –3...–5 °С, что приводит к возникновению отрицательно-температурных талых грунтов, на которых невозможно строительство по первому принципу. Коварным свойством криопэгов является способность “разъедать” материал несущих конструкций фундаментов зданий и сооружений. В городе немало участков, пораженных этими процессами. Глубина водно-химических таликов, об-

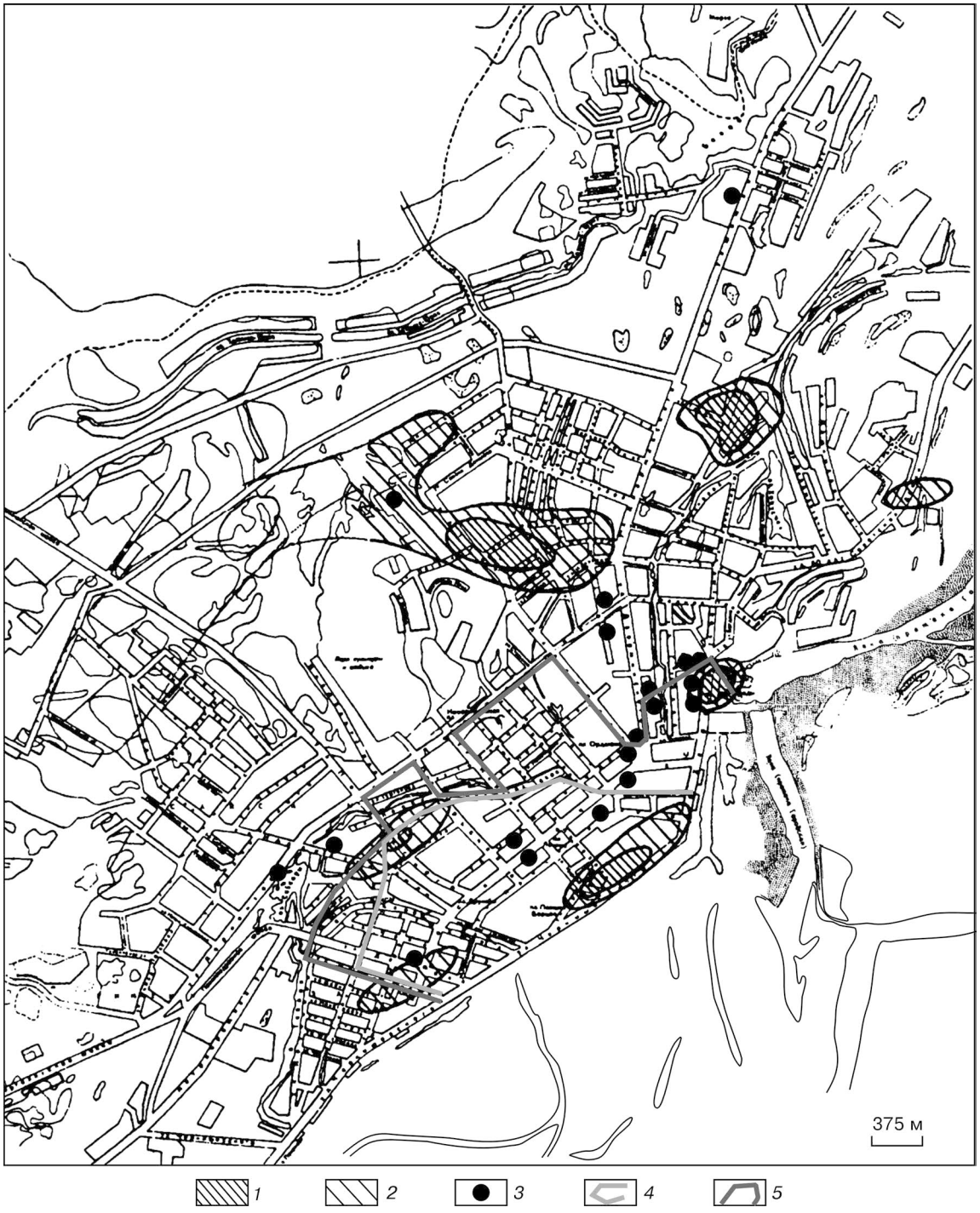

Рис. 3. Засоленные грунты и аварийные сооружения на территории Якутска (2003 г.):

