

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«СЕВЕРО-ВОСТОЧНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ
М.К.АММОСОВА»
Институт естественных наук
Эколого-географическое отделение

РЕФЕРАТ

по дисциплине: Ландшафтоведение

на тему:

«Эволюция мерзлотных ландшафтов Якутии»

Выполнила:

Васильева М.Р.

студентка группы Б-ПП-21

Научный руководитель:

Ядрихинский И.В.

Якутск 2023

Содержание

Введение.....	3
Глава 1. Мерзлотные ландшафты как объект исследования.....	5
1.1. Теоретические основы выделения мерзлотных ландшафтов.....	5
1.2. Основные факторы, определяющие развитие и дифференциацию мерзлотных ландшафтов.....	9
1.3. Мерзлотные ландшафты как структурная часть ландшафтной сферы Земли.....	13
Глава 2. Климатогенный фактор в динамике мерзлотных ландшафтов Якутии..	18
2.1. Климат на современном этапе развития.....	18
2.2. Изменчивость мерзлотно-ландшафтных условий в начальном этапе сукцессии после вырубki лиственничного леса в Центральной Якутии.....	21
2.3. Динамика объема термокарстового расчленения ледового Комплекса.....	26
Заключение.....	29
Список использованной литературы.....	30

Введение

Актуальность темы:

Проблемы оценки современного состояния криогенных ландшафтов и определение тенденций их развития приобретают особую актуальность в связи с наблюдающимися изменениями окружающей среды в криолитозоне. Преобразование многолетнемерзлых пород, активизация гидрогеологических, гидрологических, геохимических и криогенных процессов вносят свой отпечаток в ландшафтную структуру. В связи с этим изменяется и жизнь людей, возникают проблемы адаптации хозяйственной деятельности человека к изменяющимся природным условиям.

В условиях современных изменений климата и антропогенных воздействий на окружающую среду становится весьма актуальной оценка современного состояния ландшафтов. Высокая чувствительность и ранимость территории распространения многолетнемерзлых пород к изменениям климата и антропогенным воздействиям, в связи с наличием в их составе льда, позволили выделить криогенные ландшафты в качестве составляющей ландшафтной оболочки Земли.

Оценка состояния, динамики и тенденций развития мерзлотных ландшафтов в связи с современными климатическими изменениями и антропогенным воздействием на природную среду представляет сложную научную проблему, требующую комплексного подхода к ее решению. Еще в начале 1980-х годов Н.А. Граве (СССР), Д. Браун (США) и другие исследователи отмечали, что необходимо уделять особое внимание комплексному изучению состояния, динамики и эволюции мерзлотных ландшафтов.

Долгосрочные планы экономического развития Российской Федерации в XXI веке связаны с арктической и субарктической зонами, расположенными в

области вечной мерзлоты, связывают в первую очередь с освоением сырьевых ресурсов. Значительная часть территории Республики Саха (Якутия) находится в арктической и субарктической зонах. Поэтому в целях охраны окружающей среды и рационального природопользования изучение эволюции и динамики мерзлотных ландшафтов на территории республики является весьма актуальной задачей.

Объектом исследования являются мерзлотные ландшафты Якутии.

Предмет исследований - восстановительные и деграционные схемы развития мерзлотных ландшафтов Якутии в условиях изменения климата и антропогенных воздействий.

Цель работы: изучение особенностей эволюции и динамики мерзлотных ландшафтов Якутии при естественных условиях и после антропогенного воздействия.

Задачи работы:

1. Усовершенствовать методику мерзлотно-ландшафтных исследований, предложить новые подходы к классификации и картографированию мерзлотных ландшафтов.

2. Выявить основные климатические особенности для развития мерзлотных ландшафтов.

3. Определить особенности и темпы деграции ледового комплекса при развитии термокарста в современных условиях.

Глава 1. Мерзлотные ландшафты как объект исследования

1.1. Теоретические основы выделения мерзлотных ландшафтов

Около четверти площади земной поверхности заняты ландшафтами, литогенной основой которых являются многолетнемерзлые породы. В России они занимают около 65% территории. Эти ландшафты в основном занимают высокоширотные и высокогорные местоположения, отличаются суровыми природными условиями, и для них характерно развитие специфических криогенных процессов и явлений. Поскольку такие природно-территориальные комплексы (ПТК) встречаются только в области распространения многолетнемерзлых пород (ММП), то их можно отнести к особой категории ПТК - мерзлотным ландшафтам.

Изучение мерзлотных ландшафтов в первую очередь связано с геокриологическим картографированием. Ландшафтный метод исследования ММП применялся для индикации мерзлотных условий и пространственной систематизации их свойств. Работы В.Ф. Тумеля (1945), А.П. Тыртикова (1956), И.Я. Баранова (1961), В.А. Кудрявцева (1961), и других, посвященные изучению взаимосвязей между ММП и остальными компонентами природы, в первую очередь растительности и рельефа, заложили основу изучения мерзлотных ландшафтов.

Изучение целостных природных систем, характеризующихся единым состоянием внешних и внутренних свойств, определяет теорию мерзлотного ландшафта. Целостность природной системы, обеспечиваемая функциональными связями между компонентами, определяет использование внешних, морфологических черт ландшафтов (в основном сочетаний рельефа и растительности) в качестве индикаторов мерзлотных условий. Индикация в основном используется в инженерно-геокриологическом и геокриологическом картографировании. Индикационные свойства внешнего облика ПТК

рассматриваются в работах Е.С. Мельникова и др. (1966, 1974, 1976, 1983), А.П. Тыртикова (1969, 1974, 1979), Г.А. Константиновой (1973), и др.

Ландшафтные индикаторы широко применялись в изучении связи рельефа и ММП (Соловьев, 1959; Луговой, 1970; Фотиев, и др., 1974; Некрасов, 1976; Иванов, 1984 и др.). Изучению межкомпонентных связей между растительностью и ММП, а также временной изменчивости свойств ММП в зависимости от динамики растительного покрова были посвящены работы А.П. Тыртикова (1956, 1969, 1974, 1979), Г.Г. Лазуковой (1966, 1967), Н.Г. Москаленко (1976, 1977, 1999) и др.

