

Изменение климата в последние годы не только в России, но и во всем мире, его влияние на инженерные сооружения в криолитозоне являются актуальной темой. Несмотря на многовековые попытки человека защитить природно-техногенные системы от опасных воздействий пучения и просадок при оттаивании, до сих пор в России, Монголии, скандинавских странах, США, Китае, Канаде и в других холодных регионах увеличивается количество зданий и сооружений, деформированных от воздействия морозного пучения с последующей осадкой при оттаивании. Увеличивается также число аварий и разрушений всевозможных строительных объектов, приводящих даже к человеческим жертвам, а ежегодные ущерб и затраты на ремонтно-восстановительные работы исчисляются в начале XXI в. уже сотнями миллиардов долларов [1].

Современное потепление климата большинство исследователей связывают с антропогенной деятельностью и быстрым ростом содержания парниковых газов в атмосфере Земли, что может привести к плохо прогнозируемым и, возможно, катастрофическим последствиям [2]. По прогнозам Межправительственной группы экспертов по изменению климата (IPCC), наиболее авторитетной международной организации в области изучения климата, в ближайшие 20–30 лет рост температуры составит в среднем 0,2 °C за десятилетие, а к концу XXI века температура Земли может повыситься от 1,8 до 4,6 °C (в зависимости от реализации различных сценариев развития мировой экономики и общества), в том числе в России на территории криолитозоны к 2040–2060 гг. – на 1,9...3,3 °C [3].

Несмотря на то, что проблема изменения климата известна давно и широко обсуждается, мнения исследователей не только России, но и разных стран о природе происхождения, длительности периодов и других факторов неоднозначные. Так, например, И.В. Карнацевич и другие считают, что глобальный климат меняется, но с характерными периодами порядка нескольких десятков тысячелетий и не может меняться в масштабе столетий [4]. Видный географ, климатолог и мерзлотовед М.К. Гаврилова

констатировала, что появилось множество расчетных подходов к проблеме изменения климата. Но, по всеобщему мнению, они не оправдываются, а иногда результаты их противоречивы, а изменение климата для разных регионов происходит по-разному [5]. Такое же мнение относительно того, что во всех регионах России из-за большой протяженности территории и разнообразия ее природных условий климатические изменения проявляются неравномерно по различным регионам и сезонам, высказано специалистами ВНИИГиМ [6].

Учитывая обширность территории России и то, что в значительной части территории распространены сезоннопромерзающие (более 30 %) и многолетнемерзлые грунты (66 %) [1], с таким мнением можно согласиться. Если рассмотреть изменения климата и его влияние на атмосферные осадки, криолитозону и другие составляющие по характерным регионам России, то на европейском севере (Ненецкий автономный округ) темпы потепления многолетнемерзлых пород в условиях естественных ландшафтов южной тундры отстают от темпов потепления климата примерно в 2...8 раз [7]. Результаты математического моделирования теплового взаимодействия в системе атмосфера–литосфера в северо-восточной части европейской территории России и на севере Западной Сибири свидетельствуют о значительном влиянии потепления атмосферы в ближайшие столетия на тепловое состояние литосферы северных регионов, что уже приводит к деградации многолетнемерзлых пород [8].

В Арктике, как отмечают специалисты [9], изменение климата в последние десятилетия, прежде всего его потепление, происходило быстрее и масштабнее, чем на остальной части Земного шара. Глобальное потепление в целом по Земному шару составило за XX веке 1 °С, что привело к смещению на север южных границ многолетней мерзлоты и льдов Северного Ледовитого океана на 300...500 км. При этом если средняя температура воздуха для всей планеты повысилась по сравнению с доиндустриальным периодом на 0,5...0,6 °С, то в северных широтах этот показатель к началу

2000 г. составил 1,2 °С [10]. Прогнозы климатологов [11] указывают и на дальнейшее, так называемое полярное, усиление глобального потепления на протяжении всего XXI века. Некоторые специалисты прогнозируют, что уже к 2025 г. повышение может достигнуть 2,2...2,5 °С [12]. Например, за первое десятилетие XXI в. в районе Полюса холода (Оймяконский район, арктическая зона Якутии) отмечено повышение средней годовой температуры воздуха за период 2001–2009 гг. на 1,4 °С по сравнению со средней многолетней нормой [13].

На территории Байкальского региона изменения климата вследствие глобального потепления выражены еще сильнее. За последние 30–35 лет температура воздуха выростала на 3,6 °С/10 лет, а с начала XX в. – на 2,3 °С/10 лет. Потепление сопровождалось такими экосистемными реакциями как аридизация и опустынивание. Амплитуда суммы осадков – разность между максимумом 617,3 мм (1990 г.) и минимумом 176,4 мм (1954 г.), составляет беспрецедентно большую величину – 441 мм. Из этого следует, что по дефициту испарения климатическую норму орошения в мелиорации земель уже необходимо принимать на 370...450 м³/га больше существующих [14].

