



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра метеорологии, климатологии и охраны атмосферы

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(магистерская диссертация)

На тему «Климатические изменения температуры почвы в Якутии»

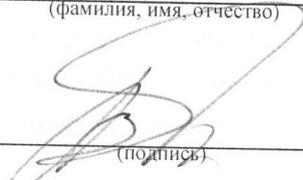
Исполнитель Григорьева Алёна Андреевна
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель доктор технических наук, профессор
(ученая степень, ученое звание)

Лобанов Владимир Алексеевич

(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»
Заведующий кафедрой


(подпись)

кандидат географических наук, доцент

(ученая степень, ученое звание)

Абанников Виктор Николаевич

(фамилия, имя, отчество)

21 марта 2019г.

Санкт-Петербург

2019

Оглавление

Введение	3
1 Физико-географические и климатические условия Республики Саха (Якутия)	5
1.1 Географическое положение	5
1.2 Рельеф	6
1.3 Климат.....	7
1.4 Почва	11
2 Формирование и оценка качества БД температур почвы	15
2.1 Выбор пунктов наблюдений по территории	15
2.2. Оценка однородности и стационарности.	17
2.3. Восстановление пропусков наблюдений и удлинение рядов.	23
3 Климатические характеристики температуры почвы	26
3.1. Теоретические положения климатических расчетов	26
3.2. Определение средних значений изменчивости за разные периоды (весь период, период ВМО (1961-1990), последний период (1991-2017)	29
3.3 Пространственные распределения климатических средних и СКО весенних температур почвы (апрель, май) за 3 разных периода.	32
3.4. Пространственные распределения климатических средних и СКО летних температур почвы (июнь, июль, август) за 3 разных периода	35
3.5. Пространственные распределения климатических средних и СКО летних температур почвы (сентябрь, октябрь) за 3 разных периода	39
4 Оценка климатических изменений температур почвы	42
4.1 Методика и применяемые модели	42
4.2. Оценка климатических изменений весенних температур почвы	49
4.2. Оценка климатических изменений летних температур почвы.	54
4.3 Оценка климатических изменений осенних температур почвы.	60
5 Пространственные закономерности климатических изменений температур почвы	64
5.1 Пространственные закономерности весенних температур почвы	64
5.2 Пространственные закономерности летних температур почвы	68
5.3. Пространственные закономерности осенних температур почвы	73
6 Оценка зон климатического риска оттаивания вечной мерзлоты	78
Заключение	80
Список использованных источников	82

Введение

Холодные регионы Земли охватывают в современную эпоху 1/4 часть суши, а вместе с холодными морями и океанами — 1/6 часть поверхности земного шара. Они приурочены, в основном, к полярным и приполярным областям северного и южного полушарий, а также к высокогорьям умеренных и даже тропических широт.

Основными климатообразующими факторами холодных регионов являются относительно малый приход солнечной радиации (в 2-3 раза меньше, чем на экваторе), длительное залегание снежного покрова, обладающего большой отражательной способностью радиации, близость холодных морей (особенно с холодными течениями), понижение температуры воздуха с высотой в горах и т.д.

Холодным регионам свойственны свои природные условия: растительные (тундра, лесотундра, леса), ледовые (морские, покровные, подземные) и, так называемая, «вечная мерзлота», то есть многолетнее промерзание горных пород. Регионы с холодным климатом в настоящее время относительно мало заселены, но они интенсивно сейчас осваиваются и будут осваиваться в будущем. Следует отметить, что природа Севера легко ранима, так как при низких температурах физические, химические, биологические и другие процессы приторможены. Непродуманное освоение северных пространств приводит к нежелательным экологическим последствиям, вплоть до катастрофических.

Нужно помнить, что в холодных регионах проживает много этнических сообществ малочисленных народов; вся их жизнь тесно связана с природопользованием. Экологические нарушения сбалансированной веками природы, прежде всего привычного ландшафта, т.е микроклимата, является существенным подрывом их жизнедеятельности.

«Вечная мерзлота» распространена на 2/3 территории в России, в том числе и в Якутии, в самом крупном по территории субъекту Российской Федерации. Почти вся территория республики лежит в зоне сплошного

распространения вечной мерзлоты. Таяние вечной мерзлоты происходит в результате потепления климата. Следует отметить, что основной способ строительства практически на всей территории республики – это свайные фундаменты. При строительстве на мёрзлых грунтах самым опасным процессом для сооружений является оттаивание вечномёрзлых грунтов в основании, что приводит к их деформации. В результате возможны массовые деформации зданий и сооружений, построенных без учета климатического потепления.

Поэтому актуальность настоящей работы очевидна и связана с необходимостью оценки климатических изменений в почве.

Целью настоящей работы является оценка климатических изменений в многолетних рядах температуры почвы на глубине 3.2 метра.

Для достижения поставленной цели в работе должны быть решены следующие задачи:

- формирование архивов многолетних рядов характеристик температуры почвы на глубине 3.2 метра;
- оценка качества и однородности исходных данных наблюдений;
- определение вида моделей временных рядов
- пространственные обобщения климатических изменений.

1. Физико-географические и климатические условия Республики Саха (Якутия)

1.1 Географическое положение

Географическое положение Республики Саха (Якутия) — характеризуется особыми параметрами. Она занимает почти всю северо-восточную часть Азии. Помимо континентальной части в состав республики входит ряд островов Северного Ледовитого океана, в том числе Новосибирские острова. Крайняя северная точка Якутии на континенте — мыс Нордвик (74° с. ш.), а северная точка на суше находится на о. Генриетты (77° с. ш.). Крайняя южная точка — на Становом хребте ($55^{\circ}40'$ с. ш.). Самая западная точка расположена на $105^{\circ}30'$ в. д., в Оленекском улусе, а восточная — на $162^{\circ}40'$ в. д., в Нижнеколымском. Таким образом, протяженность Якутии с севера на юг составляет 2 000 км, а с запада на восток — 2 300 км. Площадь равна 3 083,5 млн км², что соответствует почти 1/5 части России, 2/3 площади Западной Европы и превышает территорию Франции в 6 раз, Великобритании — в 13 раз. По ее территории проходят 3 часовых пояса. Разница от гринвичского времени в среднем поясе из трех составляет 8, а московского — 6 часов. Столица — г. Якутск удалена от Москвы почти на 8,5 тыс. км. Якутия как органичная составная часть России, граничит на западе и юго-западе с Красноярским краем и Иркутской областью, на юге — с Читинской и Амурской областями, на юго-востоке и востоке — с Хабаровским краем, Магаданской областью и Чукотским автономным округом. На севере выходит на моря Северного Ледовитого океана (Восточно-Сибирское и море Лаптевых) с протяженностью береговой линии более 4,5 тыс. км, где действует 200-мильная экономическая зона

1.2 Рельеф

Территория Якутии принадлежит преимущественно к двум крупнейшим тектоническим структурам — Сибирской платформе и Верхояно-Чукотской области мезозойской складчатости. Строение рельефа, характер и условия залегания горных пород на ней неоднородны.

На Сибирской платформе развиты плоскогорья, пластовые плато и равнины, и; только на южной ее окраине, в пределах Алданского щита, находится нагорье со сравнительно интенсивно расчлененным рельефом. Верхояно-Чукотская складчатая область характеризуется рельефом, развивающимся преимущественно на мезозойском складчатом основании. Наряду с горными районами здесь встречаются низменности, приуроченные к жестким срединным массивам или синклинальным структурам.

Западная часть Якутии относится к Среднесибирскому плоскогорью. Оно неоднородно в морфологическом отношении. На севере расположено Анабарское плато, сложенное в высокоподнятой части кристаллическими и метаморфическими породами архейского и протерозойского возраста. Высота плато до 905 м . В бассейне верхнего течения Вилюя расположено Вилюйское плато, наивысшая отметка которого 962 м . Для него характерны столовые возвышенности, поверхность которых широко представлена траппами. Еще южнее простирается в широтном направлении Приленское плато, сложенное преимущественно карбонатными, местами галогенными и гипсоносными палеозойскими породами- Повсеместно поверхность плато осложнена карстовыми формами (рис 1.2.1).



Рис 1.2.1 физическая карта Якутии

1.3 Климат

Отличительная черта климата – выраженный антициклональный режим погоды зимой и частые вторжения воздушных масс со стороны Северного Ледовитого океана с очень малым содержанием водяного пара летом. Зима продолжительная, холодная и малоснежная, а лето короткое, на большей части территории засушливое с относительно высокими температурами.

Солнечное тепло, поступающее на земную поверхность, является одним из основных климатообразующих факторов. В свою очередь оно в значительной степени зависит от атмосферных процессов и особенностей подстилающей поверхности.

По сравнению с районами, лежащими на той же широте в Европейской части России и Западной Сибири, ресурсы солнечной энергии в Республике Саха оказываются больше. Это связано с соответствующими циркуляционными условиями, определяющими значительную повторяемость

антициклональной погоды (с малой облачностью и высокой прозрачностью атмосферы).

Циркуляционные процессы атмосферы над территорией Якутии определяются общей циркуляцией атмосферы Земли, но большое влияние оказывают и местные физико-географические условия.

Зимой над Азией воздух сильно выхолаживается, здесь формируется антициклональная область повышенного давления с замкнутой циркуляцией по часовой стрелке. Основным фактором, определяющим характер климата холодного периода Якутии, является отрог азиатского антициклона, почти полностью заполняющий территорию республики в это время. Продвижение циклонов с запада на восток на севере республики часто сопровождается сильными ветрами и продолжительными метелями.

В области отрога высокого давления формируется воздух, характеризующийся очень низкими температурами в приземном слое, чрезвычайной устойчивостью, мощными приземными инверсиями, малой влажностью и высокой прозрачностью воздуха.

При переходе к весне резко увеличивается западно-восточный перенос, циклоны смещаются с запада на восток; вынос тепла с востока встречается все реже, появляются случаи выхода циклонов с юга, приносящих значительные осадки, и с Западно-Сибирской низменности, в последнем случае циклоны приходят к устьям Лены

Летом на большей части территории Якутии устанавливается размытое барическое поле без ярко выраженной циклоничности или антициклоничности.

Осенью серии циклонов с запада все чаще заменяются антициклоном, формирующимся в холодном воздухе в тылу последнего циклона. Антициклон приносит значительное похолодание. Выход циклонов с юго-запада и юга встречается все реже, зато все более и более сказывается влияние отрога вновь формирующегося азиатского антициклона.

Зимой распределение давления способствует развитию на большей части территории, в том числе и на западе Республики Саха, южных, юго-западных и западных ветров, направленных в сторону полярного бассейна, в юго-восточной части территории - в сторону Охотского моря. Зимний ветровой режим сохраняется с сентября по март. На большей части территории Якутии наиболее низкие температуры наблюдаются в январе.

Для холодного времени года, особенно с декабря по февраль, характерны слабые ветры и штили, которые обуславливают слабое перемешивание воздуха, а следовательно – слабый вертикальный теплообмен, поэтому здесь возникают мощные приземные инверсии.

В теплый период года отличительной чертой температурного режима является быстрое нарастание средних суточных температур весной и быстрое их падение осенью. Самый теплый месяц – июль (средняя температура около $+17^{\circ}\text{C}$ - $+19^{\circ}\text{C}$).

В связи с очень низкими температурами зимой и сравнительно высокими летом, выявляется одна из характерных особенностей термического режима территории – большие годовые амплитуды температур, достигающие рекордных значений. Длительность безморозного периода - 95 дней.

Для летнего сезона характерны частые вторжения холодных масс воздуха с севера с малым содержанием водяного пара и большой прозрачностью. При таких вторжениях в сочетании с условиями, благоприятными для застоя холодного воздуха, при ясной погоде в отдельные годы возможны заморозки в течение лета.

Осадки являются одним из показателей режима увлажнения. На территории Якутии количество выпадающих осадков и их распределение как во времени, так и в пространстве стоит в тесной связи с географическим положением и атмосферными процессами.

Благодаря резко выраженному антициклональному режиму погоды в холодный период зима сухая и малоснежная. Как летом, так и зимой

наиболее интенсивная циклоническая деятельность характерна для западной и южной частей территории. Под влиянием горных хребтов, плоскогорий, впадин (котловин) и низменностей происходит перераспределение осадков по территории. Количество осадков увеличивается на наветренных склонах и уменьшается на подветренных. В отдельные годы количество выпадающих осадков может сильно отличаться от средних многолетних значений.

Годовой ход повсеместно характеризуется резко выраженным летним максимумом осадков и сухой зимой. Из годового количества выпадающих осадков на холодный период (ноябрь-март) приходится примерно 20-25%, а на теплый (апрель-октябрь) 75-80% годовой суммы. В холодный период количество осадков колеблется в пределах 65-110 миллиметров, в теплый в пределах 160-250 миллиметров

Изменчивость месячных сумм осадков из года в год довольно велика, особенно в теплый период. В отдельные годы месячное количество выпадающих осадков, в зависимости от условий атмосферной циркуляции, может значительно отклоняться от многолетнего среднего значения. Изменение годового количества осадков несколько меньше, чем месячных сумм.

Осадки летом, несмотря на то, что в это время выпадает их максимальное количество, менее продолжительны, чем в холодный период, что обусловлено преобладанием осадков ливневого типа. В осенне-зимний период наблюдаются преимущественно длительные осадки обложного характера. Максимальная непрерывная продолжительность осадков меняется в довольно больших пределах: в холодный период - 40-170 час, в летний 20-80 час.

Общая продолжительность осадков меняется в пределах 1100-1700 мм/час. В годовом ходе наименьшая продолжительность осадков наблюдается в мае-июле. С увеличением продолжительности обычно уменьшается интенсивность осадков.

Разрушение устойчивого снежного покрова происходит в более сжатые сроки, чем его образование, но может достигать 25-30 дней. Период разрушения устойчивого снежного покрова на рассматриваемой территории сильно растянут. В долине среднего течения Лены разрушение снежного покрова начинается к концу третьей декады апреля.

1.4 Почва

Якутия располагает большими земельными ресурсами. Вся территория республики входит в зону сплошного распространения многолетнемерзлых пород. Огромная территория, большое разнообразие геолого-геоморфологического строения и рельефа, наличие трех широтных природно-климатических зон на равнинной части и нескольких вертикальных поясов на горах, обилие водных объектов в условиях повсеместного распространения многолетнемерзлых пород обусловили большое разнообразие ландшафтов и как зеркало этого - почвенного покрова. На большей части территории Якутии развиты мерзлотно-таежные почвы. В горных районах - мерзлотно-горно-лесные и горно-тундровые почвы. В Центральной Якутии распространены дерново-лесные, палевые, суглинистые (частично осолоделые), аллювиальные луговые почвы, в остальных частях - горно-лесные, болотные и тундрово-глеевые почвы.

Суровые климатические условия способствуют повсеместному сохранению многолетней мерзлоты, ежегодному глубокому промерзанию деятельного слоя почвы и развитию криогенных процессов в почвенной толще. Мерзлотные почвы, находясь исключительно на территории повсеместного распространения многолетнемерзлых пород, характеризуются лишь сезонным протаиванием, т.е. в сверхдлительное по сравнению с немерзлотными почвами время пребывают в мерзлом, состоянии. Карта зоны вечной мерзлоты представлена на Рис 1.4.1.



Рис 1.4.1. – Приближенное положение границы распространения вечной мерзлоты в России.

В районе г. Якутска вертикальная толщина вечной мерзлоты достигает 250–350 м. В естественных условиях глубина сезонно-талого слоя 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. Основными криогенными процессами на территории Якутска являются просадки из-за термокарста, морозобойное растрескивание, морозное пучение, заболачивание и подтопление. 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, увеличении зон заболачивания. Именно обводнение является одним из наиболее неблагоприятных факторов, влияющих на потерю устойчивости грунтов оснований и несущих конструкций. Причем происходит обводнение как пресными, так и минерализованными подземными водами – криопэгами. В результате этого в середине 1990-х годов аэропорт Якутска пришел в аварийное состояние,

поскольку значительная часть окружающей его территории, в том числе в непосредственной близости от взлетно-посадочной полосы, оказалась в зоне подтопления. В Якутске сформировался большой фонд жилых и общественных зданий, построенных с применением различных конструктивных решений фундаментов и оснований (рис 1.4.2).



Рис 1.4.2 . Карта современной застройки Якутска

На рисунке показана карта современной застройки Якутска на 2003 г. с нанесенными областями распространения засоленных грунтов, где 1,2 – здания, находящиеся в аварийном состоянии.

По данным Департамента жилищно-коммунального хозяйства администрации Якутска, 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. Так, в 1999 г.

произошло обрушение угловой части здания на одной из центральных площадей города. Подобные обрушения частей зданий происходили и в последующие годы. Причиной обрушения зданий в большинстве случаев является ослабление несущей способности вечной мерзлоты. Однако преждевременным было бы делать вывод, что виной тому – только глобальное потепление, хотя несомненно, что и оно сыграло определенную роль, усилив имевшие место деструктивные процессы. Анализ, проведенный органами городского управления с привлечением научных институтов, показал, что проблемы устойчивости инженерных сооружений на территории Якутска связаны главным образом с их неудовлетворительным проектированием, строительством и эксплуатацией, и лишь в малой степени обусловлены климатическим потеплением. Множество неклиматических факторов, среди которых можно указать на ошибки проектирования фундаментов, засоление и минерализация грунтов из-за утечек сточных вод, отсутствие сети ливневой канализации, сами по себе вызывают деградацию мерзлых оснований, фундаментов зданий и сооружений, а климатическое потепление лишь усиливает эти процессы.

Опасность связана главным образом с тем, что мощность сезонного талого слоя и температура мерзлых грунтов значительно возрастут и превысят допустимые пределы, заложенные в расчете конструкций, которые проектировались и были построены в прошедшие несколько десятилетий без учета климатических изменений. Прогнозируемое ослабление прочностных свойств вечной мерзлоты в этой области не является серьезным препятствием для строительства на ранее неосвоенных территориях, поскольку его можно учесть на этапе проектирования.

2. Формирование и оценка качества БД температур почвы.

2.1 Выбор пунктов наблюдений по территории

Для выполнения работы выбрана территория Республики Саха (Якутия) и в качестве исследуемой характеристики – температура почвы на глубине 3,2 метра за период её оттаивания (с апреля по октябрь). Было выбрано 30 станций, данные наблюдений за среднемесячными температурами почвы были собраны из ежемесячников Якутского УГМС.

Расположение пунктов наблюдений на территории показано на рис.2.1.1,

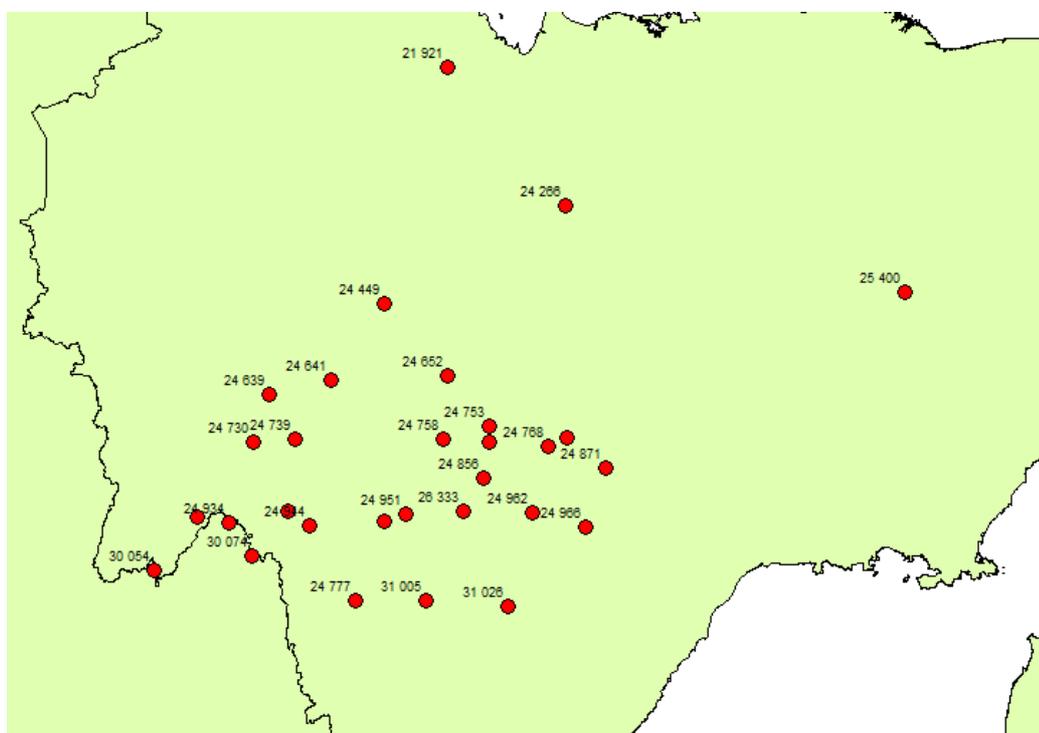


Рисунок 2.1.1. - Расположение метеостанций на территории Республики Саха (Якутия)

Карта расположения метеостанций по территории (Рисунок 2.1), свидетельствует о том, что район покрыт наблюдениями не равномерно, наиболее детально освещена наблюдениями центральная часть Якутии.