Особое место в развитии теории мерзлотного ландшафта принадлежит разработкам Е.С. Мельникова (1983, 1985), посвященным таксономии и классификации ПТК в условиях развития вечной мерзлоты. Установленные им классификационные иерархии и принципы систематизации ПТК позволили успешно провести целый комплекс исследований на севере Западной Сибири (Ландшафты криолитозоны..., 1983; Геокриологические условия..., 1983; Геокриологический прогноз..., 1983). Следует также отметить прикладное значение исследований по динамике мерзлотных ландшафтов, особенно для целей охраны природы и рационального использования земель (Москаленко, Шур, 1975, 1983; Вейсман, 1977, 1978, 1983; Сташенко, 1983, 1986, 1987) и др.

В последние годы весомый вклад в развитии мерзотно-ландшафтных исследований и изучении динамики мерзлотных условий сделали Д.С. Дроздов и др. (2010), С.П. Варламов и др. (2016), Г.Г. Осадчая (2018), Л.И. Зотова и Н.В. Тумель (2018), и др. Экологические исследования в криолитозоне стали проводиться с учетом мерзлотных условий (Лыткина, 2008; Николаев, 2011; Исаев, 2012; Water-Carbon Dynamics..., 2019).

Мерзотно-ландшафтные исследования находятся в непрерывном развитии. Применение новых методов дает возможность получать новые данные о распространении и эволюции ММП (Romanovsky et al., 2007; Beer et al., 2013,

2018; Li et al., 2019 и др.). Накопленный богатейший опыт изучения мерзлотных ландшафтов позволил рассмотреть проблемные вопросы их классификации и практического картографирования с точки зрения оценки их устойчивости к антропогенным воздействиям.

Изучение мерзлотных ландшафтов в последние десятилетия стало основой для природоохранных геокриологических исследований, ориентированных на изучение устойчивости территорий к техногенным воздействиям (Граве, 1978, 1979, 1980; Пармузин, Суходольский, 1980; Браун, Граве, 1981; Сташенко, 1983; Босиков и др., 1985; Осадчая, 2018, Tumel & Zotova, 2019 и др.). Освоение территорий часто ведет к нарушению экологического равновесия, вызванному изъятием из цепи природных взаимосвязей определенных звеньев. Вопрос о том, как поведет себя природная среда после нарушения, становится одной из насущных проблем современности.

Изучение основных связей между компонентами природы осуществляется путем создания многофакторных моделей природной среды, или целостных систем в виде ландшафта (ПТК, геосистемы). "Ландшафт представляет совокупность взаимообусловленных и взаимосвязанных предметов и явлений природы, предстающих перед нами в образе тех или иных исторически сложившихся, непрерывно развивающихся географических комплексов" (Мильков, 1970, с. 93). Другими словами, "это пространственно ограниченный набор компонентов, объединенный относительно тесным взаимодействием" (Арманд, 1975, с. 7). Следует отметить, что любое определение ландшафта подразумевает единство морфологических (внешних) и внутренних (литогенных) факторов.

В условиях вечной мерзлоты развитие ландшафтов, их трансформация или восстановление после нарушения во многом зависит от свойств ММП - температурного режима, криогенного строения и льдистости, мощности

сезонно-талого и сезонномерзлого слоев (СТС и СМС). Ведущий характер криогенного фактора в северных ландшафтах определяется спецификой природной среды северных регионов, в первую очередь наличием льда в литогенной основе и фазовыми переходами - при промерзании-протаивании.

Такое понимание ландшафта современным представлениям о геокриологических системах, под которыми понимается "особый тип геосистем, в котором энерго- и массообмен приводят к образованию и существованию специфического породообразующего минерала - льда" (Ершов, Гарагуля, 1987, с. 10). ММП здесь рассматриваются как составная часть ПТК, или геосистемы, так как в последнем концентрируется всеобщая связь процессов и явлений, и каждая из характеристик ММП отражает определенное состояние объекта во взаимосвязи с другими компонентами, что образует единое целое - природный комплекс, или ландшафт.

Утверждая роль криогенного фактора в функционировании и дифференциации ландшафтов, необходимо также отметить, что важность подхода, основанного на представлении целостности системы, обусловленной взаимосвязью всех ее факторов, в том числе криогенного, подчеркивается почти всеми, упомянутыми выше исследователями. Для изучения устойчивости мерзлотных ландшафтов к техногенным воздействиям необходим определенный пересмотр некоторых вопросов таксономии, классификации и методики картографирования - путем введения криогенного фактора в качестве одного из основных критериев. Потому что этот фактор, определяющий характер развития ландшафтов после нарушения, должен рассматриваться в качестве ведущего не только в теоретических, но и в практических построениях. В связи с этим такие параметры природных объектов, как характер распространения ММП, их температура, криогенное строение и льдистость, мощность СТС - СМС нами предлагаются в качестве критериев для классификации и картографирования мерзлотных ландшафтов.

Все изложенное позволяет нам под мерзлотным ландшафтом понимать «относительно однородное природное образование, функционирующее под воздействием криогенеза, с определенными, закономерными только для него сочетаниями мерзлотных характеристик» (Федоров, 1991, с. 7). Мерзлотные ландшафты являются составной частью ландшафтной сферы Земли, где верхняя часть литосферы представлена ММП.

Существование мерзлотных ландшафтов подразумевает наличие немерзлотных ландшафтов, в развитии которых криогенез не участвует. Мерзлотные ландшафты развиваются в криолитозоне, где встречаются талые участки между мерзлотными ландшафтами, и, наоборот, мерзлотные участки могут располагаться внутри немерзлотных ландшафтов. Эти участки ландшафтной сферы могут быть классифицированы как переходные ландшафты между мерзлотными и немерзлотными ландшафтами.

Комплексные ландшафтные исследования, являющиеся основой для мониторинга, моделирования и прогнозирования (Граве, 1987), можно считать необходимым условием для повышения эффективности природоохранных мероприятий в области распространения ММП. Вместе с этим мерзлотный ландшафт выступает как интегральный показатель состояния природной среды и, по мнению П.И. Мельникова и др. (1987), может быть признан основным объектом в разработке концепции рационального природопользования в криолитозоне.