В Магаданской области за последние десятилетия отмечается существенное повышение температуры воздуха, которое не может не отразиться на увеличении глубины сезонного протаивания в мерзлотных ландшафтах [15]. В связи с этим появилась настоятельная необходимость повышения устойчивости сельхозугодий с мерзлотными почвами, проведения на них так называемой противомерзлотной мелиорации, т. е. создания теплоизолирующего слоя почвогрунтов над льдистыми, просадочными многолетнемерзлыми породами, толщина которого не меньше глубины сезонного оттаивания в расчетные по теплообеспеченности годы [16].

Проблема изменения климата в России затрагивает не только ее арктические и субарктические территории, но и южные регионы. В течение

текущего века ожидается увеличение количества осадков в зимний период на территории России, а в летний – их сокращение на 25 % в пределах южных регионов. В результате в густонаселенных регионах Центрального, Южного и Северо-Кавказского федеральных округов можно ожидать уменьшение водообеспеченности территорий [17].

Данные многолетних наблюдений свидетельствуют о повсеместном увеличении среднегодовой температуры верхних горизонтов многолетнемерзлых грунтов с 70-х годов. Оно составило 1,2...2,8 °С на севере европейской территории России, 1 °С – на севере Западной Сибири, 1,5 °С – в Центральной Якутии и около 1,3 °С – в Восточной Сибири. При этом исследователи М.М. Шац и Ю.Б. Скачков считают, что увеличение глубины сезонно-талого слоя синхронно к климатическому потеплению происходит не везде и зависит от конкретных ландшафтных условий, например, от растительности, гидрографии, геологии и др. [18]. Изменение климата затронет, в первую очередь, такие отрасли народного хозяйства, как мелиорация земель и водообеспечение агропромышленной отрасли, особенно учитывая тот фактор, что более 65 % территории РФ находится в зоне многолетней мерзлоты. Изменение климата в РФ к концу первого десятилетия XXI в. привело к уменьшению несущей способности многолетней мерзлоты по сравнению с 1970 г. в среднем на 17 %, а в отдельных регионах – до 45 % [19].

Научные исследования в области мелиорации земель и сельскохозяйственного водоснабжения в Якутия связаны с именами Р.И. Аболина, Е.И. Цыпленкина, М.И. Сумгина, В.П. Дадыкина, А.А. Богушевского, Е.П. Галямина, Г.П. Никитина, А.И. Демина, Х.И. Смолина, Л.Н. Слоева, К.Е. Кононова, И.Г. Буслаева, Н.А. Иларова, П.П. Гаврильева, Д.Н. Слепцова, А.А. Мандарова, Р.В. Чжана, А.П. Селиверстова, И.С. Угарова, Д.Д. Саввинова и других. При этом наиболее широкий спектр разработок, учитывающих влияние изменения климата на мелиоративные системы и объекты сельхозводоснабжения, не умаляя заслуги и вклад в

мелиоративную науку других ученых, можно рассмотреть в исследованиях П.П. Гаврильева и Р.В. Чжана. П.П. Гаврильевым установлены закономерности формирования и устойчивости сельскохозяйственных ландшафтов криолитозоны, возможности их прогноза и регулирования, заложены теоретические основы мелиорации, экологии и рационального использования сельскохозяйственных земель в условиях криолитозоны, разработаны практические рекомендации и комплексные природоохранные мероприятия в условиях распространения многолетнемерзлых грунтов. С 1961 по 2009 г. им опубликовано более 200 научных работ, в том числе 14 монографий и 7 брошюр.

В монографиях [20, 21] приведены результаты исследований в Центральной Якутии влияния лиманного орошения на микроклимат, радиационного режима и теплового баланса поверхности лугов, особенностей водно-теплового режима почв, зависимости режима орошения лугов от почвенно-мерзлотных и погодных условий, гидрологического режима малых рек.

Методики проектирования, в которых впервые в состав почвенно-мелиоративных изысканий включены мерзлотно-мелиоративная съемка, районирование и прогноз, а также основные принципы и методы разработки мерзлотно-мелиоративных, противокриогенных мероприятий, рационального использования земель, прогноза возможных изменений мерзлотно-мелиоративного состояния и устойчивости с учетом вида и нагрузки воздействия мелиоративных работ отражены в исследованиях [22].

В монографии «Мерзлотно-экологические особенности таежных агроландшафтов Центральной Якутии», опубликованной в 2001 г. [23], впервые предложена система определения параметров мерзлотно-экологического состояния сельскохозяйственных земель для оценки опасности их криогенного разрушения из-за вытаивания подземного льда. В этой монографии впервые введены понятия второй и третьей групп параметров состояния мерзлотных земель, учитывающие их неустойчивость

и подверженность криогенным, мелиоративным и гидрогеологическим воздействиям. Предложены три класса криоэкологических критериев (тематические, площадные и динамические), рекомендованы способы восстановления агроземель, нарушенных криогенными явлениями.