Метеорологические данные и многолетние ряды были импортированы в ПК «Гидрорасчеты» и в результате создана региональная база климатических данных. Информация о продолжительности и периоде наблюдений, а также координатах метеостанций приведена в таблице 2.1.1

Таблица 2.1.1 – Координаты метеостанций и продолжительность рядов наблюдений за температурой почвы на глубине 3,2 метра

Код поста	Наименование	Широта, град	Долгота, град	Период наблюдений	кол-во лет
24266	Верхоянск	67.34	133.24	1961 - 2018	47
24449	Бестяхская Звероферма	65.18	124.07	1973 - 2018	36
24641	Вилюйск	63.47	121.37	1962 - 2018	46
24652	Сангары	63.58	127.28	1973 - 1998	25
24730	Сунтар	62.09	117.39	1961 - 2008	32
24753	Намцы	62.44	129.40	1973 - 2010	35
24766	Ытык-Кель	62.21	133.33	1961 - 1997	23
24768	Чурапча	62.02	132.36	1961 - 2016	44
24856	Покровск	61.29	129.09	1961 - 2013	50
24871	Охотский Перевоз	61.52	135.30	1961 - 2018	48
24923	Ленск (Мухтуя)	60.43	114.53	1985 - 2018	32
24933	Килеер	60.57	119.18	1988 - 2012	24
24944	Олѣкминск	60.24	120.25	1961 - 2009	36
24946	Саннаяхта	60.35	124.03	1961 - 1988	18
24951	Исить	60.49	125.19	1961 - 2018	51
24959	Якутск	62.10	129.43	1961 - 2018	55
24962	Амга	60.54	131.59	1961 - 2018	32
24966	Усть-Мая	60.23	134.27	1961 - 2004	26
25400	Зырянка	65.44	150.54	1961 - 2018	47
30054	Витим	59.27	112.35	1966 - 2018	52
30074	Мача	59.56	117.36	1961 - 1998	28
31005	Томмот	58.58	126.16	1961 - 2018	47
31026	Учур	58.44	58.44	1973 - 2018	42
24639	Нюрба	63.17	118.20	1961-1990	18
24934	Нюя	60.32	116.14	1961-1988	18
24758	Бердигестях	62.16	127.04	1973-1990	16
24739	Чаингда	62.17	119.51	1973-1991	15

21921	Кюсюр	70.41	127.24	1962-1991	15
24777	Горелый	58.59	122.57	1973-1984	11
26333	Добролёт	60.57	128.08	1973-1992	19

Из данных таблицы следует, что периоды наблюдений изменяются от 11 до 55 лет и есть возможность удлинить менее продолжительные ряды за счет более продолжительных.

2.2. Оценка однородности и стационарности.

Прежде, чем применять климатическую информацию для обработки и моделирования необходимо оценить ее качество и однородность. При этом будем понимать, что нарушение однородности данных в большей степени обусловлено не естественными, а инструментальными или методическими причинами, такими как: изменение типа регистрирующих приборов, места и времени регистрации и другими подобными причинами. Нарушение однородности регистрации температуры также часто бывает обусловлено ростом городской застройки около станции. Еще одним из наиболее распространенных видов проявления неоднородности является наличие неоднородных экстремумов, которые для температуры могут быть обусловлены двумя основными причинами: большими погрешностями измеряемой характеристики и малой продолжительностью ряда наблюдений. Второй случай является наиболее распространенным и связан с наличием в ряду наблюдений редкого события, вероятность появления которого много меньше, чем та, которую можно установить по ряду наблюдений такой продолжительности.

При оценке качества данных среднемесячных температур воздуха был осуществлен анализ однородности резко отклоняющихся от эмпирического распределения экстремумов, которые в основном могут быть обусловлены наличием редких событий в коротком ряду наблюдений. Регистрирующие приборы на протяжении последних 150 лет практически не изменялись, а

изменение сроков наблюдений (трехсрочные до 1936 г., четырехсрочные до 1966 г. и восьмисрочные в настоящее время) могло в худшем случае повлиять на расчет среднесуточной температуры, причем, как показывают исследования, незначительно. Также был осуществлен анализ стационарности дисперсий и средних значений двух частей временного ряда по критериям Фишера и Стьюдента.

Для оценки однородности резко отклоняющихся экстремумов применялись критерии Диксона.

В таблицах 2.2.1, 2.2.2, 2.2.3 приведены результаты оценки однородности и стационарности для характерных месяцев всех четырех сезонов года. В таблицах имеют место следующие обозначения: «Д» - критерии Диксона, «Ф», «Ст» - критерии Фишера и Стьюдента и «Год» - установленные годы неоднородных экстремумов.

Таблица 2.2.1

Результаты оценки стационарности среднемесячных температур почвы на глубине 3,2 метра с апреля по октябрь по критериям Диксона

Апрель		Май		Июнь		Июль		Август		Сентябрь		Октябрь	
Код	Ф	Код	Ф	Код	Ф	Код	Ф	Код	Ф	Код	Ф	Код	Ф
24266	–	24652	–	24266	–	24266	–	24266	–	24730	–	24856	–
		24753	–	24641	–	24966	–	24639	–	24856	–		
		24871	–	24962	–			24933	–	24959	–		
				24966	–			24962	–	24966	–		

Таблица 2.2.1

Результаты оценки стационарности среднемесячных температур почвы на глубине 3,2 метра за апрель, май, июнь, июль по критериям Фишера и Стьюдента.

Апрель			Май			Июнь			Июль		
Код	Ф	Ст	Код	Ф	Ст	Код	Ф	Ст	Код	Ф	Ст
24449	-	+	24639	(-) 1,3	+	24266	(-) 2,6	+	24639	(+) 4,0	(+) 3,4
24639	-	+	24758	(+) 4,2	+	24639	-	+	24652	(+) 4,9	(+) 3,7
24730	-	+	24766	(+) 4,1	+	24641	(+) 3,9	+	24730	-	+
24739	(-) 2,9	(+) 3,6	24777	(+) 3,7	+	24652	(-) 2,0	+	24753	(+) 3,6	+
24758	-	+	24856	(+) 3,8	+	24739	-	-	24758	-	+
24766	-	+	24871	(+) 4,0	+	24777	(-) 2,6	+	24768	(+) 4,6	+
24777	(+) 3,7	+	24923	-	+	24923	(+) 3,6	+	24777	-	+
24944	(+) 4,2	+	24944	-	+	24944	-	+	24871	-	-
24946	(+) 4,8	+	24946	(+) 4,1	+	24959	(+) 3,5	+	24923	(+) 4,3	+
24959	-	+	25400	-	+	24966	(-) 2,8	+	24934	(+) 4,9	+
24962	(+) 4,2	+	26333	(-) 2,1	+	25400	-	+	24946	+	(+) 4,6
25400	-	+				26333	(+) 4,2	-	24959	+	(-) 2,5
26333	-	+				30074	+	-	25400	-	+
30074	-	+							30074	(-) 2,7	(+) 3,5
31026	-	-							31026	(+) 4,6	+

Таблица 2.2.2

Результаты оценки стационарности среднемесячных температур почвы на глубине 3,2 метра за август, сентябрь и октябрь по критериям Фишера и Стьюдента.

Август			Сентябрь			Октябрь		
Код	Ф	Ст	Код	Ф	Ст	Код	Ф	Ст
24449	+	-	24639	(+) 4,3	-	24641	+	-
24639	(+) 4,0	+	24739	-	+	24652	-	+
24652	+	(+) 4,4	24753	(-) 2,9	+	24739	(+) 3,6	+
24739	(+) 3,7	+	24758	(-) 1,3	+	24753	-	+
24758	+	-	24923	+	(-) 2,0	24768	(+) 3,1	+
24856	(+) 4,6	+	24934	-	+	24777	(+) 4,0	-
24871	(+) 4,2	+	24944	-	+	24934	-	+
24934	(-) 2,4	+	24959	-	+	24959	-	+
24946	+	(+) 4,8	24962	+	(-) 3,9	26333	-	+
24966	(+) 4,2	+	26333	+	-	30054	+	(-) 1,22
30054	+	-	30054	+	(-) 1,9	30074	+	-
30074	+	(+) 3,7	30074	(-) 2,0	+	31026	(-) 1,25	+
			31026	+	-			

По данным таблицы 2.5 следует, что из 29 рядов наблюдений в каждом месяце нестационарными являются: в апреле — 11 рядов, что составляет 37,9% от общего количества, в мае — 5 (17,2%), в июне — 10 (34,5%), в июле — 7 (24,1%), в августе — 4 (13,8%), в сентябре — 13 (44,8%), в октябре — 10 рядов (34,5%). Число нестационарных рядов по месяцам изменяется от 4 (13,8%) в августе до 13 (44,8%) в сентябре.

Примеры некоторых графиков нестационарных рядов показаны на Рис.2.2.1 – 2.2.3.

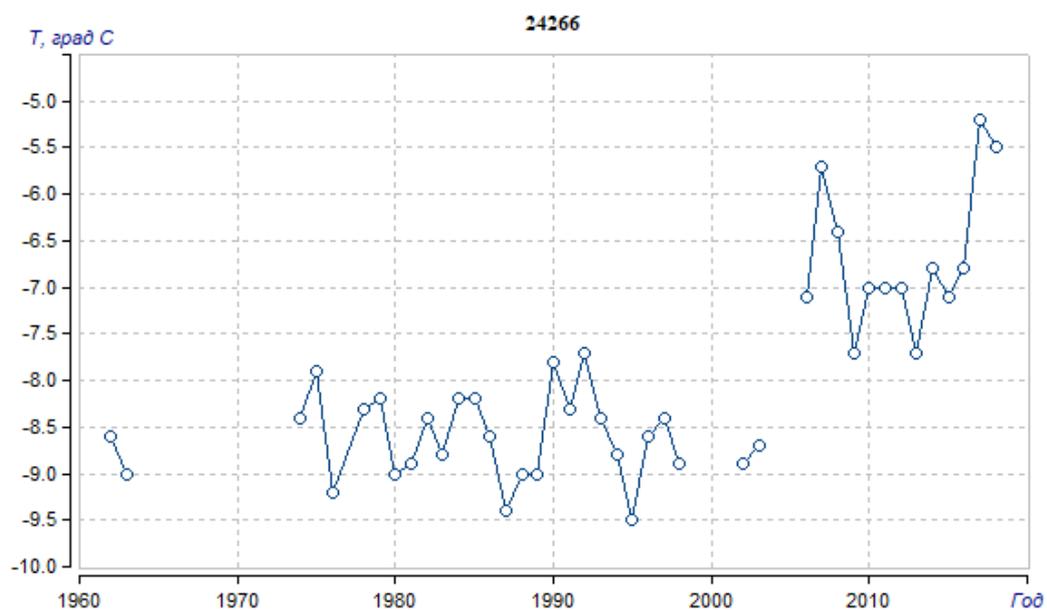


Рис.2.2.1. – Многолетний нестационарный ряд температур почвы июня на метеостанции 24266.

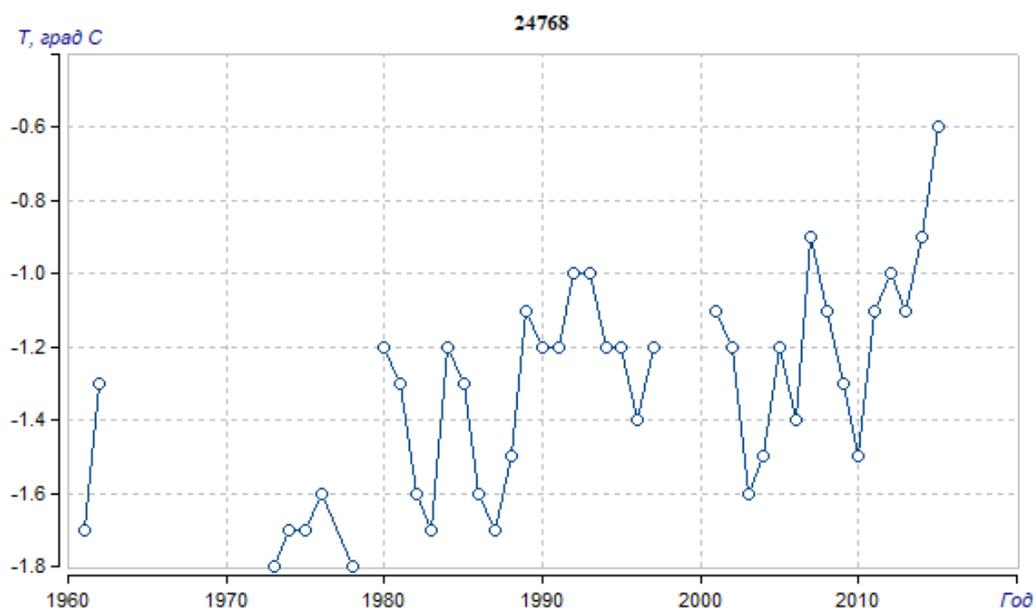


Рис.2.2.2. – Многолетний нестационарный ряд температур почвы октября на метеостанции 24768.

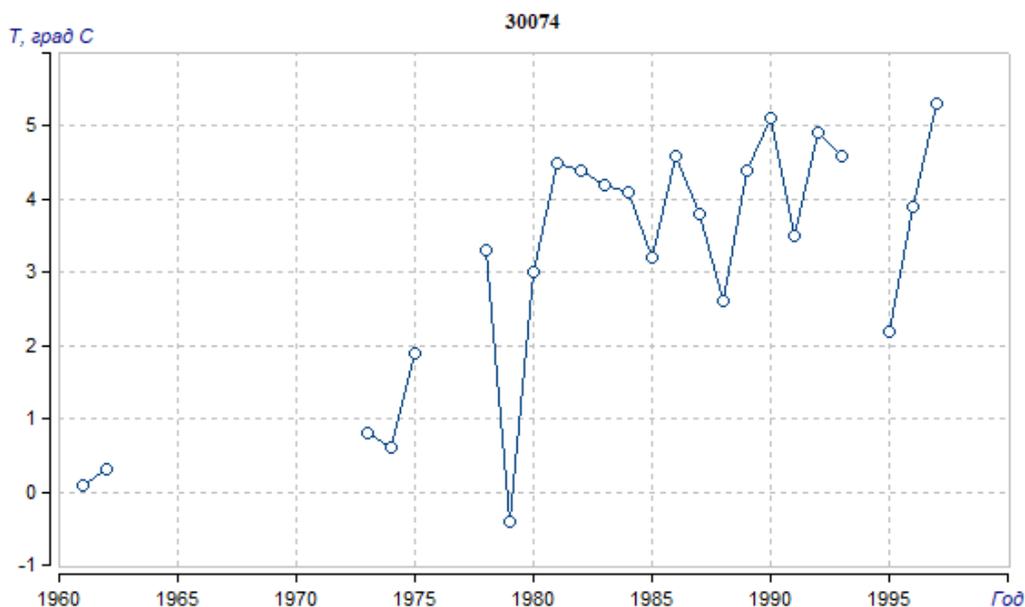


Рис.2.2.3. – Многолетний нестационарный ряд температур почвы сентября на метеостанции 30074.

Визуальный анализ графиков и его сопоставление с оценками по статистическим критериям позволили сделать следующие выводы:

- Заметное увеличение температуры в последние годы имеет место практически на всех метеостанциях, но начало этого роста приходится на разные годы и сам рост температуры разный по величине;

- Даже наиболее продолжительные ряды имеют пропуски наблюдений, поэтому данные результаты являются недостаточно достоверными, так как ряды наблюдений должны иметь достаточную продолжительность, гарантирующую как надежность моделирования, так и возможность оценки устойчивости моделей за разные интервалы времени; в рядах должны отсутствовать пропуски наблюдений, так же они должны включать последние годы наблюдений.

- Число нестационарных рядов варьируется от 13,8% (от общего количества рядов) в августе и до 13 рядов (44,8%) в сентябре. Эта нестационарность обусловлена влиянием изменения климата, что будет показано далее с помощью статистических моделей временных рядов.

2.3. Восстановление пропусков наблюдений и удлинении рядов.

В результате расчетов были восстановлены пропуски и удлинены ряды среднемесячных температур с коэффициентом корреляции 0,7. Общие результаты восстановления приведены в Таблице 2.3,1 где показано число фактических лет наблюдений и число лет, полученных после восстановления (фактические и восстановленные данные), средняя погрешность восстановления, стандартно стандартное отклонение сходных данных, стандартное отклонение восстановленных данных, среднее исходных и восстановленных данных

Таблица 3.2.1

Общие результаты восстановления рядов

Апрель			Май			Июнь			Июль		
Код	n	N	Код	n	N	Код	n	N	Код	n	N
21921	14	34	21921	14	25	21921	13	25	21921	14	27
24449	33	41	24266	39	40	24449	33	44	24449	30	43
24639	15	47	24449	34	42	24639	15	46	24639	15	40
24641	41	44	24639	15	47	24641	41	45	24641	39	44
24652	21	35	24641	39	42	24652	23	33	24652	23	32
24730	24	50	24730	22	49	24730	25	49	24730	25	48
24739	12	39	24739	10	48	24739	10	49	24739	10	47
24753	33	36	24758	11	49	24753	31	36	24753	30	35
24758	11	47	24766	22	24	24758	8	49	24758	10	49
24766	20	28	24777	8	45	24766	21	22	24766	21	28
24777	10	45	24856	47	51	24777	8	50	24777	8	46
24856	49	51	24923	31	49	24923	31	45	24871	43	44
24923	30	53	24933	21	29	24933	22	32	24923	28	52
24933	21	38	24934	17	36	24934	17	36	24933	21	30
24934	16	38	24944	33	48	24944	31	46	24934	16	39
24944	32	46	24946	17	41	24946	16	35	24944	31	42
24946	17	47	24951	49	51	24951	49	52	24946	17	34
24951	50	52	24959	51	53	24959	52	54	24951	48	50
24959	52	54	24962	28	29	24966	22	41	24959	52	53
24962	30	31	24966	22	37	25400	38	43	24962	28	31
24966	24	41	26333	18	49	26333	17	50	24966	21	40
26333	18	38	30054	49	55	30054	50	55	25400	41	43
30054	52	55	30074	23	45	30074	25	45	26333	18	47

30074	24	42	31005	45	53	31005	44	52	30054	51	54
31005	45	55	31026	40	46	31026	39	48	30074	25	41
31026	39	45							31005	43	44
									31026	39	48

Август			Сентябрь			Октябрь		
Код	n	N	Код	n	N	Код	n	N
21921	12	38	21921	10	23	21921	11	32
24449	30	44	24449	27	47	24449	25	45
24639	13	44	24639	14	44	24639	15	40
24641	41	46	24641	40	44	24641	41	45
24652	19	36	24652	22	24	24652	22	27
24730	22	43	24730	26	42	24730	24	51
24739	11	49	24739	11	46	24739	12	44
24753	30	31	24753	29	34	24753	30	40
24758	9	40	24758	10	47	24758	12	43
24766	19	31	24766	20	22	24766	18	19
24768	40	41	24777	8	48	24777	8	43
24777	9	44	24856	48	51	24856	46	50
24923	30	54	24923	29	52	24923	28	52
24933	20	25	24934	13	52	24933	19	25
24934	15	38	24944	29	40	24934	14	51
24944	29	45	24946	14	42	24944	30	44
24946	14	41	24951	46	50	24946	16	50
24951	48	51	24959	51	52	24951	46	49
24962	29	30	24962	28	36	24959	49	52
24966	21	41	24966	22	36	24962	26	31
25400	42	43	26333	15	43	24966	21	41
26333	17	32	30054	51	53	25400	42	43
30054	51	54	30074	24	49	26333	14	49
30074	24	47	31005	42	44	30054	50	52
31005	43	46	31026	38	52	30074	25	52
31026	40	45				31005	42	45
						31026	37	52

Таким образом, данные для апреля и мая были восстановлены на 15 станциях, для июня на 17 станциях, для июля на 18 станциях, для августа на 15 станциях, для сентября и октября на 19 станциях. Продолжительность исходных рядов по всем месяцам колеблется от 20 до 52 лет. Ряды

некоторых станций были существенно удлинены, например, ряды станции 24730 в сентябре и в октябре были удлинены на 23 года, а ряд станции 24946 в сентябре — на 28 лет, в августе — на 27 лет.