1.2. Основные факторы, определяющие развитие и дифференциацию мерзлотных ландшафтов

Современные ландшафты являются результатом исторического развития природной среды. Мерзлотные ландшафты неотделимы от формирования и

развития криолитозоны. Основными факторами, определяющими их формирование, дифференциацию и развитие, являются тесно связанные друг с другом климатогенный, литогенный, биогенный и антропогенный факторы. Климатогенный фактор. Современный климат северных и высокогорных регионов способствует существованию ММП, и следовательно, функционированию мерзлотных ландшафтов. Вопросы взаимоотношения современного климата и ММП наиболее подробно рассмотрены в работах М.К. Гавриловой (1978, 1981).

Развитие мерзлотных ландшафтов связано с интенсивным промерзанием верхних горизонтов литосферы. Отрицательные температуры горных пород являются интегральным показателем сложного взаимодействия комплекса климатических характеристик – радиационного баланса, температуры и влажности воздуха, осадков и т.д. В распределении мерзлотных ландшафтов существенную роль играют общие закономерности пространственной дифференциации – широтная зональность, долготная секторность и высотная поясность.

Так, по М.К. Гавриловой (1981), в целом для области распространения ММП характерен радиационный баланс от 5-10 (около 210-420 МДж/м²) в Арктике до 30 ккал/(год.см) (около 1250 МДж/м²) у их южной границы; ею рассматриваются и секторные различия: например, по параллели 60 с.ш. для европейской территории России – около 30 и на северо-востоке СССР - 20 ккал/(год.см) (около 840 МДж/м²), что зависит от континентальности климата. Продолжительность холодного периода в области сплошного распространения ММП в Азии и Северной Америке от 300 до 240 дней, прерывистого – от 240 до 200, островного – от 200 до 180 дней. Суммы отрицательных температур, температура самого холодного месяца и средняя годовая температура воздуха являются основными показателями потенциальной возможности промерзания горных пород, т.е. характеризуют условия функционирования мерзлотных

ландшафтов (табл. 1-3, по Гавриловой, 1981).

Закономерное распределение суммы отрицательных температур, средней температуры самого холодного месяца и средней годовой температуры воздуха четко отражает контрастность условий функционирования мерзлотных ландшафтов, определяя области сплошного, прерывистого и островного распространения ММП.

На функционирование мерзлотных ландшафтов влияют и другие характеристики. Так, например, соотношение тепла и влаги определяет развитие тех или иных ландшафтов - тундровых или таежных, что в свою очередь сказывается на характере криогенной составляющей ландшафта - температуре пород и мощности СТС-СМС. На дифференциацию мерзлотных ландшафтов также оказывают влияние ветровой режим и перераспределение снежного покрова, воздействующее на температурный режим грунтов (Дорофеев и др., 1981; Железняк, 2005). В общем климатогенный фактор, по М.К. Гавриловой (1981), на развитие мерзлотных ландшафтов оказывает влияние от глобального (планетарных и макроклиматических) до наноклиматических, почвенно-грунтовых масштабов.

Литогенный фактор. В развитии мерзлотных ландшафтов, в их пространственном распределении большую роль играет литогенный фактор, определяющий характер и состав отложений, условия их формирования. Как известно, формирование отложений во многом зависит от тектонических условий и вызванных ими геологических и геоморфологических особенностей. В северных регионах климатический фактор, обуславливающий процессы промерзания-протаивания, определяет наличие самостоятельного типа литогенеза - криолитогенеза (Попов, 1967, 1983). Литогенной основой мерзлотных ландшафтов являются криолитогенные, сформировавшиеся в условиях вечной мерзлоты (Катасонов, 1983) и промерзшие, уже ранее сформировавшиеся горные породы (эпикриогенные, по А.И. Попову).

Литогенный фактор определяет перераспределение физико механических свойств ММП, их льдистости и криогенного строения, что в свою очередь обеспечивает пространственную дифференциацию мерзлотных ландшафтов. Рассмотрим классификационные построения Е.М. Катасонова (1954, 1983), наиболее близкие по принципам мерзлотно-ландшафтной дифференциации. В области распространения ММП выделяются три мерзлотно-геологические формации: 1) коренные скальные и полускальные породы, в которых лед заполняет готовые трещины и пустоты; 2) толщи рыхлых дочетвертичных и четвертичных отложений, которые проморожены эпигенетически; 3) осадочные образования и отложения, сформировавшиеся в условиях развития вечной мерзлоты, отличающиеся закономерным распределением в них льда (криогенными текстурами), или криолитогенные отложения.

Далее на примере криолитогенной формации Е.М. Катасонов предлагает следующий уровень классификации, основанный на критериях, обеспечивающих закономерную генетическую дифференциацию криолитологических особенностей. Выделяется более мелкий таксон – комплекс криолитогенных отложений. Примеры: долинно-дельтовый, аласный, предгорно-ледниковый, ледниково-морской, долинно-дельтовый едомный, водораздельный ледовый, пресноводный. Здесь довольно четко прослеживается смысловая логичность, выражающаяся в систематизации криолитологических особенностей.

Следующую ступень в этой иерархии занимает обоснованная Е.М. Катасоновым еще в 1954 году геокриологическая фация. Примеры: полигональные поймы, заторфованные аласные пространства и т.д. Примерно такие же закономерности распределения литогенного фактора даны в инженерно-геологических классификациях. Д.С. Дроздов (1983) выделяет следующие категории: формация – стратиграфо-генетический комплекс – литолого-фациальный комплекс (ЛФК-1 и ЛФК-2) – монопородное

геологическое тело. Рассмотренные построения определяют принципы дифференции литогенного фактора, которые служат основой для изучения особенностей пространственного распространения мерзлотных ландшафтов.

Для изучения литогенной основы мерзлотных ландшафтов, кроме этого, необходимо учитывать и региональные особенности, т.е. то, при каких конкретных геологических условиях формируются эти отложения. Например, элювиальные отложения на карбонатных породах имеют глинистый состав, а на терригенных (песчаниках) - супесчаный и песчаный. Это, в свою очередь, влияет на распределение криолитологических особенностей: в первом случае будут преобладать линзовидно-слоистые криогенные текстуры, во втором – массивные.

Литогенный фактор играет существенную роль в функционировании мерзлотных ландшафтов. Особенно явно это проявляется при техногенном воздействии на них, когда степень нарушения в основном зависит от характера распределения льда в их литогенной основе.

Биогенный фактор. Тесные связи растительного покрова и свойств ММП обуславливают использование биогенного фактора в качестве одного из основных в дифференциации мерзлотных ландшафтов. Например, характер растительного покрова оказывает влияние на распределение температуры пород и мощности СТС.