1, *2* – засоленные грунты (сумма солей, %: *1* – 0,5–1,0, *2* – выше 1,0); *3* – аварийные сооружения; *4*, *5* – границы городской застройки (*4* – 1821 г., *5* – 1908 г.).

разовавшихся под некоторыми зданиями, достигает 12–16 м. Растет количество участков, где происходят активные процессы засоления грунтов (рис. 3).

Одним из депонентов веществ-загрязнителей является почвенный покров. Первоначальный химический состав почв зависит от состава материн-

ских пород и развития почвообразовательных процессов. В результате техногенного воздействия на почвенный покров произошли существенные изменения в химическом составе грунтов. Наиболее высокая интенсивность засоления деятельного слоя характерна для сульфатов и уменьшается в ряду $SO_4^{2-} > Cl^- > HCO_3^-$. Размеры литохимических аномалий в почвах на территории города варьируют в довольно широких пределах – от 100–200 га (ртуть, свинец, серебро) до 1–10 га (литий, ванадий, кобальт, галлий). Как правило, площади аномалий значительно больше территорий промышленных объектов и распространяются на жилые кварталы [*Макаров, 1985*]. Оценка химического загрязнения почв по суммарному показателю химического загрязнения [*Критерии..., 1992*] показала, что на значительной части территории города (30–40 %) загрязнение почвенного покрова отвечает параметрам чрезвычайной экологической ситуации. Наиболее сложная экологическая ситуация сложилась в городе по накоплению в почвах свинца – химического вещества второго класса опасности. Среднее содержание свинца в почвах в 2 раза выше ПДК, а максимальное (700–1500 мг/кг) достигает уровня чрезвычайной экологической ситуации.

На территории Якутска возникли крупные литохимические аномалии, в пределах которых засоление грунтов превышает 1 % на 100 г. Для большинства аномалий характерно преобладание хлоридного и сульфатного типов засоления грунтов с концентрацией Cl^- и SO_4^{2-} более 10–20 мг-экв. Геохимический мониторинг территории Якутска позволил установить качественные и количественные показатели повышения засоленности грунтов главным образом за счет хлоридных и сульфатных солей. Особенно быстрыми темпами возрастает щелочность грунтов.

Показатели химического состава грунтов: pH, органические вещества, содержание NO_3^-, Cl^-, Fe, магнезиальных солей и едких щелочей, свидетельствуют об агрессивности и коррозионной активности грунтов по отношению к строительным конструкциям (металлам) на территории города.

В районе г. Якутска насчитывается несколько десятков озер. Наиболее крупными из них являются Сайсары (площадь 0,6 км^2, глубина 5 м) и Белое (0,8 км^2, глубина 7 м). Воды озер весьма разнородны по химическому составу – от маломинерализованных гидрокарбонатных, смешанных по составу катионов, до солоноватых и соленых, преимущественно гидрокарбонатных и хлоридных. Величина минерализации озерных вод колеблется от 84,0 до 6567,0 мг/л, но в большинстве озер находится в пределах 20–700 мг/л. Наиболее минерализована (1400–5600 мг/л) вода в озерах Хатын-Юрях, Хомустах и безымянных озерах, которые протягиваются вдоль западной окраины города. Соленость воды в этих озерах с 1998 г. заметно увеличивается, что связано с продолжающимся сливом сточных вод в эти водоемы и перекачкой минерализованных загрязненных вод в оз. Хатын-Юрях, предпринятой администрацией города летом 2003 г.