Пример восстановления показан на рисунке 3.1.1: короткий ряд наблюдений продолжительностью 24 года и приведенный к многолетнему периоду, продолжительность которого стала 42 года.

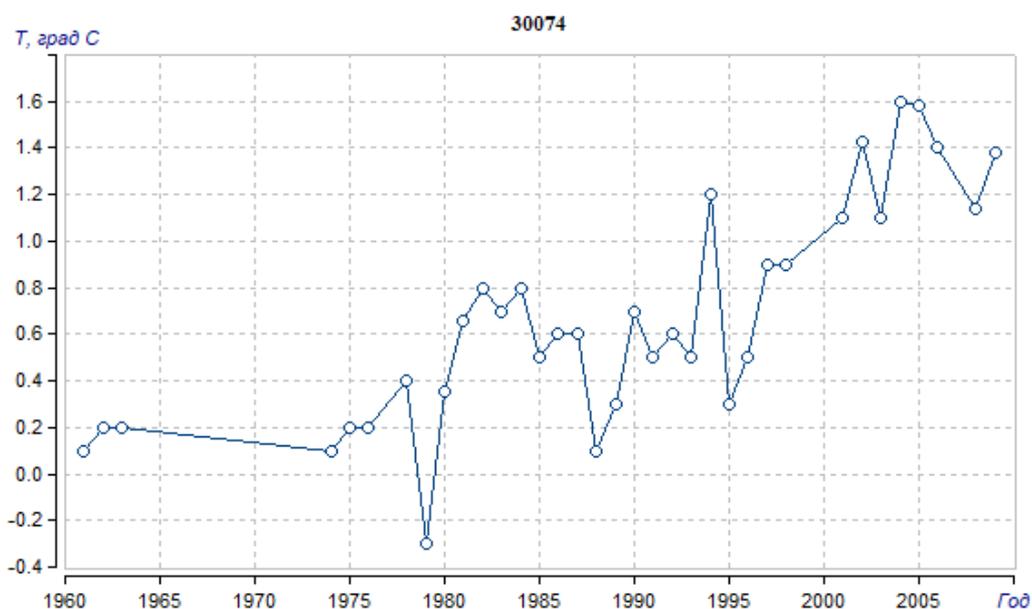
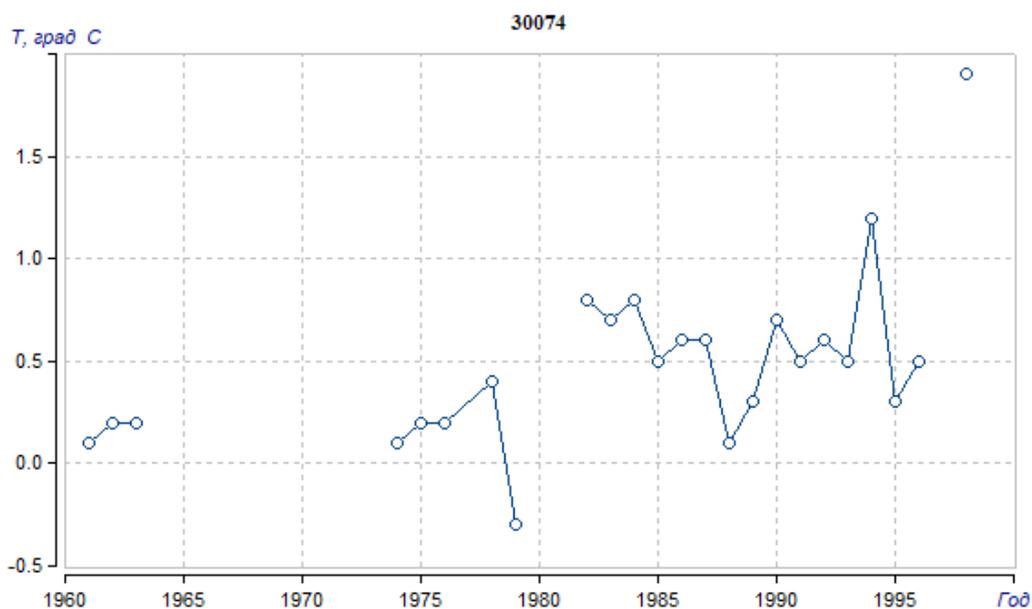
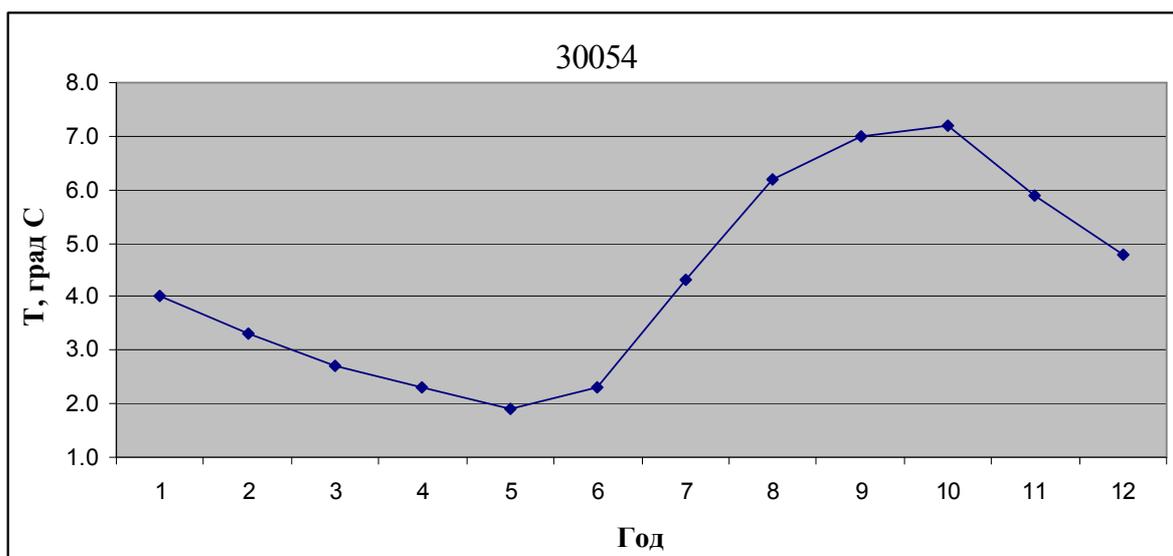
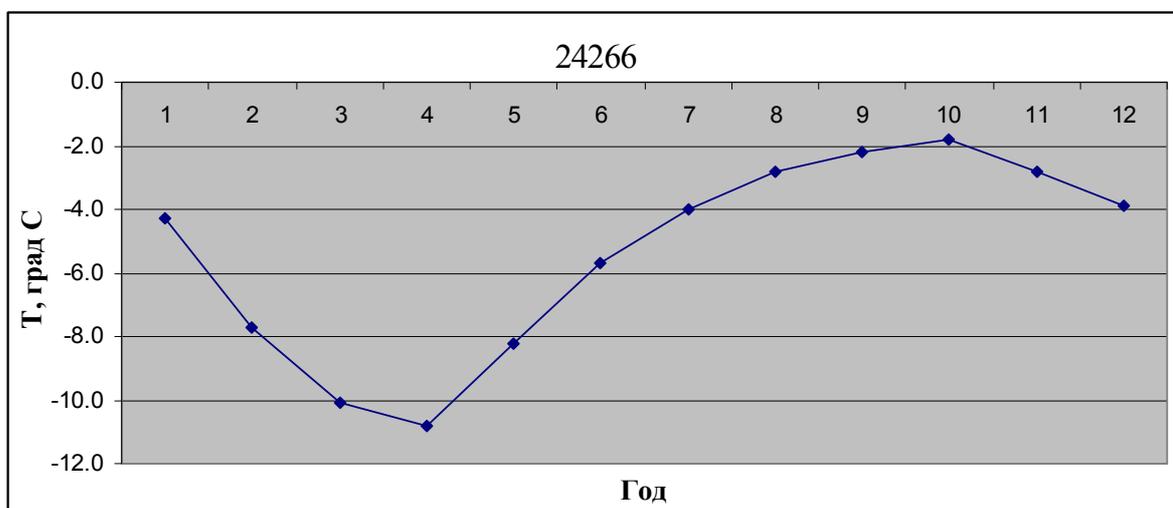


Рисунок 2.3.1. Исходный (вверху) и восстановленный (внизу) многолетние ряды температуры почвы в апреле на метеостанции 30074

2.4. Предварительная оценка зон климатического риска оттаивания вечной мерзлоты.

В ходе написания данной работы были построены внутригодовые графики распределения температуры почвы на глубине 3,2 метра для станций 24266, 30054 и 24959 за 2007 год.



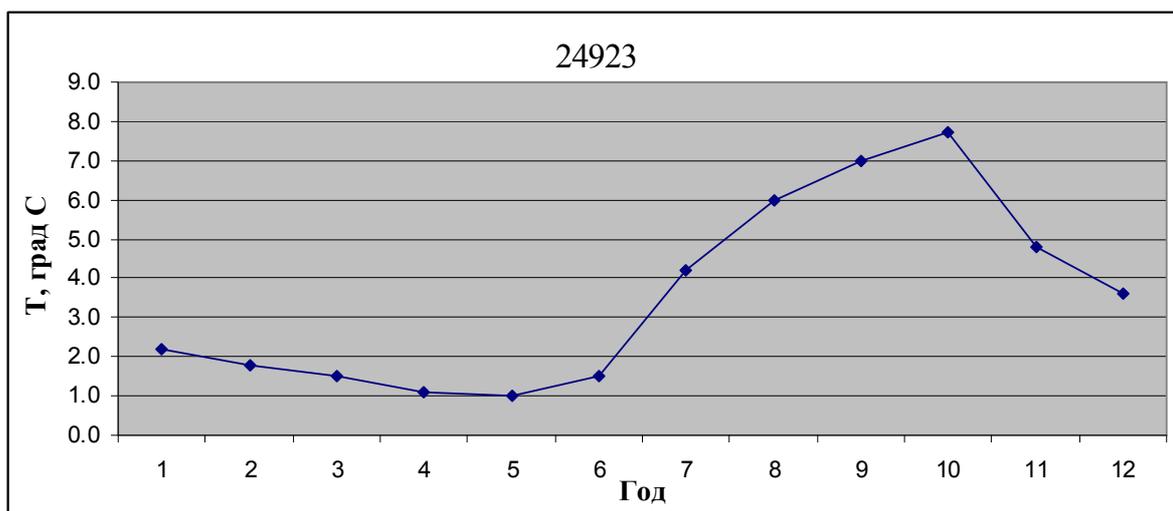


Рис 2.4.1 — Графики внутригодового распределения температур почвы на глубине 3,2 метра на станциях 24266, 30054, 24923.

Из данных графиков мы можем сделать вывод о том, что максимальная температура почвы приходится на сентябрь - октябрь, поэтому для дальнейшего анализа мы ориентировались на эти месяцы.

На основании предварительного анализа были выделены 4 вида криоопасности по оттаиванию вечной мерзлоты за сентябрь-октябрь, что соответствует переходу температуры почвы на глубине 3,2 м через 0°C. Карта зон криоопасности была получена посредством интерполятора ГИС MapInfo, где красным цветом показана наиболее опасная зона для местных сооружений, в которой температура почвы на глубине 3,2 метра в какой-то момент времени уже перешла через отметку 0°C; а жёлтым цветом — область, в которой отмечается тенденция изменения температуры, но отметка 0°C ещё не достигнута. Синий цвет соответствует тем зонам, в которых температура почвы в течение всего летне-осеннего периода не превышает отметку 0°C и превышение не ожидается даже в ближайшем будущем; а зелёный — районам, в которых температура почвы всегда была и остается положительной в течение рассматриваемого сезона..

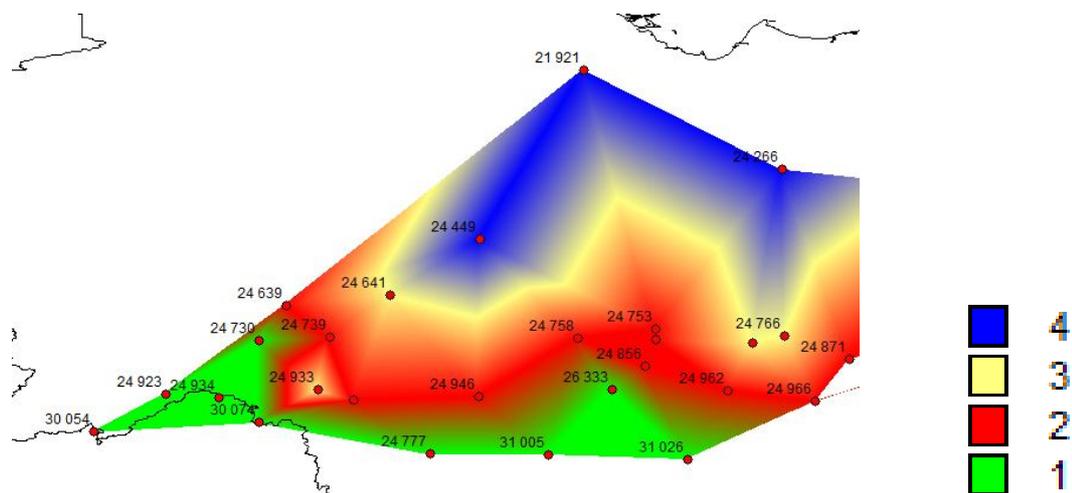


Рисунок 2.2.1. – Карта областей криоопасности на территории Республики Саха (Якутия).

В результате предварительного анализа, можно сделать вывод о том, что наиболее «опасная» зона для местных застроек — это центральная часть Якутии, где в начале 1990-х годов наблюдалось резкое изменение температуры почвы. В северных районах также наблюдается тенденция к потеплению, но температура почвы, пока намного меньше 0°C (среднемесячная температура почвы за сентябрь на станции 21921 составляет $-3,2^{\circ}\text{C}$, а среднемесячная температура на станции 24449 рассчитывается $-3,5^{\circ}\text{C}$). В южной части Республики в августе и в сентябре наблюдаются положительные температуры.

3. Климатические характеристики температуры почвы

3.1. Теоретические положения климатических расчетов

Определение параметров и квантилей распределения (расчетных климатических характеристик) при наличии данных наблюдений достаточной продолжительности осуществляется путем применения аналитических функций распределения ежегодных вероятностей превышения - кривых обеспеченностей.

Эмпирическая ежегодная вероятность превышения P_m метеорологических характеристик определяется по формуле:

$$P_m = \frac{m}{n+1} 100\% \quad , \quad (3.1.1)$$

где m - порядковый номер членов ряда метеорологической характеристики, расположенных в убывающем порядке; n - общее число членов ряда.

Эмпирические кривые распределения ежегодных вероятностей превышения строятся на клетчатках вероятностей. Тип клетчатки вероятностей выбирается в соответствии с принятой аналитической функцией распределения вероятностей и полученного отношения коэффициента асимметрии C_s к коэффициенту вариации C_v . Наиболее распространенной является клетчатка нормального закона распределения.

Для сглаживания и экстраполяции эмпирических кривых распределения ежегодных вероятностей превышения, как правило, применяются трехпараметрические распределения: Крицкого - Менкеля (гамма-распределение) при любом отношении C_s/C_v и распределение Пирсона III типа (биномиальная кривая) при $C_s/C_v \geq 2$ и другие распределения, имеющие предел простираения случайной переменной от нуля, или положительного

значения, до бесконечности. При надлежащем обосновании допускается применять двухпараметрические распределения, если эмпирическое отношение C_s/C_v и аналитическое отношение C_s/C_v , свойственные данной функции распределения, приблизительно равны. При неоднородности ряда наблюдений применяются усеченные и составные кривые распределения вероятностей превышения.

Оценки параметров аналитических кривых распределения, таких как среднее многолетнее значение \bar{Q} , коэффициент вариации C_v и отношение коэффициента асимметрии к коэффициенту вариации C_s/C_v , устанавливаются по рядам наблюдений за рассматриваемой метеорологической характеристикой методом приближенно наибольшего правдоподобия, методом моментов и методом наименьших квадратов.

Коэффициент вариации C_v и коэффициент асимметрии C_s для трехпараметрического гамма-распределения следует определять методом приближенно наибольшего правдоподобия в зависимости от статистик λ_2 и λ_3 , вычисляемых по формулам:

$$\lambda_2 = \left(\sum_{i=1}^n \lg k_i \right) / (n-1), \quad (3.1.2)$$

$$\lambda_3 = \left(\sum_{i=1}^n k_i \lg k_i \right) / (n-1), \quad (3.1.3)$$

где k - модульный коэффициент рассматриваемой метеорологической характеристики, определяемый по формуле:

$$k_i = \frac{Q_i}{\bar{Q}}, \quad (3.1.4)$$

где Q_i - погодичные значения метеорологических характеристик; \bar{Q} - среднее арифметическое значение, определяемое в зависимости от числа лет наблюдений по формуле:

$$\bar{Q} = \left(\sum_{i=1}^n Q_i \right) / n . \quad (3.1.5)$$

По полученным значениям статистик λ_2 и λ_3 определяют коэффициенты вариации и асимметрии по специальным таблицам, номограммам или на основе вычислительной программы.

Коэффициенты вариации C_v и асимметрии C_s определяются методом моментов по формулам:

$$C_v = (a_1 + a_2 / n) + (a_3 + a_4 / n)\tilde{C}_v + (a_5 + a_6 / n)\tilde{C}_v^2 , \quad (3.1.6)$$

$$C_s = (b_1 + b_2 / n) + (b_3 + b_4 / n)\tilde{C}_s + (b_5 + b_6 / n)\tilde{C}_s^2 , \quad (3.1.7)$$

где $a_1, \dots, a_6; b_1, \dots, b_6$ - коэффициенты, определяемые по специальным таблицам; \tilde{C}_v и \tilde{C}_s - соответственно смещенные оценки коэффициентов вариации и асимметрии, определяемые по формулам:

$$\tilde{C}_v = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (k_i - 1)^2}{n - 1}} , \quad (3.1.8)$$

$$\tilde{C}_s = \left[n \sum_{i=1}^n (k_i - 1)^3 \right] / \left[\tilde{C}_v^3 (n - 1)(n - 2) \right] . \quad (3.1.9)$$

При $C_v < 0,6$ и $C_s < 1,0$ допускается использовать формулы (3.1.8) и (3.1.9) без учета поправок на смещение.

Случайные средние квадратические погрешности выборочных средних определяются по приближенной зависимости:

$$\sigma_{\bar{Q}} = \left(\frac{\sigma_Q}{\sqrt{n}} \right) \sqrt{\frac{(1+r)}{(1-r)}} , \quad (3.1.10)$$

которая применяется при коэффициенте автокорреляции между смежными членами ряда r меньшем 0,5. При больших коэффициентах автокорреляции используется формула:

$$\sigma_{\bar{Q}} = \frac{\sigma_Q}{\sqrt{n}} \sqrt{\frac{1 + \frac{2r}{n(1-r)} \left(n - \frac{1-r^n}{1-r} \right)}{1 - \frac{2r}{n(n-1)(1-r)} \left(n - \frac{1-r^n}{1-r} \right)}} \quad (3.1.11)$$

Случайные средние квадратические ошибки коэффициентов вариации при $C_s=2C_v$ определяются по зависимости:

$$\sigma_{C_v} = \frac{C_v}{n+4C_v^2} \sqrt{\frac{n(1+C_v^2)}{2} \left(1 + \frac{3C_v r^2}{1+r} \right)} \quad (3.1.12)$$

В методе моментов среднее значение и коэффициент вариации определяется методом моментов, а отношение C_s/C_v – подбором при достижении минимума суммы квадратов отклонений между эмпирическим распределением и его аналитической аппроксимацией.