1.3. Мерзлотные ландшафты как структурная часть ландшафтной сферы Земли

Возникновение термина «мерзлотные ландшафты» неразрывно связано с развитием ландшафтного направления географической науки, начало которой было положено в середине XIX века как учения о природно-территориальных комплексах (ПТК). ПТК как объект исследования, представляет собой

относительно однородное территориальное образование, где все природные компоненты находятся в тесной взаимосвязи и обуславливают друг друга. Становление этого понятия происходило в результате развития идеи о единстве и взаимосвязанности природных явлений и процессов на Земле, о которых писал в своих трудах еще А. Гумбольдт в конце XVIII и начале XIX в. Термин «ландшафт» в отечественную географическую науку ввел Л.С. Берг (1930), он определил его как предмет изучения географии; им же были проведены первые работы по ландшафтному районированию в труде «Ландшафтно-географические зоны СССР». Бурное развитие теоретических и методических основ изучения ландшафтов в физической географии в Советском Союзе приходится на середину XX века, при этом надо отметить формирование нескольких устойчивых концепций об организационной структуре ландшафтов. Развитие самого понятия о ландшафте в XX веке емко сформулировал Е.Ю. Колбовский (2006), обозначив его как век «терминологической бури», отметив наличие множества трактовок и разночтений. Огромный вклад в развитие теоретических и методологических основ изучения ландшафтов этого периода привнесли труды Д.Л. Арманда, А.Г. Исаченко, А.А. Крауклиса, Ф.Н. Милькова, Э. Неефа, В.А. Николаева, В.С. Преображенского, Н.А. Солнцева, В.Б. Сочавы, А.И. Перельмана, Б.Б. Польшова и др. Заложенные ими теоретические представления о целостности и взаимообусловленности природной системы стали основанием для изучения роли мерзлотных условий в ландшафтах.

Мерзлотно-ландшафтные исследования начались с работ по изучению закономерностей распространения мерзлотных условий в различных таксономических уровнях ПТК. В первую очередь они выражаются в применении методов ландшафтной индикации для пространственной дифференциации конкретных мерзлотных условий. Для этого были определены ландшафты-индикаторы, по которым проводилось геокриологическое картографирование [Мельников, 1966; Лазукова, 1967; Вейсман, 1974; Тыртиков,

1979; Дроздов, 2004 и др.]. С широким внедрением ландшафтных методов в геокриологию появились первые работы по классификации ПТК с таксономическими единицами, связанными с мерзлотными характеристиками, по которым были разработаны мерзлотно-ландшафтные карты. Так, первые ландшафтные карты с учетом мерзлотных условий были сделаны по территории Западной Сибири [Мельников, 1983; Козин, 1984] и Якутии [Федоров, 1989].

Анализ целого ряда теплофизических параметров ММП (льдищность, температура пород, глубина активного слоя, криогенная текстура) со свойствами природных компонентов ландшафтов, с такими как (формы мезо- и микрорельефа, стратиграфо-генетические комплексы отложений, тепло- и влагообеспеченность, растительный покров и механический состав почв) установили важную роль мерзлотных условий в литогенной основе ПТК [Дроздов, 2004]. Поэтому специфика таких ПТК определена наличием льда в литогенной основе и фазовыми переходами - при промерзании--протаивании [Федоров, 2020]. Структурная соподчиненность с другими параметрами ландшафтов позволила определить типологические и региональные комплексы, к которым приурочены конкретные мерзлотные условия. Были определены сочетания типов растительного покрова, мезорельефа и стратиграфо-генетических комплексов отложений, определяющие развитие основных криогенных процессов: термокарста, термоэрозии, морозобойного растрескивания, пучения, термосуффозии и др. [Brown, 2002; Зотова, 2018].

Мерзлотные ландшафты возникли в научной литературе как структурные единицы в рамках таксономических систем Ф.Н. Милькова, Н.А. Солнцева и А.Г. Исаченко [Козин, 1984; Федоров, 1989]. Определения сочетания немерзлотных и мерзлотных характеристик позволяют проводить пространственную дифференциацию состава и функциональных особенностей ПТК различного таксономического уровня. На этой основе развивается ландшафтно-ориентированный подход к изучению природной среды

криолитозоны. По определению А.Н. Федорова, мерзлотные ландшафты - это «относительно однородное природное образование, функционирующее под воздействием криогенеза, с определенными, закономерными только для него сочетаниями мерзлотных характеристик» [Федоров, 1991]. Наряду с «мерзлотными ландшафтами» используются два схожих по смыслу термина «криогенные ландшафты» [Дроздов, 2004; Москаленко, 2012 и др.] и «криогенные геосистемы криолитозоны» [Мельников и др., 2010; Хименков, 2013], которые иногда трактуются, по сути, как синонимы «мерзлотных ландшафтов», но термин «криогенные ландшафты» чаще используется для ПТК, индицируемых по криогенным формам рельефа и при доминирующей роли криогенеза в его формировании, например, термокарстовые котловины, полигональные тундры и булгунняхы. В учении о геохимических ландшафтах используется термин «мерзлотные геохимические ландшафты», для определения ПТК с криогенным и биогенным циклами геохимической активности [Тайсаев, 1994].

Термин «мерзлотные ландшафты» позволяет принимать во внимание функциональные и структурно-динамические особенности природных комплексов с многолетнемерзлыми породами, сохраняя преемственность теоретических и методологических основ развития понятия о ПТК (ландшафтах), заложенных классиками ландшафтоведения. Кроме того, «мерзлотность» ландшафтов подчеркивает низкий порог устойчивости при внешнем вмешательстве антропогенного и, безусловно, техногенного характера и с необходимостью принимать во внимание особые условия природопользования.

Вся совокупность ПТК формирует ландшафтную сферу Земли в рамках географической оболочки, где термодинамические, геохимические и биотические процессы соприкасаются [Мильков, 1970]. Согласно Ф.Н. Милькову, структурными элементами ландшафтной сферы являются

типологические, региональные, парадинамические и парагенетические комплексы. В высшей категории дифференциации ландшафтной сферы Земли мерзлотные ландшафты составляют специфическую часть наземного отдела ландшафтов, распространенных по Евразии и Северной Америке. При этом В.И. Булатов предлагает наряду с остальными отделами ландшафтов, т.е. вариантов ландшафтной сферы Земли отдельно выделить мерзлотные, мотивируя это значительным распространением ММП [Булатов, 2015].