Озера с наиболее пресными водами, минерализация воды в которых в настоящее время не превышает 0,5 г/л, находятся в южной части города (Теплое, Сергеляхское). Вода большинства городских озер щелочная, водородный показатель изменяется в пределах pH = 6,79–9,79. Концентрации большинства микроэлементов (Cu, Pb, Mn, Yb, Ga, Cr) в озерных водах незначительны и не превышают гигиенических санитарных норм. Наиболее загрязненные озера в районе г. Якутска находятся в промышленной зоне, а также вдоль главных автомагистралей города и на территории городской свалки [*Makarov, 2003*].

Техногенные преобразования химического состава надмерзлотных вод в совокупности с криогенными процессами негативно отражаются на состоянии подземных коммуникаций, фундаментов, подвальных помещений, дорожного покрытия и других сооружений. Многократные изменения кислотности–щелочности, содержания органических веществ и других компонентов усиливают агрессивную способность среды и повышают коррозионную активность грунтов. Природно-техногенные геологические процессы и явления наносят прямой и косвенный ущерб городскому хозяйству, создают экологические проблемы, угрожают устойчивости сооружений, вызывают аварии и разрушения жилых зданий, промышленных площадок и транспортных магистралей, служат причиной чрезвычайных ситуаций.

О ВЛИЯНИИ СОВРЕМЕННОГО ПОТЕПЛЕНИЯ КЛИМАТА НА СОСТОЯНИЕ ГОРОДСКОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ

Одной из серьезных проблем, волнующих в последние годы мировую общественность, является проблема потепления климата. Само потепление, наблюдающееся уже на протяжении 25 лет, стало фактом и его никто не оспаривает. Так, в Якутии за последние 30 лет температура атмосферного воздуха повысилась на 0,5–2,0 °С. Однако, по данным ИМЗ СО РАН, температура мерзлых пород за этот период не изменилась, что можно объяснить большой инерционностью мерзлых толщ. Это указывает на то, что различные колебания температурных условий на поверхности Земли распространяются медленно, неглубоко и быстро затухают. При изменениях климата следует опасаться перехода температуры поверхности многолетнемерзлых пород в область положительных значений. Это приведет к их протаиванию сверху и к значительному увеличению глубины

СТС. В этом случае устойчивость городских систем жизнеобеспечения и инженерной инфраструктуры достигнет критического порога, а все наземные сооружения будут подвержены интенсивному разрушению. Однако прогнозные расчеты изменения геокриологической обстановки показывают, что такой критической ситуации в районе г. Якутска на ближайшее будущее не предвидится.

Сотрудниками ИМЗ СО РАН совместно с Геофизическим институтом Университета Аляски был проведен гармонический анализ длинных рядов наблюдений за температурой воздуха в городах Якутске и Фербенксе [*Шендер и др., 1999; Балобаев, Шепелев, 2001*]. Было выявлено, что изменения среднегодовой температуры атмосферного воздуха в Якутске хорошо описываются постоянной составляющей и тремя основными гармониками с периодами 300, 110 и 75 лет. Результаты анализа указывают на окончание наблюдающегося потепления климата в 2005–2017 гг., когда средняя годовая температура атмосферного воздуха в Якутске достигнет –8,0 °С. После этого вплоть до 2054 г. будет происходить интенсивное похолодание до –11 °С. Затем вновь наступит период потепления, который продлится до 2088–2098 гг., когда средняя годовая температура воздуха в городе вновь повысится до –8,5...–9,0 °С. Следующее столетие будет характеризоваться относительным постоянством температуры воздуха, но к концу XXII в. она понизится до –11,5 °С.

Проведенный анализ свидетельствует о том, что основные проблемы устойчивости инженерных сооружений на территории Якутска необходимо связывать не с изменением климата, а с неудовлетворительными их проектированием, строительством и эксплуатацией, вызывающими деградацию мерзлых оснований, фундаментов зданий и сооружений.