3.2. Определение средних значений изменчивости за разные периоды (весь период, период ВМО (1961-1990), последний период (1991-2017))

По оценкам Всемирной метеорологической организации в 1960-м году происходит резкое изменение климата. Значения глобальной средней температуры периода 1991—2010 годов был примерно на $0,31 \pm 0,02$ °C теплее, чем период 1961—1990 годов. В данной главе нами проверялась гипотеза о том, что современное изменение климата началось во второй половине 20 века.. В результате, были рассчитаны три средних значения за

разные периоды — среднее значение за весь период с 1961 по 2018 гг, среднее значение за период с 1961-го по 1990-й год и за период с 1991-го по 2017-й годы. Так же были рассчитаны средние квадратические отклонения для трёх рассматриваемых периодов.

Полученные результаты приведены в Таблице 3.1.1 для августа и сентября, как характерных месяцев максимальных температур почвы, где T_{cp1} — средняя температура почвы на глубине 3,2 метра за весь период, T_{cp2} — средняя температура почвы за период 1961-1990, T_{cp3} — средняя температура почвы за период с 1991 по 2017-й гг; σ_1 , σ_2 , σ_3 — среднее квадратическое отклонение за весь период, за период с 1961-го по 1990-й год и за период с 1991-го по 2017-й годы, соответственно.

Таблица 3.1.1 - Средние и расчетные значения среднемесячных температур августа на метеостанциях Республики Саха (Якутия).

Код	T_{cp1}	σ_1	T_{cp2}	σ_2	T_{cp3}	σ_3	$T_{cp3}-T_{cp2}$	$\sigma_3-\sigma_2$
21921	-3,6	4,42	-3,7	1,61	-3,6	2,93	0,1	1,32
24266	-4,0	-0,88	-4,5	0,52	-3,6	0,92	0,9	0,40
24449	0,0	0,90	-0,8	0,41	0,5	0,71	1,3	0,30
24639	0,1	0,15	0,0	0,04	0,2	0,14	0,2	0,10
24641	1,1	0,55	1,0	0,61	1,3	0,48	0,3	-0,13
24652	-0,4	-1,51	-1,4	0,98	0,5	1,34	1,8	0,36
24730	1,2	0,91	1,1	0,75	1,3	1,02	1,2	0,27
24739	0,2	0,36	0,0	0,35	0,4	0,26	0,4	-0,09
24753	-1,3	-0,44	-1,3	0,45	-1,3	0,46	0,0	0,01
24758	0,1	1,86	-0,4	1,23	0,3	1,37	0,7	0,14
24766	-1,1	-1,41	-1,4	0,51	-0,1	1,10	1,3	0,59
24768	-2,1	-0,59	-2,3	0,57	-2,0	0,57	0,3	0,00
24777	2,0	1,47	1,2	1,03	2,5	1,51	1,3	0,48
24856	-1,9	-0,42	-2,1	0,26	-1,7	0,48	0,4	0,22
24871	-0,8	-0,47	-1,1	0,33	-0,7	0,48	0,4	0,15
24923	5,4	1,14	4,8	0,82	6,0	1,14	1,2	0,32

24933	-1,4	-0,57	-1,4	0,54	-1,4	0,61	0,0	0,07
24934	1,5	1,35	0,9	0,72	2,1	1,57	1,1	0,85
24944	0,3	0,48	0,2	0,60	0,3	0,39	0,1	-0,21
24946	0,5	0,36	0,7	0,32	0,4	0,37	0,2	-0,05
24951	-1,8	-1,36	-2,8	0,66	-0,7	1,07	2,1	0,41
24959	-0,9	-0,55	-1,2	0,45	-0,7	0,49	0,5	0,04
24962	-2,5	-0,63	-2,8	0,39	-2,3	0,67	0,6	0,28
24966	-0,4	-0,88	-1,0	0,36	0,0	0,92	1,0	0,56
25400	-0,1	0,00	-0,2	0,00	0,1	0,00	0,3	0,00
26333	0,2	0,36	0,0	0,32	0,4	0,28	0,4	-0,04
30054	4,9	0,88	4,4	0,73	5,4	0,75	1,0	0,02
30074	2,6	2,11	1,3	1,23	2,8	2,00	1,5	0,77
31005	2,6	1,32	2,2	1,45	2,8	1,19	0,6	-0,26
31026	4,1	1,50	3,3	1,54	4,6	1,22	1,3	-0,32

Таблица 3.1.2 - Средние и расчетные значения среднемесячных температур сентября на метеостанциях Республики Саха (Якутия).

Код	T_{cp1}	Θ_1	T_{cp2}	Θ_2	T_{cp3}	Θ_3	$T_{cp3}-T_{cp2}$	$\Theta_3-\Theta_2$
21921	-1,4	-1,78	-2,8	0,73	-1,5	0,75	1,3	0,02
24266	-3,3	-0,78	-3,7	0,46	-2,9	0,77	0,9	0,31
24449	0,4	1,14	-0,5	0,74	1,0	0,93	1,5	0,19
24639	0,1	0,10	0,0	0,05	0,1	0,08	0,1	0,03
24641	2,4	0,66	2,2	0,57	2,9	0,57	0,7	0,00
24652	-1,1	0,00	-1,2	0,00	-1,1	0,00	0,1	0,00
24730	2,6	1,51	2,3	1,27	2,9	1,66	0,6	0,39
24739	0,2	0,32	0,1	0,17	0,3	0,37	0,2	0,20
24753	-0,9	-0,49	-1,1	0,24	-0,8	0,62	0,3	0,38
24758	0,9	0,64	0,4	0,46	1,2	0,55	0,8	0,09
24766	-2,0	-0,21	-2,0	0,22	-1,9	0,24	0,0	0,02
24768	-1,6	-0,50	-1,8	0,42	-1,5	0,51	0,3	0,09
24777	3,6	2,40	3,5	2,20	3,7	1,79	0,2	-0,41
24856	-1,2	-0,66	-1,5	0,51	-0,9	0,62	0,6	0,11
24871	0,5	0,00	-0,8	0,05	-0,4	0,06	0,4	0,01

24923	6,4	1,03	5,8	0,71	7,1	0,92	1,3	0,21
24933	-1,0	0,00	-1,2	0,05	-0,9	0,07	0,3	0,02
24934	2,5	1,03	2,5	0,49	2,5	1,37	0,0	0,88
24944	1,0	0,96	0,7	1,13	1,4	0,66	0,7	-0,47
24946	2,6	0,79	2,4	0,74	2,7	0,82	0,4	0,08
24951	-1,0	-1,11	-1,3	0,55	-0,7	0,94	0,6	0,39
24959	-0,8	-0,68	-1,1	0,26	-0,4	0,81	0,7	0,55
24962	-1,7	-0,58	-2,2	0,40	-1,5	0,51	0,7	0,11
24966	-0,4	-0,76	-0,5	0,41	-0,2	0,83	0,3	0,42
25400	-0,2	0,00	-0,1	0,06	-0,1	0,07	0,0	0,01
26333	0,5	0,47	0,1	0,24	0,7	0,46	0,6	0,22
30054	6,1	0,67	5,8	0,59	6,5	0,62	0,7	0,03
30074	3,1	0,11	2,5	1,66	3,9	4,16	5,4	2,50
31005	4,5	1,27	4,1	1,07	4,8	1,45	0,7	0,38
31026	6,0	0,96	5,4	0,77	6,6	0,75	1,3	-0,02

Из результатов таблиц можно сделать вывод о том, что рост средних значений температур имеет место на всех метеостанциях, так как величина $T_{ср3}-T_{ср2}$ (разница температур за два разных периода) везде положительная и изменяется от 0°C - 0.1°C до 2°C Среднее квадратическое отклонение, в отличие от средней температуры изменяется разнонаправлено, хотя в основном растет, но этот рост в основном составляет менее 0.5°C .

3.3 Пространственные распределения климатических средних и СКО весенних температур почвы (апрель, май) за 3 разных периода.

Пространственные распределения средних значений температур почвы и СКО за последний период 1991-2018 гг., а также разности средних за последний и предыдущий периоды для апреля и мая приведены на рис.3.3.1 - 3.3.8.

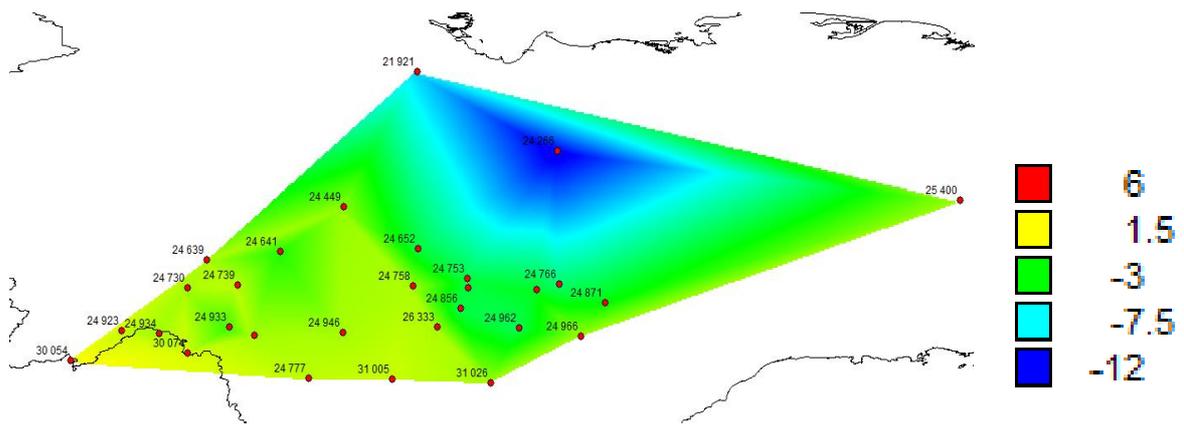


Рисунок 3.3.1. – Пространственная модель средних температур почвы на глубине 3,6 метров за весь период апреля.

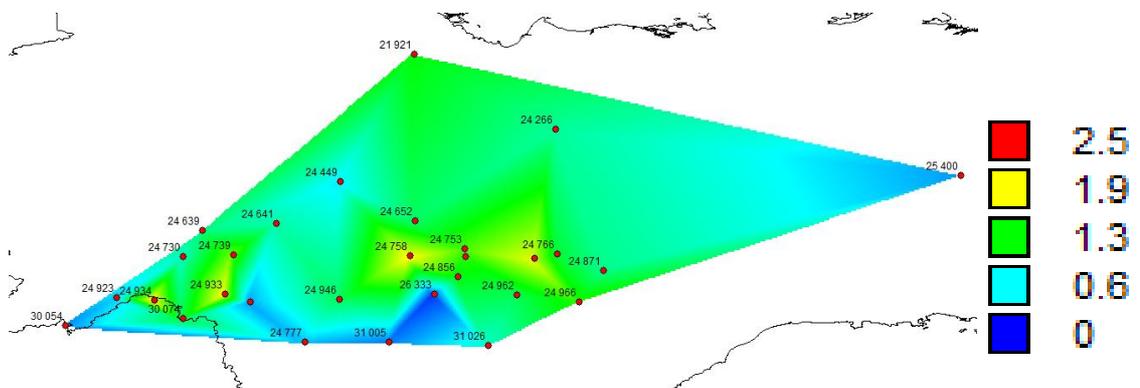


Рисунок 3.3.2. – Пространственная модель СКО температур почвы за весь период апреля.

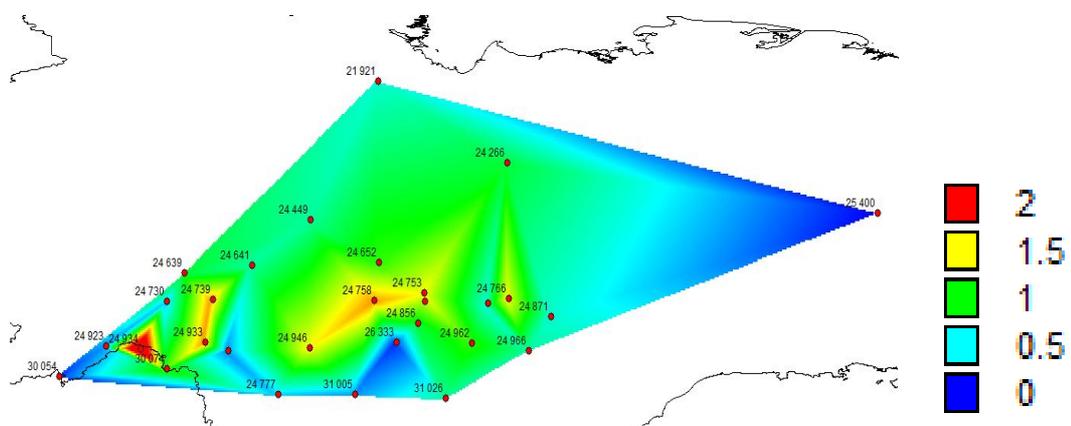


Рисунок 3.3.3. – Пространственная модель разницы температур почвы за последний период и период ВМО в апреле.

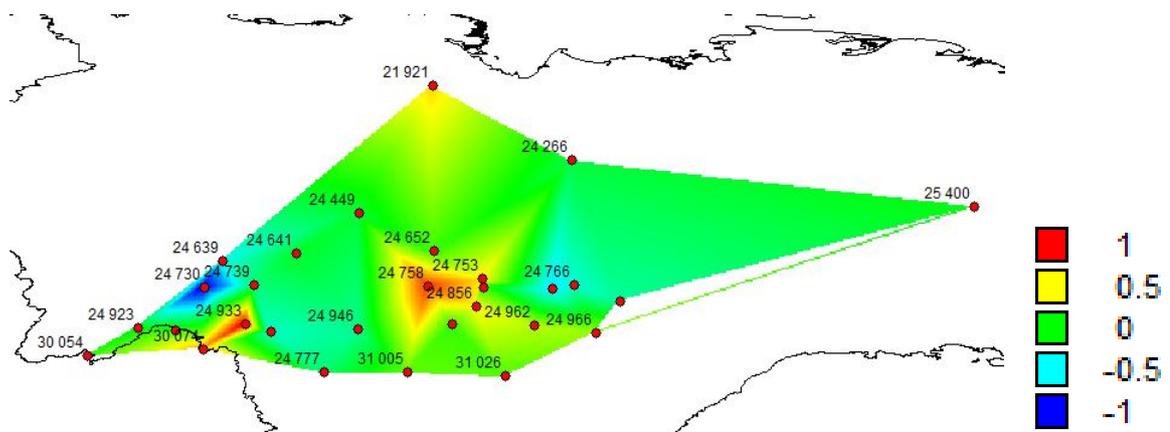


Рисунок 3.3.4. – Пространственная модель разницы СКО почвы за последний период и период ВМО в апреле.

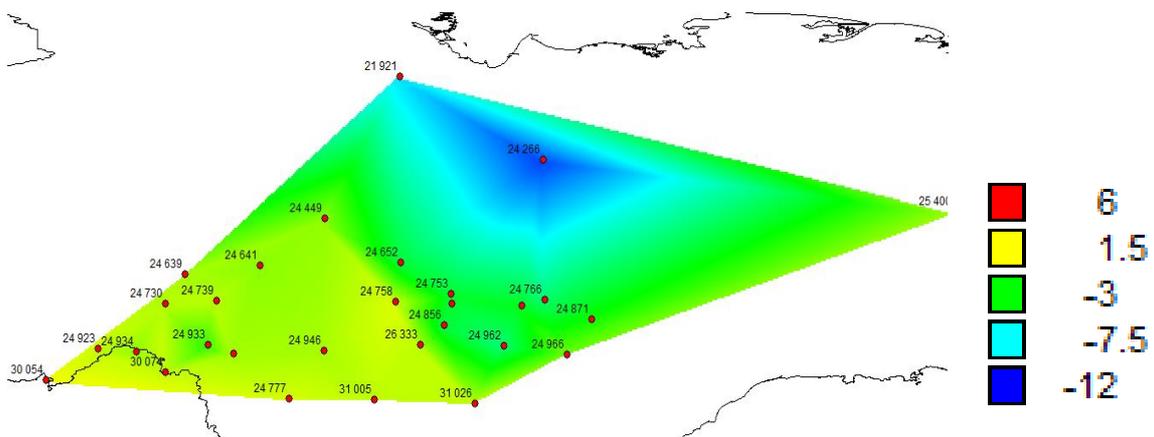


Рисунок 3.3.5. – Пространственная модель средних температур почвы на глубине 3,6 метров за весь период мая.

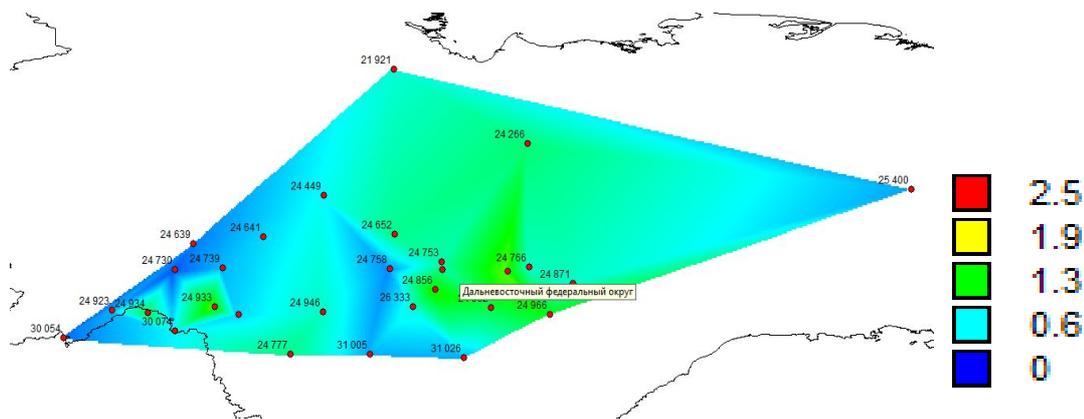


Рисунок 3.3.6. – Пространственная модель СКО температур почвы за весь период мая.

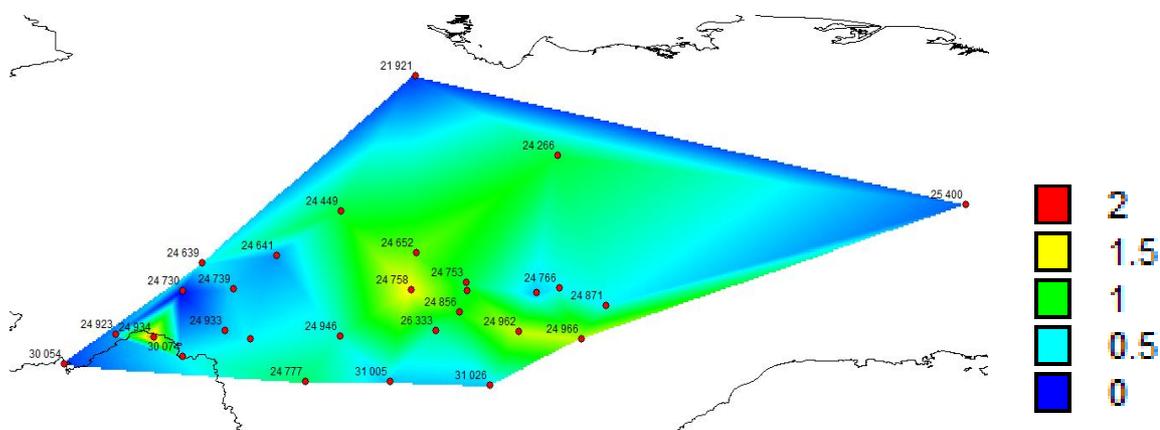


Рисунок 3.3.7. – Пространственная модель разницы температур почвы за последний период и период ВМО в мае

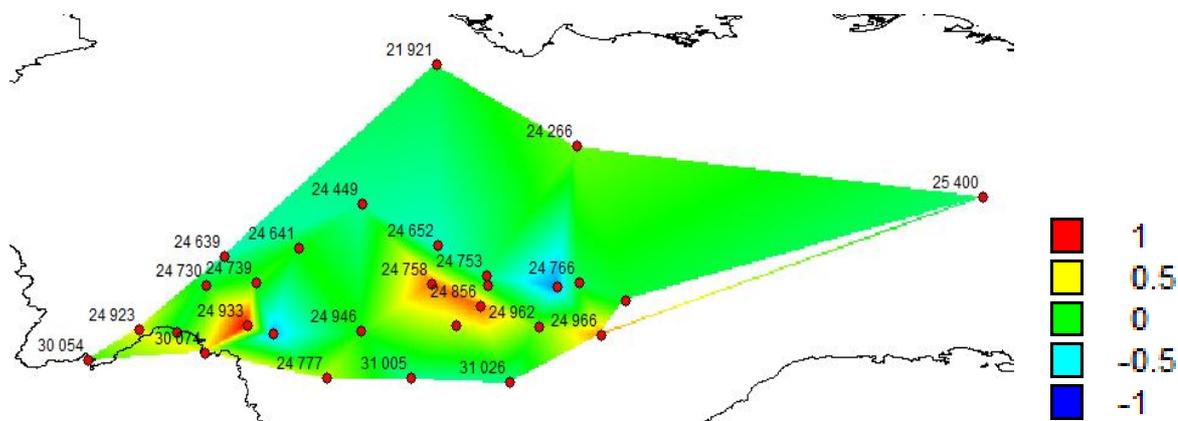


Рисунок 3.3.8. – Пространственная модель разницы СКО почвы за последний период и период ВМО в мае.