Основа современной классификации мерзлотных ландшафтов, по которым проводятся исследования на территории Якутии, прежде всего Институтом мерзлотоведения СО РАН имени П.И. Мельникова, концептуально базируется на теоретических и методологических разработках ландшафтно-географической школы Ф.Н. Милькова и на его таксономической системе типологических и региональных комплексов ландшафтной сферы Земли.

Необходимость изучения динамических аспектов мерзлотных ландшафтов в условиях антропогенного воздействия и деградации мерзлоты привела к интеграции системных идей в организации и функционировании ландшафтов. Развитие системного подхода в отечественной науке связано с теорией геосистем В.Б. Сочавы. Термин «геосистема» был введен в научную литературу именно им и означает «целое, состоящее из взаимосвязанных компонентов природы, подчиняющихся закономерностям, действующим в географической оболочке или ландшафтной сфере» [Сочава, 1978]. Геосистемный подход дает широкие возможности использования новых для географической науки математико-статистического и дистанционного методов исследований, прежде всего для определения биотического (растительного) и абиотического (рельеф и горные породы) компонентов, и на их основе выявления «невидимые» внутренних свойств ландшафтов.

Глава 2. Климатогенный фактор в динамике мерзлотных ландшафтов Якутии

2.1. Климат на современном этапе развития

Территория Якутии занимает около 3,1 млн. кв. км, и представлена большим многообразием ландшафтов - от арктических до степных, от приморских до горных с вечными льдами. В последние годы в литературе много внимания уделяется проблемам возможного потепления климата и реакции ландшафтов на него. Изменение климата является одним из основных факторов динамики и эволюции ландшафтов. Большие площади и многообразие природных условий предопределяют разнообразие в динамике ландшафтов. В этой связи необходимо оценить влияние современных изменений климата на ландшафты, их структуру, динамику и функционирование. Для этого рассмотрим некоторые пространственные закономерности распределения современных климатических изменений на территории Якутии.

В работе В.Т. Балобаева (1997) в приводимых графиках изменения средней годовой температуры воздуха в Якутии за период инструментальных измерений четко отмечается понижение температуры в настоящее время в северных районах (Шалаурова, Среднеколымск и Кюсюр). Это особенно наглядно прослеживается по сравнению с 30-40-ми годами - периодом "потепления Арктики". В.Т. Балобаев (1997) отмечает, что средняя годовая температура воздуха в Якутии последние годы повышается, но пока не вышла за пределы ее естественных колебаний за последнее столетие.

С.М. Варламов, Е.С. Ким и Е.Х. Хан (1998) сделали пространственный анализ современных изменений температуры в Восточной Сибири и на Дальней Востоке России. На фоне существенных межгодовых колебаний средней годовой температуры воздуха данной территории ее значимый линейный тренд (0,02-0,04оС в год) наблюдается в основном на большей части юга и юго-запада Дальнего Востока, и отчасти Средней и Восточной сибирей. В приводимой

авторами картосхемах территория Якутии также отличается разными показателями трендов. По сезонам года для территории Якутии наибольшие тренды характерны для зимы и весны.

Нами тоже было проведено районирование изменения климата территории Якутии во второй половине 20 века (Федоров, Свинобоев, 2000). На карте трендов за период с 1951 по 1989 гг. было выделено 5 районов. Максимальный положительный тренд средней годовой температуры (0,03-0,04оС/год) был отмечен в Центральной Якутии и Оймяконо-Верхоянском районе, зона без тренда располагается вдоль полосы тундр и притундровых лесов, отрицательный тренд (минус 0,01-0,02оС/год) был характерен в Анабарской тундре, на Новосибирских островах и на Колымо-Индигирской тундре. В общем, около 75% территории Якутии находится в зоне положительных трендов средней годовой температуры воздуха.

А.В. Павлов и Г.В. Малкова (2010) приводят карту линейных трендов средней годовой температуры грунтов за 1965-2005 гг. на Севере России, где территория Якутии подразделяется на три района с трендами менее 0,03, 0,03-0,05 и более 0,05оС/год. Здесь отчетливо выделяется арктическая и субарктическая части Якутии с наименьшими трендами средней годовой температуры воздуха и Центральная Якутия с наибольшими трендами.

Ю.Б.Скачков (2016) на основании данных по 52 метеорологическим станциям установил, что за 1966-2015 гг. наблюдается повсеместное повышение средней годовой температуры воздуха (рис.4). Однако повышение температуры воздуха пространственно дифференцировано, есть районы с максимальным значением повышения температуры – Якутск, Усть-Мома, Черский, Котельный, Чурапча, Усть-Мая, Оймякон от 2,4 до 3,3оС за 50 лет, но имеются районы, где температуры воздуха за этот период повысились только на 1,1-1,3оС – это Алдан, Усть-Чаркы, Мирный, Чумпурук и Томпо.

В целях изучения климатического фактора в развитии мерзлотных

ландшафтов мы придерживаемся районирования, которое нами было принято в наших ранних публикациях (Федоров и др., 2013; Fedorov et al., 2014 б). Согласно этому районированию, выделяются 4 зоны – арктическая (тундровая), субарктическая (лесотундровая и северная тайга), умеренно-бореальная (средняя тайга) и умеренно-бореальная горная (горная тайга).

Арктическая (тундровая) зона

Климатически арктическая зона выделяется особняком, что в первую очередь определяется ее географическим положением и общей циркуляцией атмосферы. С арктическим климатом связано развитие тундровых ландшафтов, характеризующихся безлесием, развитием травянистых, мохово-лишайниковых и кустарниковых тундр часто переувлажненных.

Отличительной чертой климата арктической зоны является наиболее яркое проявление потепления климата в 1930-1940-е годы, когда средние годовые температуры воздуха были выше средних многолетних данных примерно на 0,5-1оС (Fedorov et al., 2014 б). Также отметим, что в периоде 1951-1989 гг. в арктической зоне отмечались отрицательные значения трендов в Анабаро-Оленекской тундре, на Новосибирских островах и Алазее Колымской тундре (Федоров, Свинобоев, 2000). Наиболее значительные отрицательные тренды в период 1951-1989 гг. были отмечены на метеостанциях Саскылах и Шалаурова, соответственно 0,02 и 0,03оС/год.