О ТЕХНИЧЕСКОМ СОСТОЯНИИ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

К концу XX столетия в Якутске сформировался большой фонд жилых и общественных зданий в каменном мелкоштучном и крупнопанельном исполнении с различными конструктивными решениями. По данным Департамента жилищно-коммунального хозяйства администрации города, число каменных строений составляет около 3000, в том числе 968 жилых домов. Состояние жилого фонда признано катастрофическим. Начиная с 1970 г. в городе произошло более 20 случаев крупных обрушений каменных зданий постройки 1950–1960 гг. (рис. 4).

Основными причинами неудовлетворительного технического состояния зданий в каменном и крупнопанельном исполнении является ухудшение мерзлотно-грунтовых условий, отсутствие надлежащей вертикальной планировки возле зданий, в кварталах и микрорайонах, отсутствие сети ливневой канализации как в пределах квартальной застройки, так и в объеме генерального плана города, частые аварийные утечки воды из трубопроводных систем.

Все это приводит к интенсивному оттаиванию, засолению и обводнению застроенной территории города, что, в свою очередь, вызывает неравномерные деформации грунтов оснований фундаментов. Вследствие постоянных утечек минерализованных агрессивных сточных вод из систем канализации происходит не только деградация мерзлых грунтов, но и разрушение железобетонных несущих конструкций фундаментов.

В течение последних 15 лет вопросы состояния объектов жилищно-гражданского назначения, а также объектов жизнеобеспечения г. Якутска неоднократно обсуждались на различных уровнях – от городских и республиканских научно-

а

б

Рис. 4. Разрушение зданий в результате термопросадок грунтов оснований:
а – Якутск, 1999 г. (фото М.Н. Григорьева); *б* – Якутск, 2005 г. (фото В.Н. Макарова).

практических конференций до выездных комиссий Правительства Российской Федерации. В целях снижения остроты сложившейся ситуации и обеспечения комплексного и эффективного развития г. Якутска Правительством Республики Саха (Якутия) был принят ряд важных законодательных и нормативных актов. Разработаны "Комплексная схема охраны окружающей среды г. Якутска" (1992 г.) и "Целевая программа мероприятий по улучшению экологической обстановки и рациональному природопользованию на территории Якутского Горсовета на 1992–1995 гг. и на перспективу". В 1995 г. разработана "Концепция инженерной защиты территории г. Якутска от подтопления и развития опасных криогенных процессов". Она составлена на общественных началах специалистами Института Сахапроект, НПО "Геотехнология" и ИМЗ СО РАН. Были предложены конкретные защитные мероприятия по борьбе с подтоплением и развитием опасных криогенных процессов и ряд других разработок, связанных с методикой проведения инженерно-строительных изысканий, созданием крупных специализированных организаций по инженерному обеспечению, ремонту и восстановлению зданий и сооружений. Министерством строительства и архитектуры РС(Я), администрацией г. Якутска и рядом научно-исследовательских институтов и организаций разработана "Республиканская целевая программа по сносу ветхих домов и укрепительно-восстановительным работам на аварийных жилых домах г. Якутска на 2002–2006 гг.". Программа охватывала минимально допустимый объем работ, необходимый для выполнения аварийно-восстановительных, укрепительных и проектно-изыскательских работ по объектам жилого фонда, инженерной защите территории Якутска от подтопления и развития опасных криогенных процессов. В частности, предполагалось детальное обследование аварийных и деформированных зданий и сооружений и комплекс работ по осушению, дренажу и защите территории города от подтопления, проведение работ по принудительному глубинному охлаждению высокотемпературных грунтов оснований, их химическому закреплению и глубинному уплотнению. Для этих целей достаточно хорошо зарекомендовали себя методы искусственного регулирования температурного режима мерзлых оснований за счет использования различных охлаждающих средств в комплексе с высокоэффективной теплоизоляцией [*Алексеева и др., 1999*]. Однако финансовых средств у администрации г. Якутска на выполнение всех этих программ не нашлось.