Как следует из рисунков, наиболее подвержена изменениям климата — почва центральной части Якутии и несколько станций в юго-западной части.

В северной части территории в эти месяцы практически не наблюдается увеличения температуры почвы, так как период оттаивания на севере наступает позже, следовательно, разницы в температуре двух периодов на северных станциях пока не наблюдается.

3.4. Пространственные распределения климатических средних и СКО летних температур почвы (июнь, июль, август) за 3 разных периода

Пространственные распределения средних значений температур почвы и СКО за последний период 1991-2018 гг., а также разности средних за последний и предыдущий периоды для июня, июля и августа приведены на рис.3.4.1 - 3.4.12.

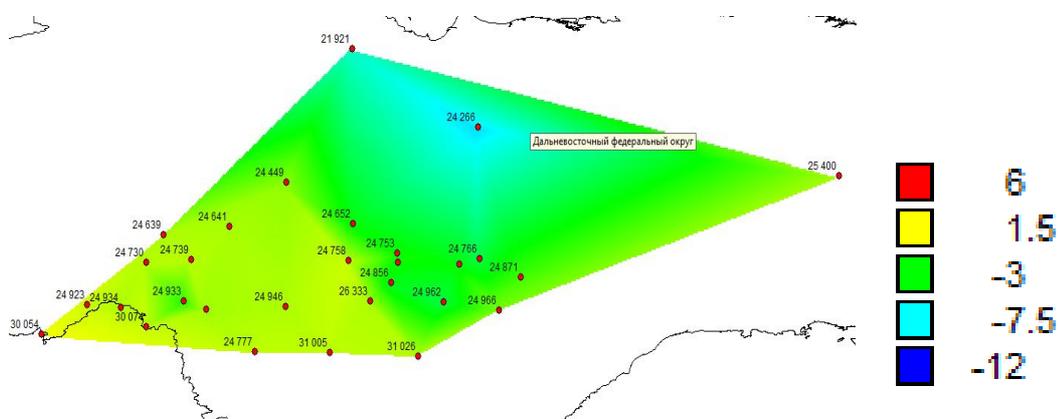


Рисунок 3.4.1. – Пространственная модель средних температур почвы на глубине 3,6 метров за весь период июня.

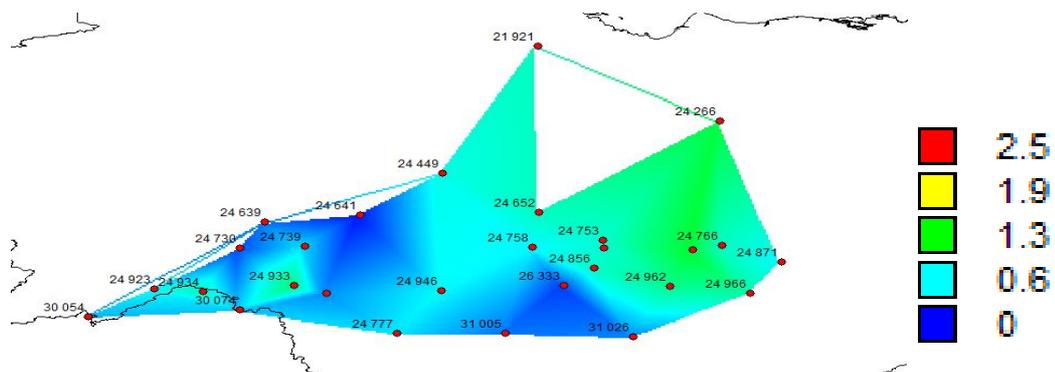


Рисунок 3.4.2. – Пространственная модель СКО температур почвы за весь период июня.

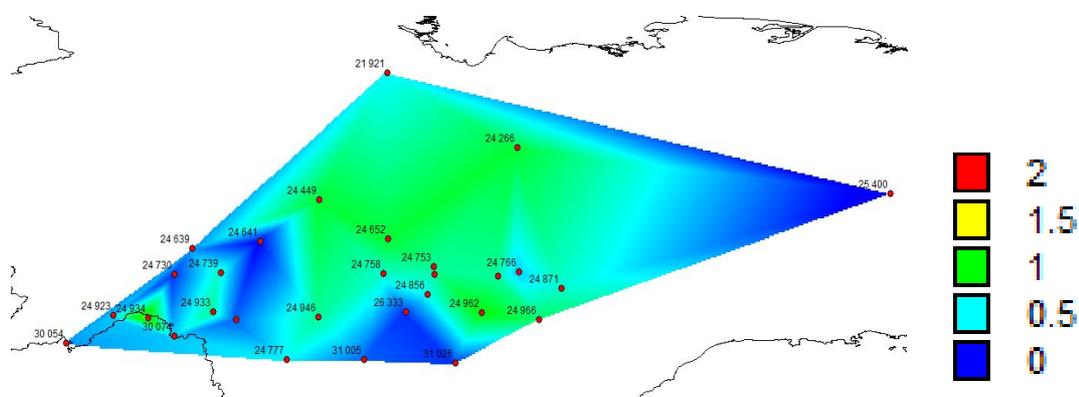


Рисунок 3.4.3. – Пространственная модель разницы температур почвы за последний период и период ВМО в июне

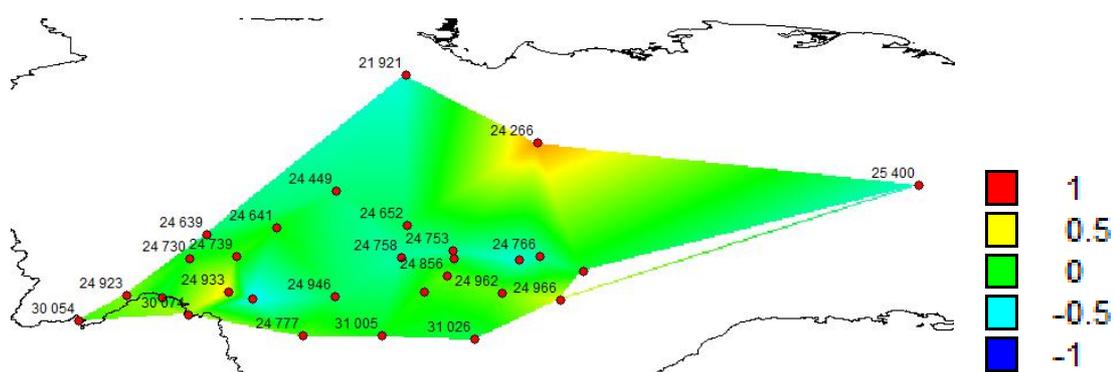


Рисунок 3.4.4. – Пространственная модель разницы СКО почвы за последний период и период ВМО в июне.

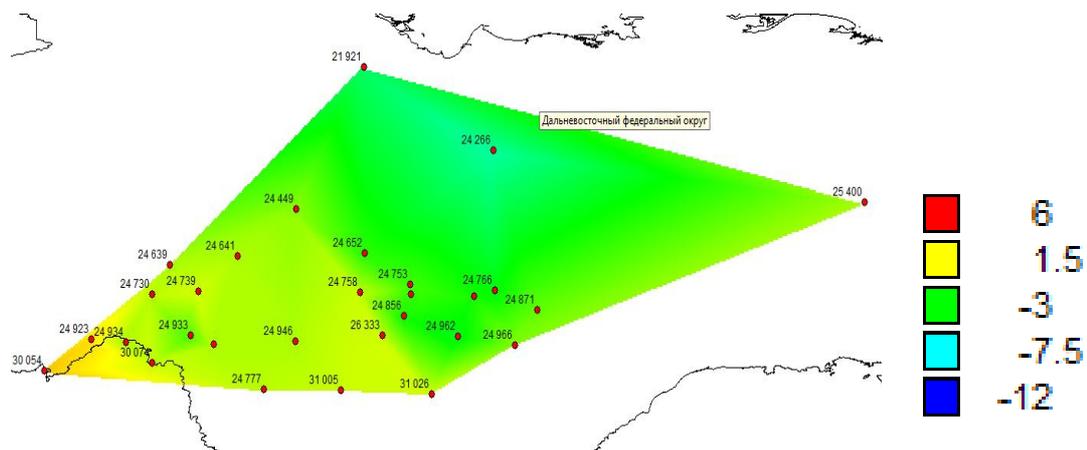


Рисунок 3.4.5. – Пространственная модель средних температур почвы на глубине 3,6 метров за весь период июля.

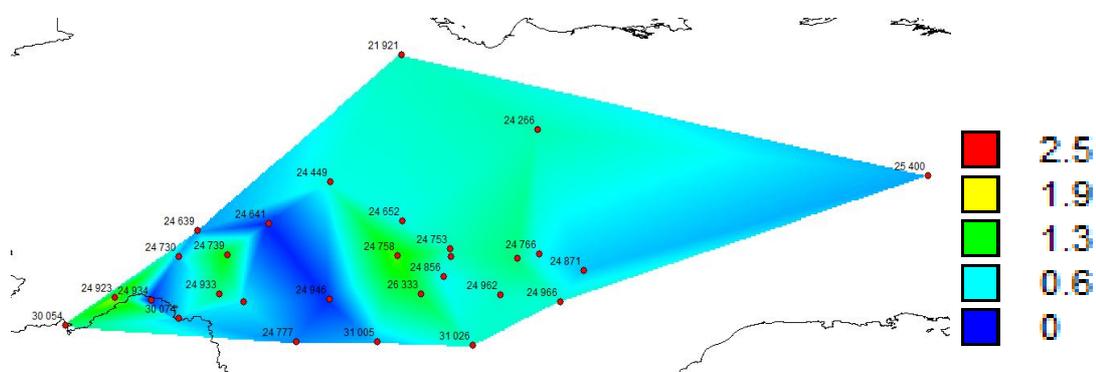


Рисунок 3.4.6. – Пространственная модель СКО температур почвы за весь период июля.

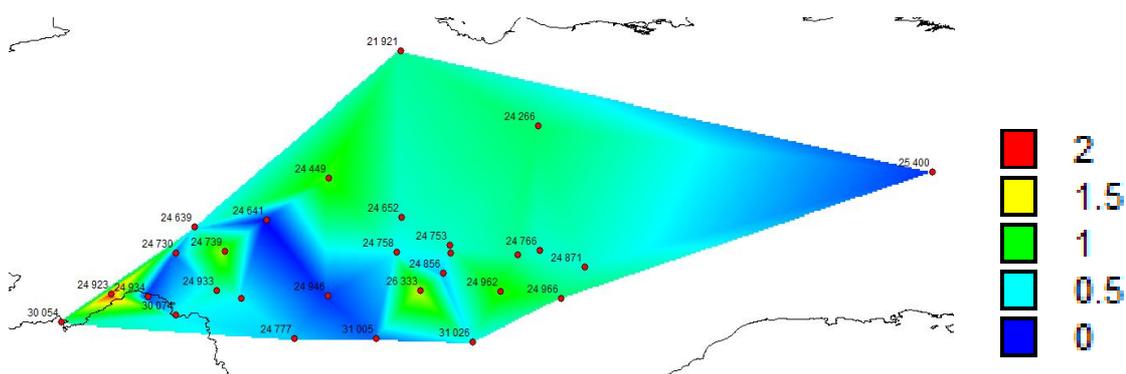


Рисунок 3.4.7. – Пространственная модель разницы температур почвы за последний период и период ВМО в июле

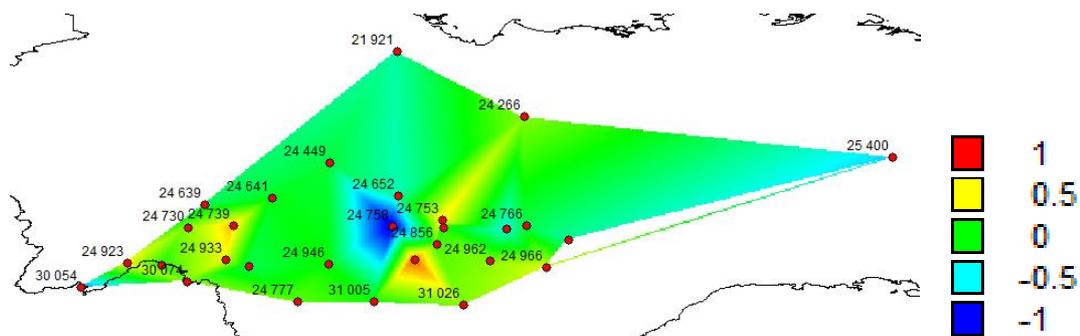


Рисунок 3.4.8. – Пространственная модель разницы СКО почвы за последний период и период ВМО в июле.

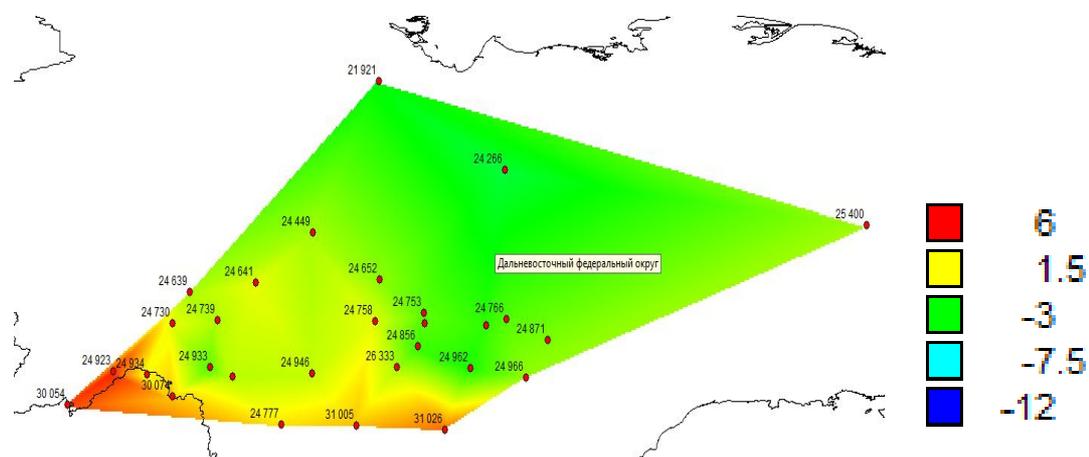


Рисунок 3.4.9. – Пространственная модель средних температур почвы на глубине 3,6 метров за весь период августа.

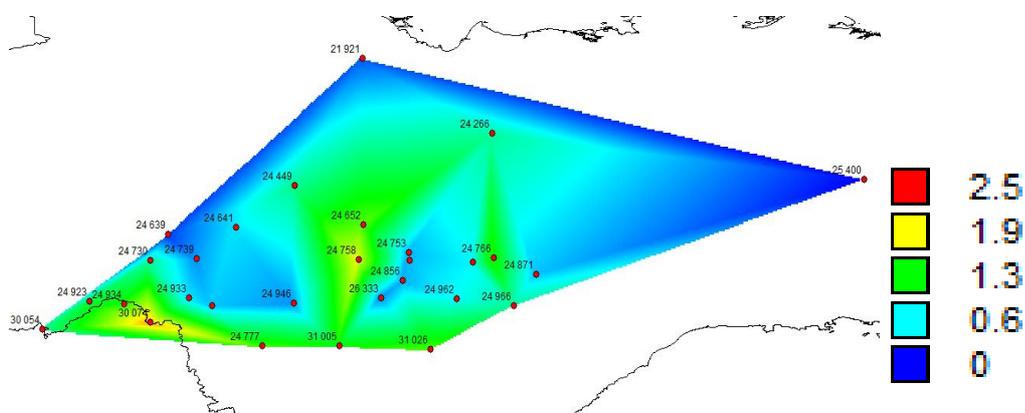


Рисунок 3.4.10. – Пространственная модель СКО температур почвы за весь период августа.

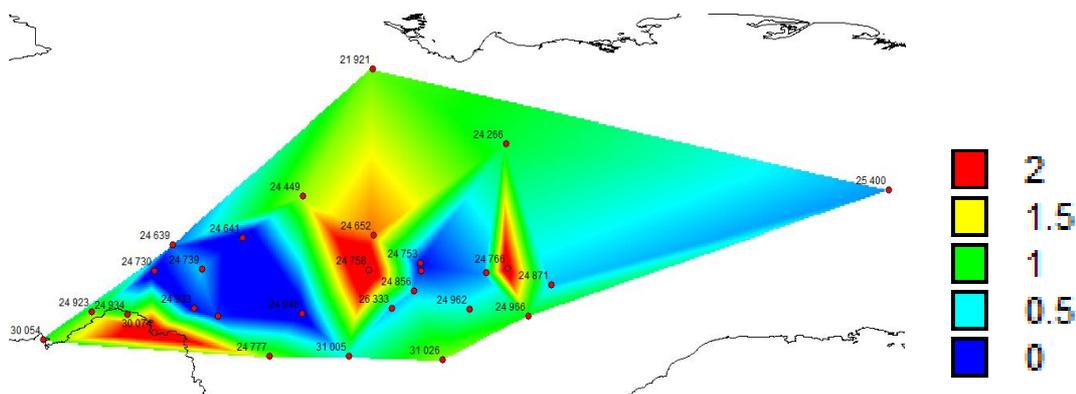


Рисунок 3.4.11. – Пространственная модель разницы температур почвы за последний период и период ВМО в августе.

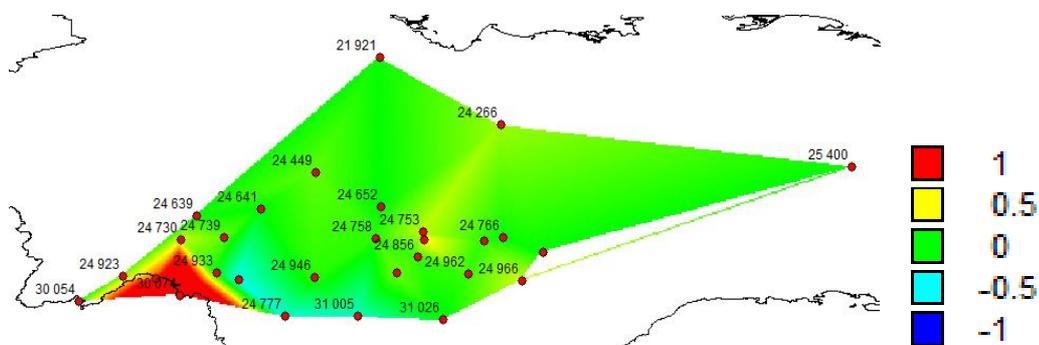


Рисунок 3.4.12. – Пространственная модель разницы СКО почвы за последний период и период ВМО в августе.

На представленных картах мы можем увидеть, что так же наиболее подвержена изменениям климата — почва центральной части Якутии, на Рис 3.4.11 она выделена красным цветом. Так же в августе можно заметить несколько станций на юго-западе, которые тоже оказались под влиянием потепления климата.

В северной части территории температура уже намного выше, чем в весенние месяцы, поэтому разница температур между двумя периодами уже существеннее.

3.5. Пространственные распределения климатических средних и СКО летних температур почвы (сентябрь, октябрь) за 3 разных периода

Пространственные распределения средних значений температур почвы и СКО за последний период 1991-2018 гг., а также разности средних за последний и предыдущий периоды для сентября и октября приведены на рис.3.5.1 - 3.5.8.