Западная часть арктической зоны

Для анализа изменчивости климата западной части арктической зоны в качестве модели нами были приняты данные метеостанций Хатанга, Саскылах и Тикси, в которых непрерывные наблюдения имеются с середины 1930-х годов. Данные метеостанции Хатанга привлечены из-за отсутствия долгосрочных наблюдений на других метеостанциях в пределах Якутии с учетом одинаковых ландшафтных условий и расположения в пределах одной Северо-Сибирской низменности с метеостанцией Саскылах. Данные этих станций показывают

относительно однородную изменчивость в течении всего периода наблюдений, коэффициент корреляции средних годовых температур воздуха составляет от 0,8 до 0,9 при $p < 0,05$.

Средняя годовая температура воздуха на рассматриваемых метеорологических станциях составляет от $-12,7 \pm 1,5$ (Хатанга) и $-12,8 \pm 1,4$ (Тикси) до $-13,9 \pm 1,5$ °С (Саскылах) на период от 1930 до 2019 г. Потепление 1930-1940 гг., или так называемое потепление Арктики, имело большое значение для мерзлотных ландшафтов. Значение среднего отклонения $+1$ °С этого периода было достигнуто только во второй половине 2000-х годов (рис.5). В 1960-1970-х годах среднее отклонение держалось на уровне -1 °С, а в 1980-2000 гг. – на уровне 0 °С, что создавало стабильно нормальное развитие мерзлотных ландшафтов в этот длительный период времени. Резкий сдвиг температуры воздуха с середины 2000-х годов до начала 2010-х и его флуктуации на уровне $+0,7 \dots +1$ °С до настоящего времени создали условия для изменений в мерзлотных ландшафтах.

2.2 Изменчивость мерзлотно-ландшафтных условий в начальном этапе сукцессии после вырубki лиственничного леса в Центральной Якутии

В научной литературе не так много работ по изучению начальной сукцессии в мерзлотных ландшафтах после нарушений (Москаленко, Шур, 1975; Москаленко, 1999; Iwahana et al., 2005; Лыткина, 2008 и др.). Начальный этап развития сукцессии играет огромную роль в восстановлении устойчивости мерзлотных ландшафтов, так как восстановление растительного покрова создает условия стабилизации температурно-влажностного режима деятельного слоя, который дает возможность приостановить развитие криогенных ландшафтов на нарушенных участках.

Сильнольдистые мерзлотные ландшафты особенно чувствительны к нарушениям растительного покрова (Браун и Граве, 1981). М.Т. Йоргенсон с соавторами (Jorgenson et al., 2010) изучали сукцессии растительности как возможность восстановления многолетнемерзлых пород после нарушения. Н.Г. Москаленко (2012) наблюдала повышение температуры грунтов и глубины сезонного протаивания после удаления лесного покрова, с последующим понижением температуры грунта и уменьшения СТС по мере восстановления лесного и напочвенного покровов.

Леса защищают многолетнемерзлые породы от деградации. Так, например, в Центральной Якутии, температура грунтов под лесами на 1-1,5С ниже, а глубина СТС на 0,8-1 м меньше, чем на безлесных участках. Повторно-жильные льды залегают на глубине 2-2,5 м от поверхности. В условиях нынешнего потепления климата деградация сильнольдистых многолетнемерзлых пород происходит преимущественно на открытых и нарушенных, т.е. безлесных, участках по причине здесь более глубокого сезонного протаивания (Босиков, 1989; Гаврильев и Угаров, 2009; Fedorov et al., 2014 а, б). Это часто приводит к разрушению инфраструктуры, деградации пашен и сокращению пастбищ и т.д.

Нами, начиная с 1998 г. был проведен эксперимент по изучению влияния сплошной вырубке лиственничного леса на стационаре Нелегер близ г. Якутска в рамках совместного российско-японского проекта между Институтом мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН и Университетом Хоккайдо. Основной нашей целью было слежение за изменениями теплового режима грунта, влажности почвы, глубины протаивания, изменений морфологии поверхности земли и растительности на нарушенном участке, подверженной риску деградации, и охарактеризовать условия окружающей среды, связанные с его восстановлением. О результатах первых лет наблюдения сообщалось ранее (Iwahana et al., 2005; Machimura et al., 2005; Takakai et al., 2008; Fedorov et al.,

2017).

Место исследований, стационар Нелегера (6219N, 12930E) расположен в 35 км к северо-западу от Якутска, на Лено-Амгинской аласной провинции Средней Сибири (Мерзлотно-ландшафтная карта Якутской АССР, 1991) (рис.48). Для района характерна средняя тайга с преобладанием лиственничных лесов. Коренные горные породы состоят из верхнеюрских песчаников, с прослоями алевролитов и глин. Выше песчаников залегают неогеновые пески. Они перекрыты тонким (от 6 до 10 м) слоем четвертичных отложений с повторно-жильными льдами (рис.49). Аласы представляют собой неглубокие термокарстовые котловины глубиной 2–3 м и обычно в них развиты булгунняхи. Мощность многолетнемерзлых пород в районе Нелегера оценивается в 400-450 м (Harada et al., 2006). Температура грунтов изменяется от -2 до -3С на глубине нулевых годовых амплитуд. Отложения ледяного комплекса имеют объемную льдистость в среднем 50-55%. При оттаивании эти почвы имеют текучие свойства.

Климат района резко континентальный. Ближайшая метеорологическая станция (Якутск) находится в долине реки Лены, на высоте 100 м ниже отметки района исследования. Средняя годовая температура воздуха в Якутске составляет -10,2С, среднемесячная температура -42,6С в январе и 18,7С в июле (Научно-прикладной справочник по климату СССР..., 1989). Среднее количество безморозных дней составляет 76. Годовое количество осадков составляет 234 мм, и в теплое время года – 158 мм.

Экспериментальная площадка на стационаре Нелегер была создана в 1998 году, а с 1999 года на участках С и F проводились детальные исследования (рис. 50). В ноябре-декабре 2000 года участок размером 140 x 70 м был вырублен (участок С), за исключением порослей березы до 1 м. Участок С был ориентирован на северо-запад – юго-восток по направлению господствующих ветров. Контрольный участок F был установлен в девственном лиственничном

лесу, в 170 м от ближайшего аласа.