В то же время в городе возводятся монументальные дорогостоящие здания и сооружения (театры, бассейны, цирк, набережная с фонтанами, многочисленные памятники историческим личностям и др.), что, несомненно, внешне украшает город. Лицо города хорошеет и за счет возведения новых дорог, мостовых переходов, красивых зданий ипотечного строительства. В свою очередь, продолжается процесс ухудшения технического состояния имеющегося жилого фонда, а также инженерно-геокриологического состояния оснований зданий и сооружений.

ПУТИ ВЫХОДА ИЗ КРИЗИСНОЙ СИТУАЦИИ

Уникальный город Якутск живет и развивается в очень сложных природных и техногенных условиях, многие из которых могут квалифицироваться как кризисные. Для обеспечения безопасности проживания человека в таком городе необходимо владеть достаточно полной информацией о состоянии и масштабах преобразований этих условий. В этом плане очень важным является общее признание того факта, что кризисное состояние инженерной инфраструктуры Якутска связано не с изменением климата, а с деградацией мерзлых оснований, вызванных неудовлетворительным проектированием, строительством и эксплуатацией городских объектов.

Для выхода из сложившейся кризисной ситуации можно наметить следующие первоочередные мероприятия.

1. Начать комплексное восстановление мерзлого состояния грунтов оснований с применением горизонтальных, вертикальных и наклонных систем замораживания, автоматически действующих за счет естественного холода (термосифонов).

2. Создать ливневую канализацию и эффективную систему дренирования надмерзлотного стока на территории Якутска.

3. Использовать альтернативные свайным фундаментам поверхностные фундаменты, приспособленные к повышению температуры грунтов и неравномерным осадкам оснований (фундаменты-оболочки, фундаменты структурного типа, плоские фундаментные плиты с сотовым заполнителем).

4. Организовать специализированную городскую службу, осуществляющую цикл работ по схеме: изыскание–проектирование–строительство–научно-технический мониторинг.

Литература

Алексеева О.И., Демченко Р.Я., Курчатова А.Н. Мониторинг мерзлых оснований зданий в Якутске // Криосфера Земли, 1999, т. III, № 4, с. 9–14.

Балобаев В.Т., Шепелев В.В. Космопланетарные климатические циклы и их роль в развитии биосферы Земли // Докл. РАН, 2001, т. 379, № 2, с. 247–251.

Григорьев М.Н., Курчатова А.Н., Аносова Л.П. и др. Контроль состояния геотехнической системы Якутска на

основе мерзлотно-геоморфологической систематизации // Материалы науч.-практ. конф. “Якутск – столица северной республики: глобальные проблемы градосферы и пути их решения”. Ч. II. Якутск, ЯНЦ СО РАН, 1997, с. 31–39.

Критерии оценки экологической обстановки территорий для выявления зон чрезвычайной экологической ситуации и зон экологического бедствия. М., М-во охраны окружающей среды РФ, 1992, 48 с.

Макаров В.Н. Геохимический атлас Якутска. Якутск, Ин-т мерзлотоведения СО АН СССР, 1985, 65 с.

Чжан Р.В. Проблемы инженерного мерзлотоведения // Проблемы и перспективы комплексного освоения месторождений полезных ископаемых криолитозоны: Тр. Междунар. науч.-практ. конф. (Якутск, 14–17 июня 2005 г.). Т. 1. Якутск, Ин-т мерзлотоведения СО РАН, 2005, с. 45–49.

Шендер Н.И., Романовский В.Е., Тетельбаум А.С. Прогноз естественно-исторических колебаний климата гг. Якутска и Фербенкса // Наука и образование, 1999, № 2(4), с. 24–29.

Шепелев В.В., Шац М.М. Геоэкологические проблемы обводнения и подтопления территории г. Якутска // Наука и образование, 2000, № 3, с. 68–71.

Makarov V.N. Groundwater modification and its effect on the infrastructure of northerh cities // RMZ-Materials and Geoenvironment. Ljubljana, Slovenia, 2003, vol. 50, No. 3, p. 201–204.

Поступила в редакцию
24 июня 2006 г.