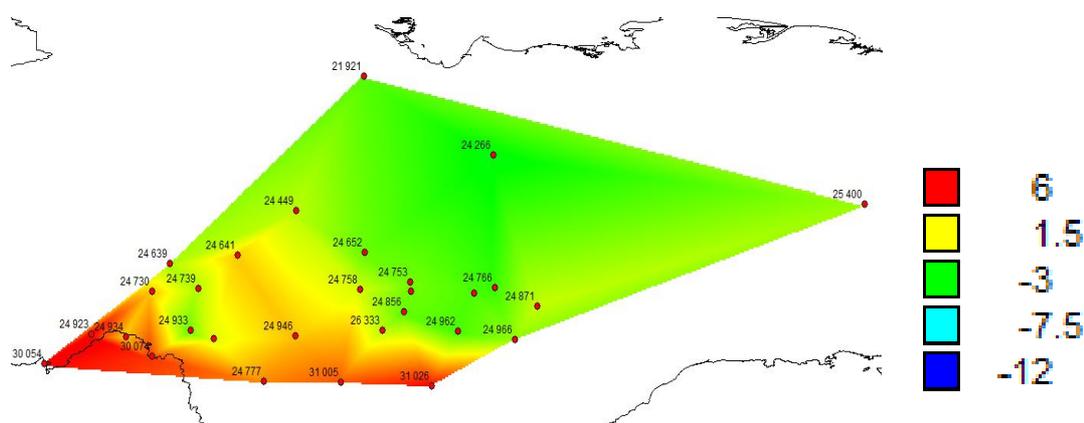


Рисунок 3.5.1. – Пространственная модель средних температур почвы на глубине 3,6 метров за весь период сентября.

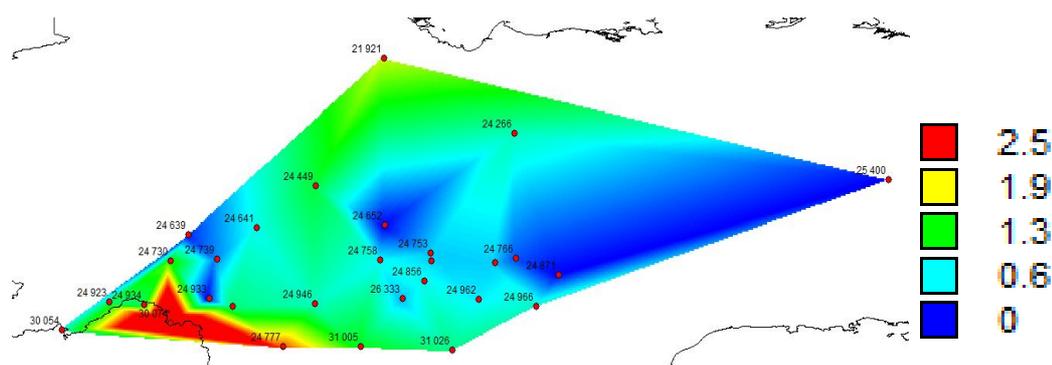


Рисунок 3.5.2. – Пространственная модель СКО температур почвы за весь период сентября.

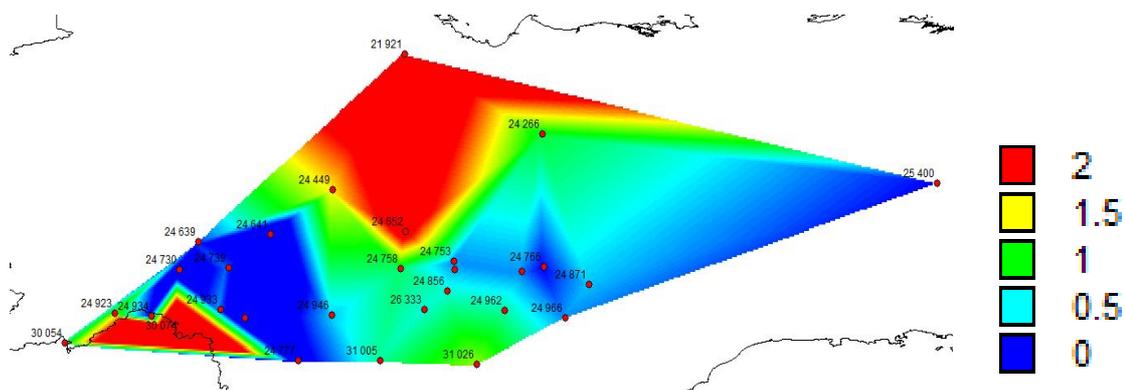


Рисунок 3.5.3. – Пространственная модель разницы температур почвы за последний период и период ВМО в сентябре.

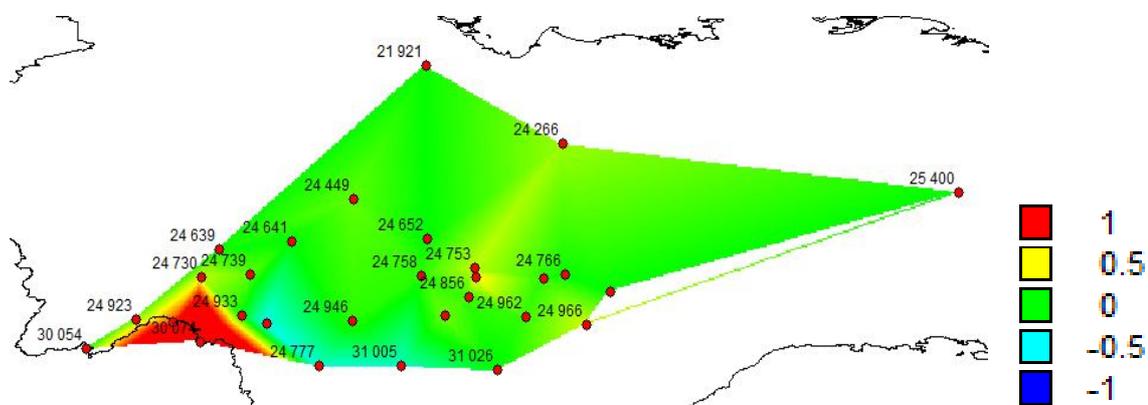


Рисунок 3.5.4. – Пространственная модель разницы СКО почвы за последний период и период ВМО в сентябре.

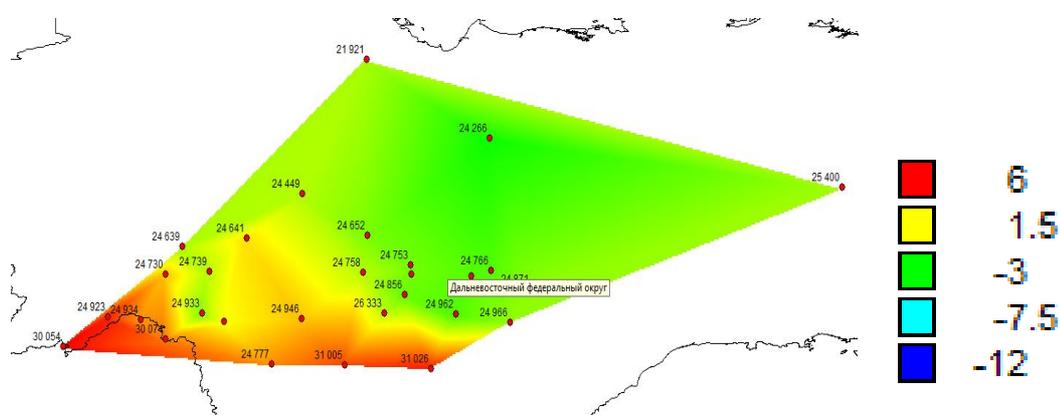


Рисунок 3.5.5. – Пространственная модель средних температур почвы на глубине 3,6 метров за весь период октября.

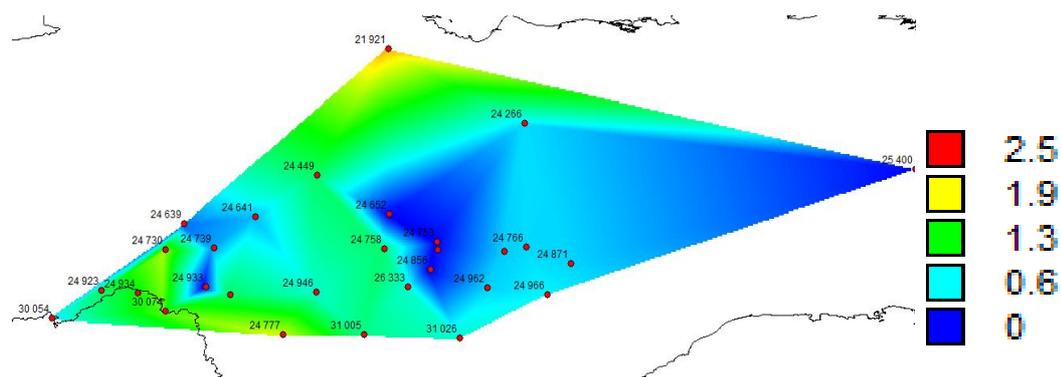


Рисунок 3.5.6. – Пространственная модель СКО температур почвы за весь период октября.

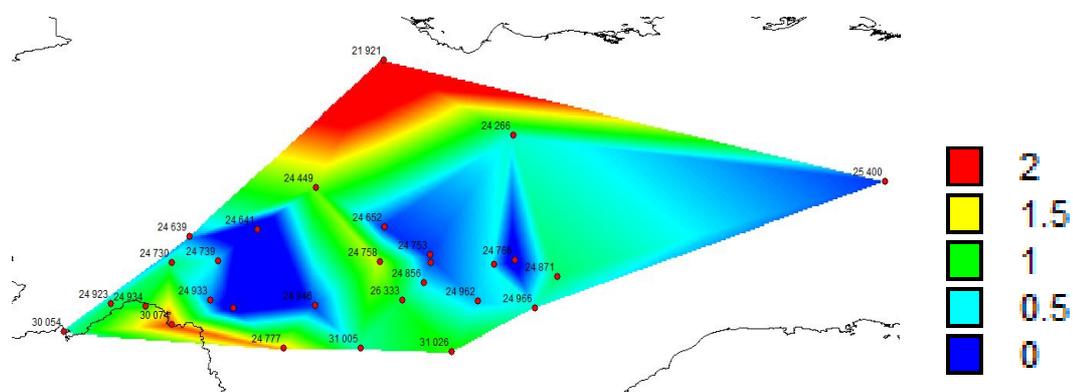


Рисунок 3.5.7. – Пространственная модель разницы температур почвы за последний период и период ВМО в октябре.

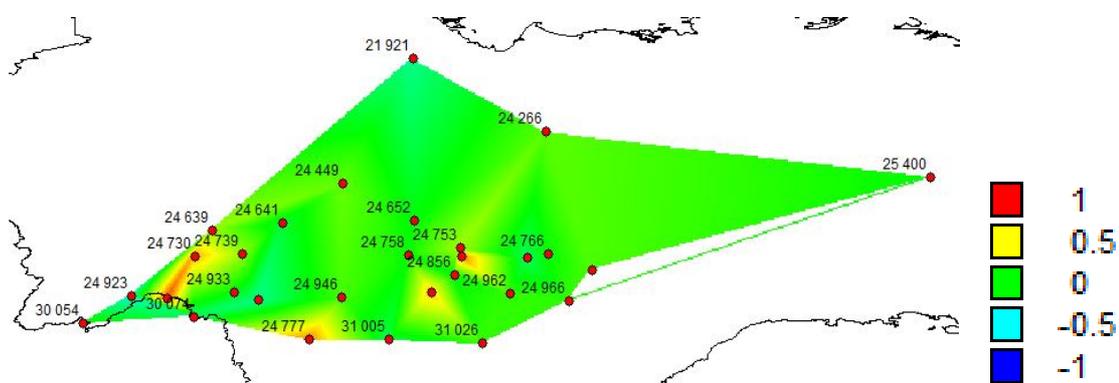


Рисунок 3.5.8. – Пространственная модель разницы СКО почвы за последний период и период ВМО в октябре.

В результате анализа карт, можно сделать вывод о том, что температура почвы в сентябре и октябре на северных станциях достигла своего максимума, а так же увеличилась разница температур между двумя периодами. На Рисунках 3.5.3. и 3.5.7. эта область выделена ярким красным цветом.

4. Оценка климатических изменений температур почвы

4.1. Методика и применяемые модели

Для того, чтобы ответить на вопрос есть ли климатические или какие-либо иные изменения по временному ряду, можно ограничиться самой простой моделью: случайные колебания + нестационарность среднего значения:

$$Y(t) = \varepsilon_i + Y_{cp}(t), \quad (4.1.1)$$

где $Y(t)$ – изменение климатической характеристики Y во времени t , ε_i – случайная составляющая, $Y_{cp}(t)$ - неслучайная составляющая или функция изменения среднего значения во времени.

Модель типа (4.1.1) является простой и предполагает, что колебания процессов межгодовых и десятилетних масштабов являются случайными, а сумма процессов столетнего масштаба (и других масштабов) и антропогенного воздействия проявляется в нестационарности среднего значения во времени [14].

На уровне рассмотрения простых моделей проявление изменений климата в многолетних временных рядах может быть двух основных видов:

- монотонные изменения в виде тренда или цикла,

- ступенчатые изменения, характеризующие переходы от одного стационарного состояния к другому.

Эти два вида климатических изменений отражают разные физические механизмы, действующие в климатической системе Земли. Трендовые или циклические изменения имеют место в слабо инерционной или равновесной системе, которая быстро откликается на внешние воздействия. Механизм ступенчатых изменений или триггерный механизм характеризует неравновесную систему, которая может компенсировать внешние воздействия и сопротивляться им до тех пор, пока эти воздействия не превышают порогового значения, после чего система быстро переходит на новый, обычно также квазистационарный, уровень. Стационарный временной ряд может быть частным случаем существования как равновесной, так и неравновесной систем. В первом случае это проявление случайных внешних воздействий, во втором – период стабильного состояния, пока величина внешнего воздействия не превысила критического порога. В данном случае нестационарность, проявляющаяся в виде тренда и в виде цикла, соответствует одной природе – равновесной. Фактически же можно считать, что тренд является частью цикла, т.к. бесконечных трендов в природе не существует и для нее характерны циклические колебания, что, например, отражено и в теории пульсирующей Вселенной. Ступенчатые изменения также являются проявлением циклических колебаний, но при особой функции циклов – ступенчатой, связанной с другим типом внутренней системы – инерционной.

В случае модели (4.1.1) процесс моделирования временных рядов включает три основные стадии:

- расчет параметров моделей;
- оценка эффективности нестационарных моделей по отношению к стационарной;
- оценка статистической значимости нестационарных моделей по отношению к стационарной.

Каждая из приведенных моделей аналитически представляется следующим образом. Прежде всего, базовая стационарная модель характеризуется неизменностью во времени основных параметров ряда (среднего значения и среднего квадратического отклонения), что выражается условиями:

$$S_r(t) = \text{const}, \quad \sigma(t) = \text{const}, \quad (4.1.2)$$

где S_r и σ – среднее значение ряда и среднее квадратическое отклонение, t – время.

Наиболее распространенной при исследовании климатических изменений в настоящее время является модель линейного тренда, которая представляет собой однофакторное регрессионное уравнение климатической характеристики (Y) от времени (t):

$$Y(t) = b_1 t + b_0, \quad (4.1.3)$$

где b_1 , b_0 – коэффициенты уравнения регрессии, определяемые методом наименьших квадратов (МНК):

Статистическая значимость модели линейного тренда оценивается по статистической значимости коэффициента b_1 или коэффициента корреляции R зависимости (4.1.3), который рассчитывается по формуле:

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - Y_{cp})(t_i - t_{cp})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (Y_i - Y_{cp})^2 \sum_{i=1}^n (t_i - t_{cp})^2}} \quad (4.1.4)$$

Статистическая значимость R определяется из условия $R \geq R^*$, где R^* - критическое значение коэффициента корреляции, определяемое по таблице при заданном числе степеней свободы (ν) и уровне значимости (α), где $\nu = n - 2$, n - объем ряда, $\alpha = 5\%$.

Еще одним классом модели временного ряда, которая пока еще широко не распространена в климатологии, является модель ступенчатых изменений. Эта модель аналогична двум (или нескольким) стационарным моделям для двух (или нескольких) частей временного ряда, что характеризуется неизменностью во времени среднего значения и среднего квадратического отклонения для каждой части ряда:

$$Sr_1(t_1) = \text{const1}, \quad \sigma_1(t_1) = \text{const1},$$

$$Sr_2(t_2) = \text{const2}, \quad \sigma_2(t_2) = \text{const2}, \quad (4.1.5)$$

где Sr_1, σ_1 - среднее значение и среднее квадратическое отклонение первой части ряда при изменении t_1 от 1 до t_n ,

Sr_2, σ_2 - среднее значение и среднее квадратическое отклонение второй части ряда при изменении t_2 от t_n+1 до n , n - объем ряда.

Момент ступенчатых изменений (t_n) определяется визуально или на основе дополнительной информации о факторе и дате нарушения стационарности (например, изменение индекса атмосферной циркуляции, даты смены регистрирующих приборов), а также может быть определен

итерациями при достижении минимального значения сумм квадратов отклонений двух частей временного ряда:

$$\sigma_1^2(n_1-1)+\sigma_2^2(n_2-1)=\min, \quad (4.1.6)$$

где n_1, n_2 – объемы каждой из двух частей временного ряда.

При этом следует задать минимальный объем первой части ряда, например, $n_1=10$ для которого $n_2 = n - n_1$ и затем последовательно увеличивать n_1 до $m=n-10$ при котором $n_2=10$, т.е. $n_1=11, 12, \dots, m$. Иначе эту процедуру можно назвать методом расширяющегося окна

Следующим шагом является оценка эффективности нестационарных моделей по отношению к стационарной модели. Наиболее распространенной в регрессионном анализе мерой оценки эффективности любой модели является ее остаточная дисперсия, т.е. та доля исходной вариации, которую не удалось объяснить с помощью модели и чем она меньше и больше отличается от исходной вариации, тем модель лучше [2]. Классическая формула для расчета стандартного отклонения остатков (σ_ε) имеет следующий вид:

$$\sigma_\varepsilon = \sqrt{\frac{\sum_1^n (\varepsilon_i - \varepsilon_{cp})^2}{(n-1)}}, \quad (4.1.7)$$

где ε_i – остатки, вычисляемые как разность между фактическими (Y_i) и полученными по модели (Y^*_i) значениями: $\varepsilon_i=Y_i-Y^*_i$, ε_{cp} – среднее значение остатков, которое при их несмещенности, что получается при расчета по МНК, равно нулю: $\varepsilon_{cp}=0$, n – объем выборки.

Обычно среднее квадратическое отклонение или дисперсия остатков сравниваются с аналогичными характеристиками выборки и по этому соотношению определяется какая доля исходного рассеяния не объяснена моделью. Наиболее наглядно это выражено в следующем известном соотношении:

$$\sigma_{\varepsilon}^2 / \sigma_Y^2 = 1 - R^2, \quad (4.1.8)$$

где σ_{ε}^2 , σ_Y^2 – дисперсия остатков и дисперсия выборки (временного ряда) соответственно, R – коэффициент корреляции или R^2 – коэффициент детерминации для построенной модели.

Для временного ряда базовой или исходной моделью является модель стационарной выборки, т.е. случайных отклонений относительно среднего значения. Тогда стандарт остатков этой модели равен стандартному отклонению временного ряда, т.е. σ_Y . Поэтому, когда закономерности во временном ряду полностью отсутствуют, он представим в виде постоянного среднего, а необъясненная часть исходного рассеяния равна исходной вариации σ_Y .

Для модели линейного тренда и для гармонической модели стандартное отклонение остатков, вычисляется по формуле:

$$\sigma_{\varepsilon} = \sigma_y \sqrt{1 - R^2}, \quad (4.1.8)$$

где σ_y – стандартное отклонение исходного ряда (модель стационарного среднего); σ_{ε} – стандартное отклонение остатков относительно модели линейного тренда или гармонической модели; R – коэффициент корреляции уравнения линейного тренда (4.1.3).