В 1998-2000 гг. температура грунтов, содержание влаги в деятельном слое и глубина сезонного протаивания также были измерены на участке С для характеристики условий, предшествующих нарушению. После сплошной рубки участка С в ноябре-декабре 2000 года наши измерения зафиксировали реакцию вечной мерзлоты на возмущение.

Основные измерения проводились летом. Температура грунта измерялась в скважинах глубиной до 6 м, с засыпанными термоизмерительными комплектами в стволах скважин, чтобы исключить турбулентный воздухообмен (Константинов, 2009). Измерения проводились как вручную термисторами ММТ-1 два раза в месяц в летнее время и раз в месяц в зимнее время, так и автоматически термисторами YSI с записью на регистраторы CR10X (Campbell Scientific, Inc) круглогодично. Точность измерений была $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$. Такие же регулярные измерения температуры проводились в двух скважинах до глубины 20 м в нетронutom лиственничном лесу (F) и нарушенном участке (C), чтобы оценить влияние нарушения на глубине нулевых годовых амплитуд.

Отбор проб на влажность грунтов деятельного слоя брался на разных глубинах через каждые 10 см почвенным буром, с последующим высушиванием образца почвы в сушильном шкафу с температурой $+105^{\circ}\text{C}$ в течение 8 часов в лаборатории. В данной работе мы использовали среднее значение для всего деятельного слоя в конце летнего сезона. Глубина сезонного протаивания измерялась в установленных в грунт пластмассовых трубках, наполненных водой (Константинов, 2009) два раза в месяц в течение летнего сезона. В работе использованы данные максимального протаивания грунтов конце лета.

Температура и влажность грунтов, глубина сезонного протаивания измерялись в отдельных точках, находящихся на микроповышениях.

Просадки грунтов измерялись в конце летнего сезона на специальной трансекте 40 на 15 м, по сетке шагом 5 м относительно трех реперов,

заглубленных в многолетнемерзлые породы. Просадки поверхности характеризовалось усреднением 36 точечных значений вдоль расположения сетки. На трансекте измерения были начаты еще до вырубki в 2000 г., которые проводились в конце сезона протаивания, до начала промерзания поверхности. Контрольные измерения в коренном лиственничном лесу лимнасово-брусничном проводились на профилях в 500 м к юго-западу, в южной части аласа Нелегер. Проседание поверхности вдоль этих профилей рассчитывалось путем усреднения значений из 27 точек измерения. В 1999–2007 гг. потоки CO₂ измерялись автоматическими регистраторами данных в течение лета (Machimura et al., 2005).

Изменение растительности. Нетронутый лиственничный лес на контрольном участке (участок F) состоит из зрелого *Larix gmelinii* старше 130 лет со средней высотой древостоя 17-18 м и сомкнутостью крон 0,6. Кустарниковый подлесок характеризовался ивой (*Salix fruticosa*), березой (*Betula fruticosa*) и шиповником (*Rosa acicilaris*). Травяно-кустарничковый покров состоял из злаков (*Limnas stelleri* Trin.) и брусники (*Vaccinium vitis-idaea*) с покрытием от 50 до 70%. Мохово-лишайниковый покров был редким, занимая менее 10% площади. Повышенная влажность почвы в 2005-2008 гг. привела к проникновению в лес осоки.

В первый год после вырубki на участке С лимнасово-брусничный покров был почти сплошным, а напочвенный покров практически не был поврежден. Только менее 10% напочвенного покрова было нарушено. В течение первого лета брусничный покров начал деградировать и начала формироваться пионерная растительность, состоящая из иван-чая (*Chamerion angustifolium*). На третий-пятый год после нарушения иван-чай был заменен злаковой ассоциацией (*Calamagrostis langsdorffii*). В последующие годы в травяном покрове преобладали осоковые, а местами – разнотравно-осоковые ассоциации. Через 7-8 лет на этом месте стала осваиваться береза (*Betula platyphylla*), занимавшая

почти все микроповышения поверхности.

2.3 Динамика объема термокарстового расчленения ледового Комплекса

В рамках бюджетного проекта IX.127.2.3 «Комплексные исследования динамики природных и техногенных ландшафтов криолитозоны Восточной Сибири» Институтом мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН в 2016 г. были расширены исследования по термокарсту. В целях изучения степени расчленения ледового комплекса при развитии термокарста были изучены термокарстовые озера на участке Чаран в районе с. Табага и участка Юкэчи близ с. Беке Мегино-Кангаласского района Республики Саха (Якутия) (рис.82).

Участок Чаран находится в 10 км к юго-западу от аласа Абалах, где были проведены одни из первых детальных мерзлотных исследований по изучению подземных льдов (Ефимов, Граве, 1940). Район с. Табага характеризуется распространением типичного ледового комплекса с мощными ПЖЛ. Льды залегают от уровня поверхности в среднем с 2 м, их вертикальная мощность в среднем составляет 15-25 м (Граве, 1944; Иванов, 1984). Средняя объемная льдистость ледового комплекса Абалахской равнины на данном участке оценивается как 60-70% (Иванов, 1984). Температура горных пород в 1940 г. на глубине 20 м составляла $-3,4^{\circ}\text{C}$ на лесном участке с мохово-травяным покровом.

Нашей основной задачей было определение степени расчленения термокарстом участка «Чаран» в юго-западной части аласа Табага, который характеризуется очень плотным развитием термокарстовых озер на небольшой территории. Название участка с якутского переводится как «Березовый», однако в настоящее время береза полностью смещена лиственницей. На аэроснимке 1946 г. данный участок выглядит как восстанавливающаяся территория после лесного пожара с развитием молодых термокарстовых озер (рис.83).

В настоящее время термокарстовые озера интенсивно расширяются, объединяются и дренируют через руч. Хандыга-Юряге в алас Табага. На рассматриваемом участке часть термокарстовых озер стадии тымпы иссушаются и превращаются в алас. Радиоуглеродные датировки образцов древесины лиственницы со дна дренированных термокарстовых озер показали, что их возраст составляет меньше 150 лет. Дендрохронологические исследования также показывают чуть больше 130 лет в зрелых лиственницах между термокарстовыми озерами. Таким образом, можно предположить, что термокарстовые озера имеют возраст около 130 лет. На участке имеются молодые замкнутые аласы, недавно перешедшие со стадии тымпы в настоящий алас (рис.84).