Работы Р.В. Чжана [24–28] посвящены исследованию работы в Якутии гидротехнических сооружений низкого напора во взаимодействии с геокриологической средой. Им впервые в условиях криолитозоны детально исследованы на натуральных объектах особенности миграционных процессов при промерзании–оттаивании грунтов и формирования их температурного режима. На основе многолетних экспериментальных и теоретических исследований разработаны рекомендации по проектированию, строительству и эксплуатации гидротехнических сооружений низкого напора в криолитозоне.

В монографии «Проектирование, строительство и эксплуатация гидротехнических сооружений низкого напора в криолитозоне (на примере Якутии)» (2000 г.) изложены требования к изысканиям, проектированию, строительству, эксплуатации и организации мониторинговых наблюдений при строительстве низконапорных гидроузлов на многолетнемерзлых грунтах. Монография «Температурный режим и устойчивость низконапорных гидроузлов и грунтовых каналов в криолитозоне» (2002 г.) посвящена вопросам теплового и механического взаимодействия низконапорных гидроузлов со средой в криолитозоне. Приведен обзор опыта строительства гидросооружений в криолитозоне, методов расчета их температурного режима и напряженно-деформированного состояния. Излагаются методики и результаты исследований температурно-влажностного режима грунтовых плотин и каналов в процессе длительной эксплуатации. Вскрыты основные причины массового деформирования низконапорных гидроузлов. Выявлена роль теплового режима и криогенных процессов в потере устойчивости сооружений. На основе многолетних

натурных наблюдений и теоретических проработок даны рекомендации по повышению устойчивости низконапорных гидроузлов в криолитозоне.

В монографии «Грунтовые плотины в криолитозоне России» (2019 г.) обобщен опыт строительства грунтовых плотин в криолитозоне России, а также приведены результаты натурных исследований формирования криогенно-температурного режима сооружений энергетического и водохозяйственного назначения, являющегося основой статической и фильтрационной устойчивости гидроузлов. Рассмотрены экологические и природоохранные аспекты гидротехнического строительства в условиях меняющегося климата. Показаны роль геокриологического мониторинга и система его организации, а также использование геофизических методов, позволяющих на ранних стадиях обнаруживать предпосылки начала фильтрации в криогенной среде. Приведены инновационные разработки по возведению плотин способом скважинной гидродобычи и предложения повышения устойчивости грунтовых плотин с использованием криогенных ресурсов Земли. Представлена карта расположения грунтовых плотин и дано описание их современного состояния.

По исследованиям Р.В. Десяткина, повышение за последние десятилетия средней годовой температуры воздуха на 2...3 °С в Центральной Якутии вызвало повышение температуры верхней части мерзлых пород грунтов на 0,4...1,3 °С, что связано с увеличением глубины протаивания и активизацией криогенных процессов. Глубина сезонного протаивания под лесами увеличилась на 30...40 см по сравнению с 1960–1970 гг., вследствие чего изменился водный режим почв, и в итоге нарушился водный баланс локальных территорий. Дополнительное поступление влаги из тающих верхних слоев мерзлых пород привело в последние 10 лет к повсеместному расширению площади озер, водохранилищ и повышению стока малых рек региона [29].

Начиная с 60-х годов многие ученые в Якутии внесли неоценимый вклад в развитие мелиоративной науки в криолитозоне: установлены

закономерности формирования и устойчивости сельскохозяйственных ландшафтов криолитозоны, возможности их прогноза и регулирования; разработаны теоретические основы мелиорации, экологии и рационального использования сельскохозяйственных земель в условиях криолитозоны, а также рекомендации по проектированию, строительству и эксплуатации гидротехнических сооружений низкого напора на многолетнемерзлых породах. Внедрение разработок дало высокий эффект в эксплуатации и строительстве мелиоративных систем и объектов сельхозводоснабжения.

В последние годы на территории Якутии отмечается тенденция увеличения непредвиденных объемов весенних половодий, летне-осенних дождевых паводков, зимних осадков и других явлений. В результате этого часто происходят аварии на низконапорных водохозяйственных объектах, а также нарушение водообеспечения на мелиоративных агроландшафтах. Основная причина указанных негативных явлений – изменение погодных условий, которое повлекло изменение геокриологических показателей грунтов региона и гидрологических режимов рек, отрицательно влияющих на устойчивость сооружений, построенных на многолетнемерзлых грунтах, а также изменение водного режима почв, микроклимата локальных территорий.

По результатам анализа можно сделать вывод, что внедрение адаптивных технологий к изменениям климата является основополагающим направлением научного обеспечения мелиорации в криолитозоне Якутии, что требует актуализации исследований по усовершенствованию способов, технологий и конструктивно-технологических решений гидротехнических мелиораций.