Для модели ступенчатых изменений стандарт остатков вычисляется по информации за два интервала времени по формуле:

$$\sigma_{\text{ступ}} = \sqrt{\frac{\sigma_1^2 n_1 + \sigma_2^2 n_2}{(n_1 + n_2 - 1)}} \quad (4.1.9)$$

или для трех отрезков временного ряда по формуле:

$$\sigma_{\text{ступ}} = \sqrt{\frac{\sigma_1^2 n_1 + \sigma_2^2 n_2 + \sigma_3^2 n_3}{(n_1 + n_2 + n_3 - 1)}} \quad , \quad (4.1.10)$$

где $\sigma_{\text{ступ}}$ – стандартное отклонение остатков относительно модели ступенчатых изменений; $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ – стандартные отклонения отрезков временного ряда, на которые разбивается ряд наблюдений по дате ступенчатых изменений; n_1, n_2, n_3 – объемы стационарных частей ряда наблюдений в годах.

Для количественной оценки отличий модели тренда, модели ступенчатых изменений и гармонической модели от модели стационарного среднего рассчитываются относительные погрешности или отклонения от стационарной модели по формулам:

$$\Delta_{\text{тр}} = \left(\frac{\sigma_y - \sigma_\varepsilon}{\sigma_y} \right) 100\%, \quad (4.1.11)$$

$$\Delta_{\text{ступ}} = \left(\frac{\sigma_y - \sigma_{\text{ступ}}}{\sigma_y} \right) 100\%, \quad (4.1.12)$$

где $\Delta_{\text{тр}}, \Delta_{\text{гар}}, \Delta_{\text{ступ}}$ – относительные погрешности или отличия (в %) модели тренда, гармонической модели и модели ступенчатых изменений от

модели стационарной выборки; $\sigma_{\text{гар}}$ – стандартное отклонение остатков относительно гармонической модели.

В первом приближении можно принять, что любая модель будет эффективнее модели стационарной выборки, если $\Delta \geq 10\%$, т.е. отличие между моделями гарантированно превышает погрешность процесса или погрешность рассматриваемой характеристики.

Следующим шагом является оценка статистической значимости нестационарных моделей по отношению к стационарной. Полученные относительные отклонения моделей $\Delta\%$ от стационарной могут и превышать 10%, но насколько это отличие является не только достаточным, но и статистически значимым можно установить только на основе статистического критерия. Для этой цели достаточно эффективным является известный критерий Фишера для оценки однородности дисперсий и если дисперсии неоднородны, то данная нестационарная модель статистически значимо отличается от модели стационарной выборки. Статистика критерия Фишера для каждой из двух конкурирующих моделей по отношению к модели стационарной выборки вычисляются по формулам:

$$F_{TP} = \frac{\sigma^2_Y}{\sigma^2_\varepsilon} \quad (4.1.13)$$

$$F_{СТУП} = \frac{\sigma^2_Y}{\sigma^2_{\text{ступ}}} \quad (4.1.14)$$

В числителе всегда будет дисперсия исходного ряда наблюдений, так как она является наибольшей или, по крайней мере, равна остаточной дисперсии конкурирующей модели. В случае если расчетное значение статистики Фишера оказывается больше критического, то дисперсии двух моделей имеют статистически значимое различие и соответствующая модель (тренда, гармоническая или ступенчатых изменений) статистически эффективнее, чем модель стационарной выборки.

На основе критических значений статистик Фишера можно определить и критическое значение $\Delta_{кр}$ %:

$$\Delta_{кр} = \left(1 - \frac{1}{\sqrt{F^*}}\right) * 100\% \quad , \quad (4.1.15)$$

где: F^* - критическое значение статистики критерия Фишера при уровне значимости α и степенях свободы ν_1 и ν_2 , где $\nu_1 = n_1 - 1$ и $\nu_2 = n_2 - 1$, а n_1 , n_2 – объемы выборок.

Принимая, что $\alpha = 5\%$, а временной ряд один и тот же, т.е. $n_1 = n_2 = n$ и для средней продолжительности ряда равной $n = 61$ год из таблиц критических значений получим $F^* = 1.53$ и из (10.29) $\Delta_{кр} = 19.4\%$. Если же продолжительность ряда равна $n = 31$ год, то $F^* = 1.84$ и $\Delta_{кр} = 26.5\%$, если $n = 120$, то $F^* = 1.35$ и $\Delta_{кр} = 13.8\%$, и т.д. Можно также найти, что $\Delta_{кр} = 10\%$ соответствует $F^* = 1.235$ и n примерно равно 500.

4.2. Оценка климатических изменений весенних температур почвы

В соответствии с теоретическими положениями п.4.1 было выполнено статистическое моделирование временных рядов средних температур апреля и мая и рассчитаны показатели нестационарности для двух видов нестационарных моделей: линейного тренда ($\Delta_{тр}$, %) и ступенчатых изменений ($\Delta_{ст}$, %), соответствующие им расчетные значения статистик критерия Фишера ($F_{тр}$ и $F_{ст}$), год установленного ступенчатого перехода от одного среднего значения к другому ($T_{ст}$), год начала и окончания наблюдений ($T_{нач}$ и $T_{к}$), продолжительность ряда наблюдений в годах (n) коэффициент корреляции уравнения линейного тренда ($R_{тр}$).

Результаты расчетов за весь период наблюдений, который для большинства рядов после применения процедуры восстановления стал в среднем 60 лет, приведены в табл.4.1.1. Пунктиром в таблицах выделены

ситуации эффективных нестационарных моделей при $\Delta > 10\%$ и статистически значимых расчетных статистик критерия Фишера и коэффициента корреляции линейного тренда.

Таблица 4.1.1. - Результаты оценки эффективности нестационарных моделей для многолетних рядов температур почвы апреля.

код	$\Delta_{тр}, \%$	$\Delta_{ст}, \%$	$F_{тр}$	$F_{ст}$	$T_{ст}$	$T_{нач}$	$T_{к}$	n	$R_{тр}$
21921	2.7	5.6	1.06	1.12	1990	1978	2013	21	0.23
24266	22	17.4	1.64	1.47	1990	1974	2018	35	0.63
24449	59.8	54.9	6.18	4.92	1995	1976	2018	34	0.92
24639	25.6	25.2	1.81	1.79	1987	1962	2018	43	0.67
24641	0.1	7	1	1.16	1994	1963	2018	38	0.05
24652	25.7	36.3	1.81	2.47	1988	1973	2012	32	0.67
24730	10	8.9	1.23	1.21	1979	1961	2018	50	0.44
24739	10.8	22.9	1.26	1.68	1992	1973	2015	32	0.45
24753	11.7	13.2	1.28	1.33	1989	1974	2015	32	0.47
24758	11.5	20.1	1.28	1.57	1986	1974	2018	40	0.47
24766	27.4	22.9	1.9	1.68	1989	1974	2015	25	0.69
24768	4.8	6.2	1.1	1.14	1982	1961	2016	43	0.3
24777	1.1	8.5	1.02	1.2	1986	1961	2018	42	0.15
24856	16.6	15.3	1.44	1.4	2004	1961	2015	50	0.55
24871	2.4	11.4	1.05	1.27	1989	1961	2018	46	0.22
24923	10.5	15.1	1.25	1.39	2002	1962	2018	52	0.45
24933	8	15	1.18	1.38	2002	1989	2018	26	0.39
24934	13.7	17.1	1.34	1.46	1983	1961	2016	33	0.51
24944	23.5	14.7	1.71	1.37	1983	1961	2018	46	0.64
24946	1.7	4.6	1.03	1.1	1994	1961	2018	45	0.18
24959	8	29.9	1.18	2.04	1979	1966	2018	48	0.39
24962	23.9	22.6	1.73	1.67	1997	1961	2018	29	0.65
24966	6.9	22.2	1.15	1.65	2004	1961	2018	41	0.37
25400	0.9	6.1	1.02	1.13	1984	1961	2018	45	0.14
26333	10.1	21.8	1.24	1.64	1993	1974	2014	34	0.44
30054	5.6	14.5	1.12	1.37	2002	1961	2018	55	0.33
30074	35.4	33.7	2.4	2.27	1996	1961	2009	35	0.76
31005	23.9	21.8	1.73	1.64	1997	1961	2018	55	0.65
31026	13.1	14.9	1.33	1.38	1998	1974	2018	42	0.5
$\Delta_{тр, среднее} = 15,2\%$					$\Delta_{ст, среднее} = 19,7\%$				

Таблица 4.1.1. - Результаты оценки эффективности нестационарных моделей для многолетних рядов температур почвы мая.

код	$\Delta_{тр}, \%$	$\Delta_{ст}, \%$	$F_{тр}$	$F_{ст}$	$T_{ст}$	$T_{нач}$	$T_{к}$	n	$R_{тр}$
21921	48	0	3.7	1	1990	1976	2002	17	0.85
24266	31.6	34.2	2.14	2.31	2004	1974	2018	37	0.73
24449	37.5	35.9	2.56	2.43	1989	1974	2018	38	0.78
24639	33.5	36.7	2.26	2.5	1985	1974	2018	39	0.75
24641	2.8	10.1	1.06	1.24	1996	1963	2018	32	0.23
24652	40.2	61.5	2.8	6.73	1987	1974	1998	23	0.8
24730	4	61.8	1.09	6.85	1971	2002	2018	56	0.28
24739	6.6	17.1	1.15	1.46	1993	1961	2018	48	0.36
24753	16.3	24.6	1.43	1.76	1989	1974	2007	31	0.55
24758	22.9	28.7	1.68	1.97	1991	1975	2018	42	0.64
24766	20	7.9	1.56	1.18	1987	1961	2010	24	0.6
24768	5.1	9.2	1.11	1.21	1982	1961	2016	42	0.32
24777	18.9	16.1	1.52	1.42	2008	1961	2018	45	0.59
24856	18.3	19.4	1.5	1.54	2004	1961	2017	50	0.58
24871	2.2	12.9	1.04	1.32	1989	1961	2018	47	0.21
24923	14.8	30	1.38	2.04	2002	1961	2018	49	0.52
24933	0.2	10.5	1	1.25	2002	1961	2018	29	0.07
24934	40.8	50.1	2.86	4.02	1989	1961	2018	36	0.81
24944	21	16.2	1.6	1.42	1989	1961	2018	48	0.61
24946	27	53.2	1.88	4.57	1989	1961	2018	41	0.68
24959	39.2	38.5	2.7	2.65	1979	1961	2018	53	0.79
24962	37.6	42.5	2.57	3.03	1997	1961	2017	29	0.78
24966	3	5.5	1.06	1.12	1991	1961	2017	37	0.24
25400	17.7	25.6	1.48	1.81	1996	1961	2017	44	0.57
26333	29	47.5	1.98	3.62	2007	1962	2018	49	0.7
30054	6.5	18	1.14	1.49	2002	1961	2018	55	0.35
30074	7.6	15	1.17	1.38	1997	1961	2018	45	0.38
31005	22.6	18.9	1.67	1.52	1982	1961	2018	53	0.63
31026	0.6	6.8	1.01	1.15	2001	1961	2018	46	0.11

Анализ полученных результатов свидетельствует о том, что в апреле к нестационарным моделям как линейного тренда, так и ступенчатых изменений можно отнести 26 рядов из 29 или 90% при $\Delta > 10\%$. А если учесть статистическую значимость по критерию Фишера, то нестационарными по модели линейного тренда будут всего 9 рядов (31%) и по модели ступенчатых изменений - 12 рядов (41%). При оценке

статистической значимости коэффициента корреляции модели линейного тренда статистически значимыми являются 22 коэффициента или примерно 76% из всех рядов нестационарны. Также из данных таблицы следует, что среднее значение показателя нестационарности для модели линейного тренда 15,2%, а для модели ступенчатых изменений – 19,7%, что свидетельствует о большей эффективности модели ступенчатых изменений при аппроксимации временных рядов.

3 модели линейного тренда и 3 модели стационарного тренда являются статистически не значимыми, в мае — 7 моделей линейного тренда и 11 ступенчатого т.к. статистически не значимы коэффициенты корреляции этих зависимостей. Все коэффициенты корреляции являются положительными, что свидетельствует об общем росте температур на всех станциях. Если рассматривать эффективность на основе условия $\Delta > 10\%$, то эффективными в апреле будут 18 моделей линейного тренда (62% от общего числа рядов) и 19 моделей ступенчатых изменений (65,5%), а в мае — 19 моделей линейного тренда (65,5%) и 25 стационарного (86,2%). Поэтому можно сделать вывод о том, что нестационарные модели ступенчатых изменений более эффективны, чем модели линейного тренда, т.к. их количество больше. Стоит так же отметить, что дата ступенчатого роста температур относится в большинстве случаев к 1990-м годам вне зависимости от рассматриваемого начала рядов наблюдений. Примеры многолетних нестационарных рядов приведены на Рисунках 4.1.1 и 4.1.2.

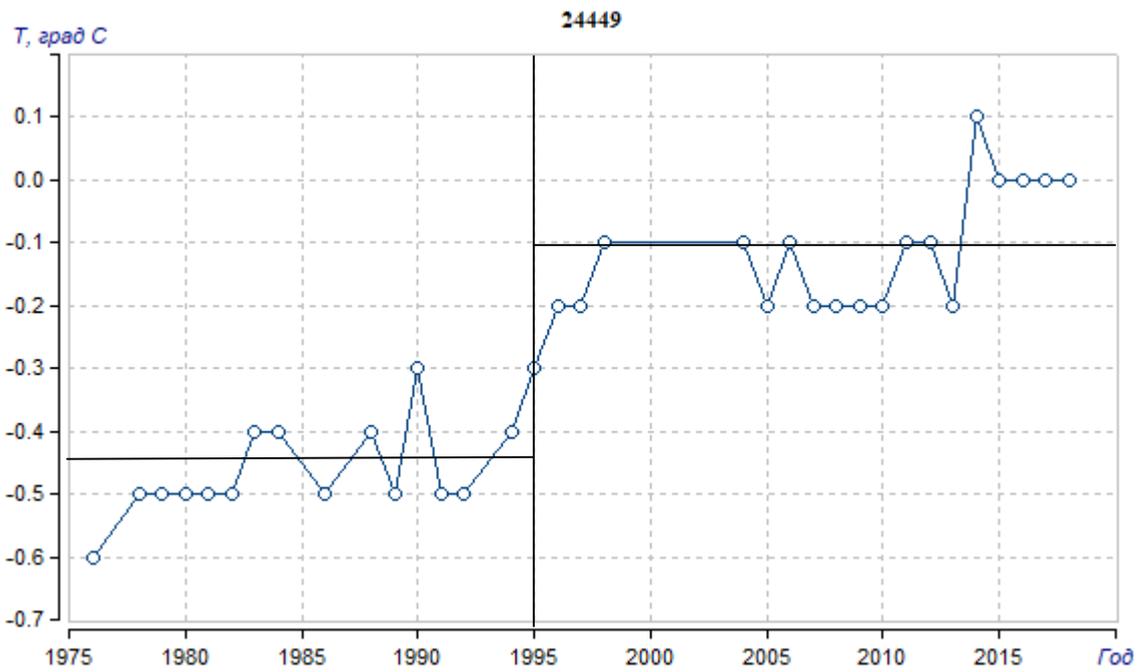


Рисунок 4.1.1. – Многолетний нестационарный ряд температур почвы апреля на метеостанции 24449.

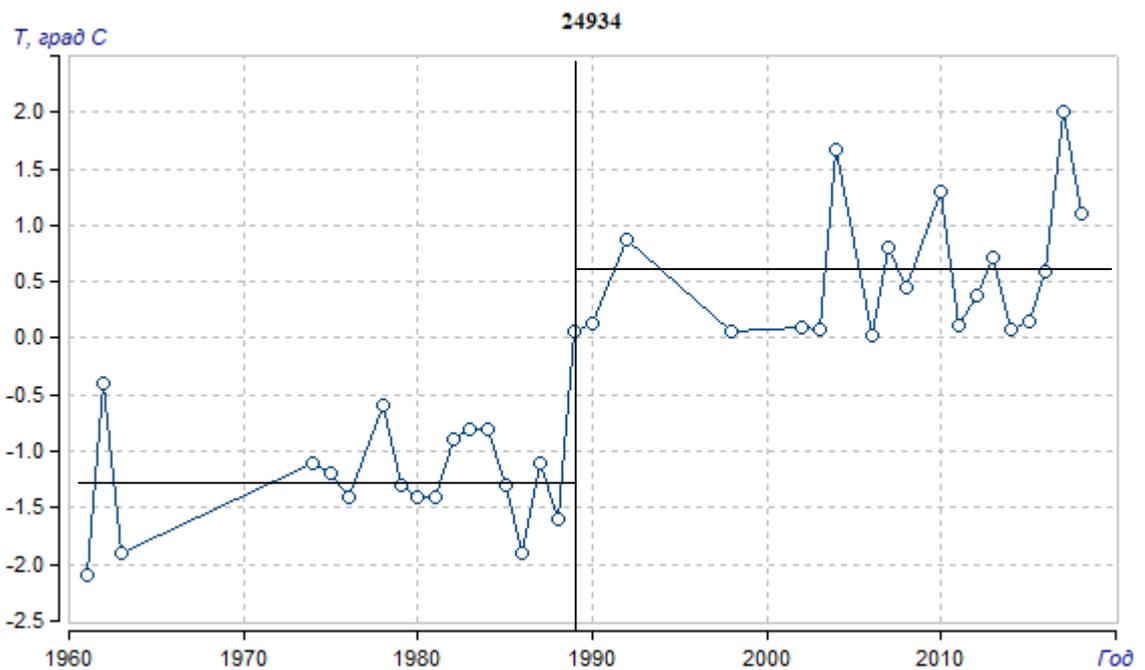


Рисунок 4.1.2. – Многолетний нестационарный ряд температур почвы мая на метеостанции 24934.

Как следует из рисунков, модели временных рядов являются нестационарными и нестационарность имеет вид ступенчатого роста средних значений в конце 1980-х в начале 1990-х годов и в некоторых случаях при этом растет и дисперсия

4.2. Оценка климатических изменений летних температур почвы.

Результаты оценки эффективности нестационарных моделей температур почвы летних месяцев приведены в табл.4.2.1 – 4.2.3.

Таблица 4.2.1. – Результаты оценки эффективности нестационарных моделей для многолетних рядов температур июня.

код	$\Delta_{тр},\%$	$\Delta_{ст},\%$	$F_{тр}$	$F_{ст}$	$T_{ст}$	$T_{нач}$	$T_{к}$	n	$R_{тр}$
21921	3.8	10.9	1.08	1.26	1989	1961	2012	25	0.27
24266	28.5	46.7	1.96	3.52	1989	1962	2018	41	0.7
24449	0.3	7.7	1.01	1.17	1994	1961	2018	44	0.08
24639	5	3.8	1.11	1.08	1986	1961	2018	46	0.31
24641	9	5.2	1.21	1.11	1982	1961	2018	45	-0.41
24652	0.6	6	1.01	1.13	1994	1961	2017	33	0.11
24730	16.4	14.5	1.43	1.37	1980	1961	2018	49	0.55
24739	3.6	12.3	1.08	1.3	1981	1961	2018	49	-0.27
24753	0	1.5	1	1.03	1998	1961	2017	36	0.03
24758	0.1	3.4	1	1.07	1990	1961	2018	49	0.04
24766	3.1	0.5	1.06	1.01	1984	1961	1997	22	-0.25
24768	10.4	10.8	1.24	1.26	1982	1961	2016	43	0.44
24777	13	14.5	1.32	1.37	2005	1961	2018	50	0.49
24856	2.2	11.6	1.05	1.28	1979	1961	2012	50	0.21
24871	4.7	17.1	1.1	1.46	1989	1961	2018	47	0.3
24923	0.2	6	1	1.13	1999	1961	2018	45	0.06
24933	5.7	11.5	1.12	1.28	1991	1961	2017	32	-0.33
24934	41.4	42.5	2.91	3.02	1992	1961	2017	36	0.81
24944	3.8	3.5	1.08	1.07	1998	1961	2018	46	0.27
24946	12.3	26.4	1.3	1.85	1989	1961	2012	35	0.48
24959	33.4	31.2	2.26	2.11	1979	1961	2018	54	0.75
24962	4.2	9.7	1.09	1.23	2008	1961	2018	43	-0.29
24966	1.9	19.3	1.04	1.54	2005	1961	2018	41	0.19
25400	0.1	4.9	1	1.11	1990	1961	2017	43	-0.05
26333	1.1	1.5	1.02	1.03	1979	1961	2018	50	-0.15
30054	0.6	2.3	1.01	1.05	1989	1961	2018	55	0.11
30074	10.5	20.1	1.25	1.57	1997	1961	2018	45	0.45

31005	12.6	13.4	1.31	1.33	1997	1961	2018	52	0.49
31026	0.6	6.8	1.01	1.15	1961	2018	2018	46	0.11

Таблица 4.2.2. – Результаты оценки эффективности нестационарных моделей для многолетних рядов температур июля.