В термокарстовых озерах была проведена батиметрия с помощью эхолотов Garmin GPSMAP 421s и HONDEX PS-7 LCD. Термокарстовое расчленение выше уровня озера было получено путем составления цифровой модели рельефа по съемке с беспилотного летательного аппарата DJI Phantom4, которая была обработана в программах Agisoft Photoscan и ArcGIS 10.1 (рис.85). Корректировка данных по высоте местности была произведена с помощью спутниковой геодезической системы Leica.

Исследования на мониторинговом полигоне Юкэчи показали, что средние темпы просадок в молодых термокарстовых понижениях с озерами, формирование которых произошло в начале 1940-х годов, составляют в среднем $4,3 \pm 0,8$ см/год, общее термокарстовое расчленение ледового комплекса в этих понижениях – $3,0 \pm 0,6$ м³ на квадратный метр, а термокарстовые понижения, образовавшиеся в конце 1950-х годов – $6,6 \pm 1,3$ см/год и $3,7 \pm 0,7$ м³ соответственно (табл.30). Наиболее высокие темпы развития термокарста отмечаются в озерах, зародившихся в конце 1950-х годов связаны с тем, что они были образованы на заброшенных пашнях, тогда как озера в начале 1940-х годов были сформированы на лесных участках, что затормозило их развитие.

Темпы просадок, в понижениях, развивающихся с середины 1980-х годов на заброшенных пашнях, составляют $6,1 \pm 1,8$ см/год при общем разрушении ледового комплекса $2,0 \pm 0,6$ м³ на квадратный метр. При этом глубина талика достигает 11-12 м с поверхности межталасья. До полного вытаявания ледового комплекса (термокарстовое расчленение аласа Юкэчи возрастом около 4,5-6,0 тыс. лет составляет $6,2$ м³ на квадратный метр) остается еще много времени, учитывая уменьшение объемной льдистости отложений.

Наличие относительно стабильных небольших по площади термокарстовых понижений с луговым и ивово-березовым покровом («быларов» с общим разрушением ледового комплекса $0,6 \pm 0,3$ м³ на квадратный метр) указывает на то, что при небольшой площади стока поверхностных вод термокарст может остановиться.

Результаты наблюдений за развитием термокарстовых озер на участке Чаран близ с. Табага в Мегино-Кангаласском районе Республики Саха (Якутия) показали, что примерно за 120-130 лет термокарстовое разрушение ледового комплекса, начавшееся после масштабного лесного пожара, составило 5,6-6,7 м³ на квадратный метр, что практически соответствует полному расчленению ледового комплекса. Интересно, что часть этих термокарстовых ландшафтов находится на начальной стадии образования аласов, о чем свидетельствует объем воды в озерах, занимающий только 5-10% термокарстовой котловины. Неполное таяние ледового комплекса подтверждается наличием бугристо-западинного рельефа в днищах термокарстовых котловин.

Высокие темпы просадок указывают на достаточно быструю деградацию ледового комплекса при современных климатических условиях. При этом наиболее уязвимыми являются антропогенные ландшафты – сельскохозяйственные угодья с посевными площадями, селитебные участки, дороги, а также нарушенные участки под воздействием лесных пожаров и лесных вредителей.

Заключение

Как и установили, изучение пространственной организации ландшафтов имеет принципиальное значение для многих фундаментальных и прикладных задач географической науки. Сложность и разнообразие ландшафтных связей ярче всего проявляется в горах. Спецификой многих горных хребтов Сибири является залегания многолетнемерзлых пород (ММП). Природная среда в них представлена мерзлотными ландшафтами, для которых криогенез является одним из ведущих факторов функционирования и пространственной дифференциации ландшафтной структуры. Мерзлотные ландшафты горных территорий со сплошным распространением ММП практически не охвачены исследованиями пространственной организации. Но их необходимость возрастает в связи с долгосрочными планами устойчивого развития арктических территорий России.

Региональный характер таких исследований позволяет внедрять ландшафтно-ориентированный подход в управлении территориями, планировании промышленного освоения и учета природных ресурсов. Принципы государственного управления территориями с ММП должны быть основаны на полноте и достоверности информации о разнообразии, функционировании, пространственной структуре и динамике мерзлотных ландшафтов. Исследования особенностей структуры и функциональной целостности в пространственной организации мерзлотных ландшафтов необходимы в широком спектре природоохранных мероприятий. В связи с этим весьма актуален охват инвентаризационными мерзлотно-ландшафтными исследованиями обширных северных территорий и поиск эффективных механизмов внедрения результатов в современную практику природопользования.

Список использованной литературы

1. Арэ, А.Л. Результаты шестилетних наблюдений за испарением снега в Центральной Якутии / А.Л. Арэ // Региональные и теплофизические исследования мёрзлых горных пород в Сибири. - Якутск, 1976. - С. 126-131.
2. Базилевич, Н.И. Географические закономерности структуры и функционирования экосистем / Н.И. Базилевич, О.С. Гребенщиков, А.А. Тишков. - М: Наука, 1986. - 297 с.
3. Балобаев, В.Т. Глобальные изменения климата и мерзлота / В.Т. Балобаев // Наука и образование. - 1997. - № 2. - С. 82-90.
4. Балобаев, В.Т. Прогноз изменения климата и мощности мерзлых пород Центральной Якутии до 2200 года / В.Т. Балобаев, Ю.Б. Скачков, Н.И. Шендер // География и природные ресурсы. - 2009. - № 2. - С. 50-56.
5. Баранов, И.Я. Цели и задачи геокриологической съемки / И.Я. Баранов // Полевые геокриологические (мерзлотные) исследования. - М., 1961. - С. 15-36.
6. Васильев, И.С. Реакция термического режима почвогрунтов Якутии на современные изменения климата / И.С. Васильев // Метеорология и гидрология. - 1999. - № 1. - С. 98-104
7. Васильев, И.С. Пространственно-временные закономерности формирования деятельного слоя в ландшафтах Западной Якутии / И. С. Васильев. - Новосибирск: Изд-во «ГЕО» СО РАН, 2005. - 228 с.
8. Федоров, А.Н. Цифровое тематическое картографирование современного состояния мерзлотных ландшафтов в Якутии / А.Н. Федоров [и др.] // Вестник СВФУ. Серия «Науки о Земле». - 2019. - №2(14). - С.36-49.