КОД	$\Delta_{тр}, \%$	$\Delta_{ст}, \%$	$F_{тр}$	$F_{ст}$	$T_{ст}$	$T_{нач}$	$T_{к}$	n	$R_{тр}$
21921	65.2	50.6	8.28	4.1	1990	1961	2018	27	0.94
24266	27.9	47.6	1.92	3.64	2005	1961	2018	40	0.69
24449	37.5	46.3	2.56	3.47	1996	1961	2018	43	0.78
24639	36.7	43.6	2.5	3.14	1991	1961	2018	40	0.77
24641	0.1	5.9	1	1.13	1988	1961	2018	44	0.05
24652	25.3	35.8	1.79	2.43	1989	1961	2012	32	0.67
24730	9.2	19.8	1.21	1.55	2007	1961	2018	48	0.42
24739	22.8	36.4	1.68	2.47	2007	1961	2018	47	0.64
24753	2.1	3.2	1.04	1.07	1983	1961	2018	35	-0.21
24758	0.6	2.8	1.01	1.06	1985	1961	2018	49	0.11
24766	44.3	34	3.22	2.3	1991	1961	2018	28	0.83
24768	12.1	10.8	1.29	1.26	1982	1961	2016	42	0.48
24777	23.4	33	1.71	2.23	2004	1961	2018	46	0.64
24856	2.1	14.2	1.04	1.36	2002	1961	2012	50	0.21
24871	7.7	19.1	1.17	1.53	1989	1961	2018	44	0.39
24923	33.5	32.8	2.26	2.21	2002	1961	2018	52	0.75
24933	18.9	30.4	1.52	2.07	2002	1962	2018	30	0.59
24934	21.1	36	1.61	2.44	1988	1961	2018	39	0.61
24944	30.5	20.9	2.07	1.6	2006	1961	2018	42	0.72
24946	12.3	13.9	1.3	1.35	1989	1961	2008	34	0.48
24959	33	29.7	2.23	2.02	1979	1961	2018	53	0.74
24962	48.1	41.3	3.71	2.91	1997	1961	2018	31	0.85
24966	11.4	23.1	1.27	1.69	2006	1961	2018	40	0.46
25400	0.1	2.9	1	1.06	2007	1961	2018	43	-0.04
26333	29.1	53.2	1.99	4.58	2004	1961	2018	47	0.71
30054	8.2	17	1.19	1.45	1975	1961	2018	54	0.4
30074	18.5	19.6	1.51	1.55	1997	1961	2018	41	0.58
31005	6.4	9.2	1.14	1.21	1982	1961	2018	44	0.35
31026	7.5	12.3	1.17	1.3	2005	1961	2018	48	0.38

Таблица 4.2.2. – Результаты оценки эффективности нестационарных моделей для многолетних рядов температур августа.

код	$\Delta_{тр}, \%$	$\Delta_{ст}, \%$	$F_{тр}$	$F_{ст}$	$T_{ст}$	$T_{нач}$	$T_{к}$	n	$R_{тр}$
21921	55.8	44.4	5.12	3.23	1989	1961	2018	38	0.9
24266	37.1	55.1	2.53	4.96	2005	1961	2018	42	0.78
24449	37.6	41.5	2.57	2.92	1996	1961	2018	44	0.78
24639	20.3	25.3	1.58	1.79	1986	1961	2018	44	0.6
24641	1.4	4.9	1.03	1.11	1992	1961	2018	46	0.17
24652	19.6	39.3	1.55	2.71	1996	1961	2018	36	0.59
24730	0.4	13.7	1.01	1.34	2008	1961	2018	43	0.09
24739	21	22.8	1.6	1.68	2005	1961	2018	49	0.61
24753	0.1	1.7	1	1.04	1995	1973	2011	31	0.04
24758	46.6	34.6	3.51	2.34	1995	1961	2018	40	0.85
24766	54.9	60.2	4.93	6.3	1994	1961	2018	31	0.89
24768	14.1	10.2	1.35	1.24	1989	1961	2016	41	0.51
24777	25.7	44.4	1.81	3.24	2005	1961	2018	44	0.67
24856	1.7	23.4	1.03	1.7	2002	1961	2012	49	0.18
24871	29	40	1.98	2.78	1993	1961	2018	45	0.7
24923	29.9	28.9	2.04	1.98	2000	1961	2018	54	0.71
24933	8.9	20.3	1.2	1.57	2001	1973	2012	25	0.41
24934	0.9	9.2	1.02	1.21	1991	1961	2018	38	0.14
24944	7	8.5	1.16	1.19	2007	1961	2018	45	0.37
24946	2.7	7.6	1.06	1.17	1990	1961	2018	41	0.23
24959	7	28.5	1.16	1.95	1989	1961	2018	53	0.37
24962	41.4	44.1	2.91	3.2	2008	1961	2018	30	0.81
24966	25.3	53.1	1.79	4.55	2004	1961	2018	41	0.66
25400	4.9	10	1.1	1.23	1984	1961	2018	43	0.31
26333	17.4	26.6	1.47	1.85	1992	1961	2016	32	0.56
30054	13.1	17.8	1.32	1.48	1978	1961	2018	54	0.49
30074	36.4	33	2.47	2.23	2002	1961	2018	47	0.77
31005	4.3	6.2	1.09	1.14	1996	1961	2018	46	0.29
31026	12.1	13.5	1.29	1.34	2005	1961	2018	45	0.48

Из результатов таблиц можно сделать вывод о том, что нестационарные модели ступенчатых изменений более эффективны, чем стационарная модель. Относительная разница между стационарной моделью и моделью тренда в июне составила 9,2%, в июле — 21,6% и в августе — 21,1%, а средняя погрешность модели ступенчатых изменений в июне — 14,4%, в июле — 27,0%, в августе 27,7%. Также было посчитано количество

эффективных стационарных моделей: в июне по модели линейного тренда насчитывается 10 станций (что составляет 34,5% от общего количества станций), в июле — 19 станций (65,5%) и в августе — 17 станций (58,6%). По модели ступенчатых изменений в июне эффективными моделями являются 15 моделей (51,7%), в июле — 24 модели (82,8%) и в августе — 22 моделей (75,9%) .

Стоит так же отметить, что в июле 3 модели линейного тренда и 4 моделей стационарного тренда являются статистически не значимыми, в июле их количество составило — 5 моделей линейного тренда и 5 ступенчатого, а в августе — 6 моделей линейного тренда и 11 ступенчатого. Примеры многолетних нестационарных рядов приведены на Рисунках 4.2.1, 4.2.2 и 4.2.3

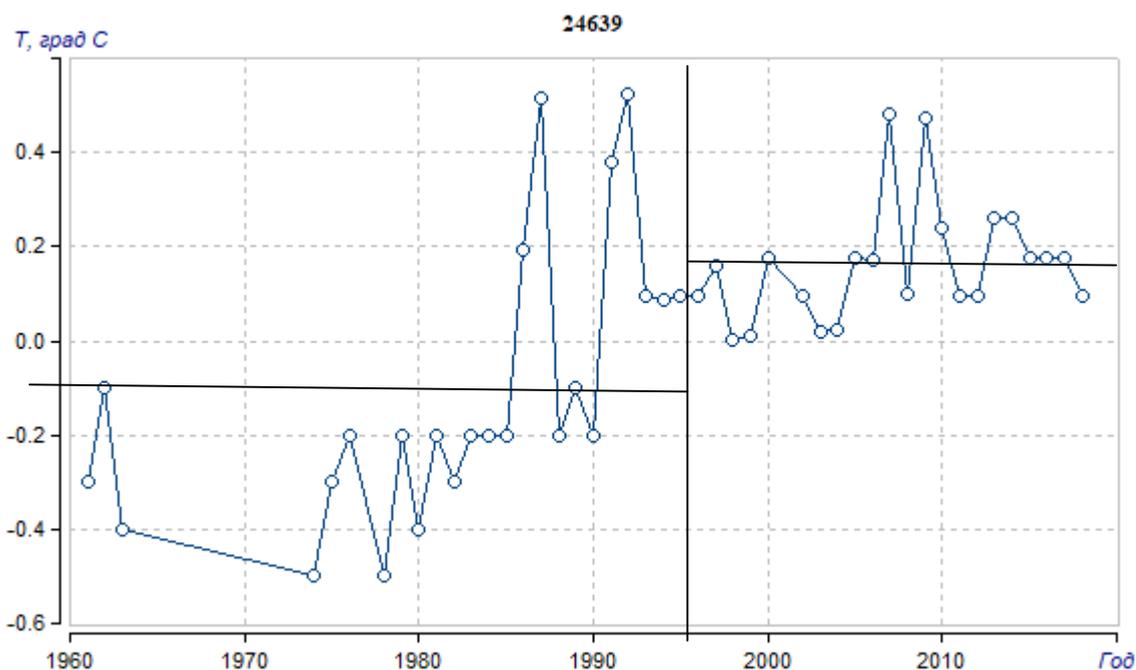


Рисунок 4.2.1. – Многолетний нестационарный ряд температур почвы июня на метеостанции 24639.

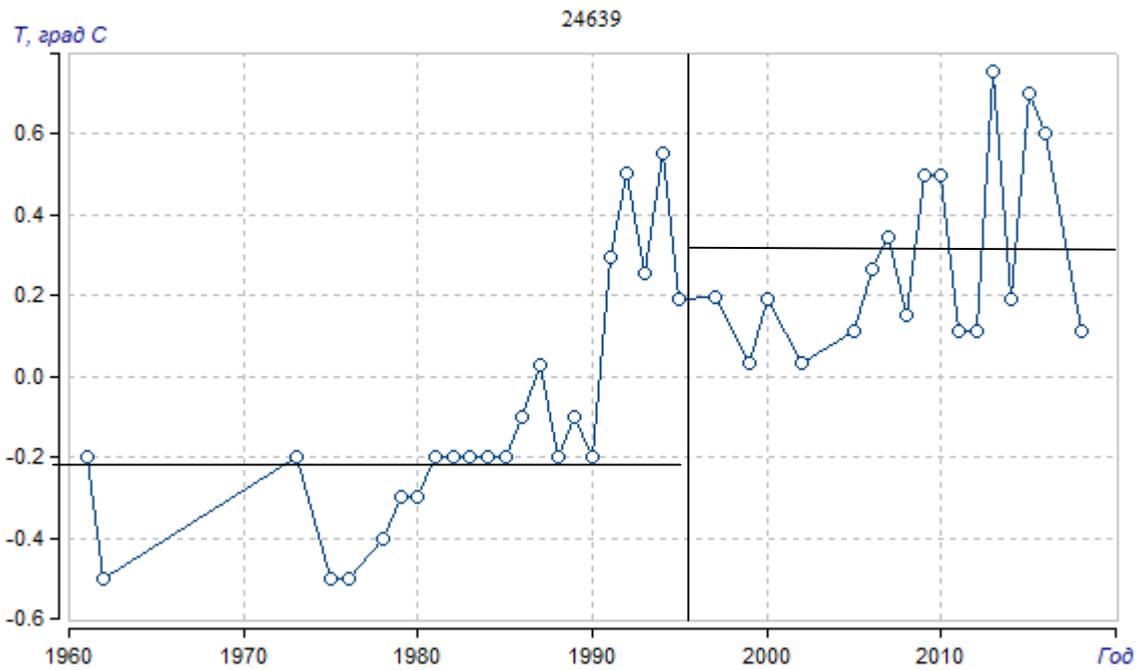


Рисунок 4.2.1. – Многолетний нестационарный ряд температур почвы июля на метеостанции 24639.

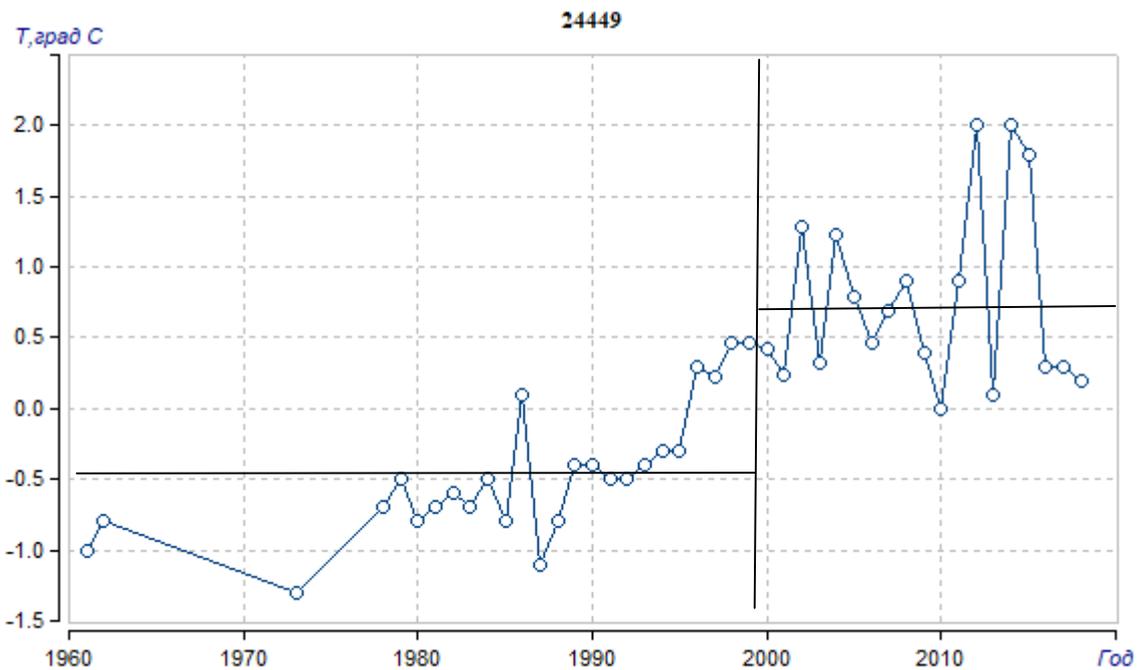


Рисунок 4.2.2. – Многолетний нестационарный ряд температур почвы августа на метеостанции 24449.

4.3. Оценка климатических изменений осенних температур почвы.

Результаты оценки эффективности нестационарных моделей температур почвы осенних месяцев приведены в табл.4.3.1 – 4.3.2.

Таблица 4.3.1. – Результаты оценки эффективности нестационарных моделей для многолетних рядов температур сентября.

код	$\Delta_{тр},\%$	$\Delta_{ст},\%$	Fтр	Fст	Tст	Tнач	Tк	n	Rтр
21921	64.4	47.5	7.89	3.63	1988	1962	2017	23	0.93
24266	42.3	65.4	3	8.33	2005	1961	2017	40	0.82
24449	33.3	43.6	2.25	3.15	2000	1961	2017	47	0.74
24639	26.9	31.6	1.87	2.14	1986	1961	2017	44	0.68
24641	8.7	14	1.2	1.35	1992	1961	2017	44	-0.41
24652	5.7	7.5	1.13	1.17	1987	1961	1997	24	0.33
24730	0.2	11.3	1	1.27	2007	1961	2017	42	0.06
24739	9.3	9.3	1.22	1.21	1991	1961	2017	46	0.42
24753	14.6	8.2	1.37	1.19	2001	1961	2016	34	0.52
24758	18.1	36	1.49	2.44	2003	1961	2017	47	0.57
24766	2.9	1.3	1.06	1.03	1985	1961	1997	22	0.24
24768	20.7	18.2	1.59	1.5	1989	1961	2016	40	0.61
24777	2.7	2.7	1.06	1.06	2005	1961	2017	46	-0.23
24856	26.8	42.9	1.86	3.06	2005	1961	2016	51	0.68
24871	45.8	50.5	3.4	4.08	1998	1961	2017	44	0.84
24923	37.2	30.6	2.54	2.07	1999	1961	2017	52	0.78
24933	30.7	0	2.08	1	1999	1988	2011	19	0.72
24934	0.2	4.3	1	1.09	2007	1961	2017	52	-0.07
24944	0.7	7.8	1.01	1.18	1994	1961	2016	40	-0.12
24946	0.7	4.9	1.01	1.11	1984	1961	2017	42	0.12
24959	33.9	29.2	2.29	2	2006	1961	2017	52	0.75
24962	40.2	44.2	2.8	3.21	1997	1961	2017	34	0.8
24966	25.5	45.1	1.8	3.32	2004	1961	2017	36	0.67
25400	3.7	6.7	1.08	1.15	1990	1961	2017	42	0.27
26333	24	28.8	1.73	1.97	1994	1961	2017	43	0.65
30054	18.8	20	1.52	1.56	1978	1961	2017	52	0.58
30074	44.5	42.1	3.24	2.98	2002	1961	2017	49	0.83
31005	7.4	8.2	1.17	1.19	1983	1961	2017	44	0.38
31026	31.9	27.8	2.16	1.92	1989	1961	2017	52	0.73

$\Delta_{тр, \text{среднее}} = 22,7\%$

$\Delta_{ст, \text{среднее}} = 25,0\%$

Таблица 4.3.2. – Результаты оценки эффективности нестационарных моделей для многолетних рядов температур октября.

код	$\Delta_{тр},\%$	$\Delta_{ст},\%$	$F_{тр}$	$F_{ст}$	$T_{ст}$	$T_{нач}$	$T_{к}$	n	$R_{тр}$
21921	27	36.8	1.87	2.5	1987	1961	2015	32	0.68
24266	36.9	62.3	2.51	7.05	2004	1961	2017	40	0.78
24449	39.8	38.9	2.76	2.68	1990	1961	2017	45	0.8
24639	31.8	26.7	2.15	1.86	2006	1961	2017	40	0.73
24641	12.1	19.1	1.3	1.53	1992	1961	2017	45	-0.48
24652	4.8	7.2	1.1	1.16	1989	1961	2006	26	0.31
24730	10	21.9	1.24	1.64	2006	1961	2017	51	0.44
24739	43.7	45.8	3.16	3.41	2006	1961	2017	44	0.83
24753	25.8	43.7	1.82	3.15	1990	1962	2017	40	0.67
24758	56.8	44.7	5.35	3.28	2004	1961	2017	43	0.9
24766	0.4	0	1.01	1	2004	1962	1996	19	-0.09
24768	21.5	24.7	1.62	1.76	1989	1961	2015	40	0.62
24777	21.8	26.3	1.64	1.84	2006	1961	2017	42	0.62
24856	36.1	49.3	2.45	3.89	2005	1966	2017	49	0.77
24871	29.8	38.1	2.03	2.61	1995	1961	2017	45	0.71
24923	24.9	20.5	1.77	1.58	1978	1961	2017	52	0.66
24933	7.6	13.9	1.17	1.35	2000	1962	2015	25	0.38
24934	18.4	22.3	1.5	1.66	2002	1961	2015	50	0.58
24944	2	4.2	1.04	1.09	1982	1961	2017	44	0.2
24946	1.4	8.9	1.03	1.2	1980	1961	2017	50	0.17
24959	29	33	1.98	2.22	2006	1961	2017	52	0.7
24962	38.1	30.4	2.61	2.07	1996	1961	2017	31	0.78
24966	16.7	44.3	1.44	3.23	2005	1961	2017	41	0.55
25400	1.9	5.8	1.04	1.13	1990	1961	2017	43	0.2
26333	25.8	35.1	1.81	2.38	2004	1961	2017	49	0.67
30054	19.1	19.3	1.53	1.54	1978	1961	2017	52	0.59
30074	38.2	36.3	2.62	2.46	1980	1961	2015	49	0.79
31005	11	13.5	1.26	1.34	1982	1961	2017	45	0.46
31026	37.1	33.1	2.53	2.23	1989	1966	2017	49	0.78
$\Delta_{тр, \text{ среднее}} = 24,3\%$					$\Delta_{ст, \text{ среднее}} = 28,7\%$				

Так же как в весенний и летний сезоны, нестационарные модели ступенчатых изменений более эффективны, чем модели линейного тренда. Среднее количество относительных погрешностей линейного тренда в сентябре составило —22,7 %, а по модели ступенчатых изменений — 25,0%;

в октябре по линейному тренду среднее рассчитывается —24,3%, по ступенчатым изменениям —28,7%. Температура на всех станция растет, так как не все коэффициенты корреляции являются положительными. Рассматривая эффективность на основе условия $\Delta > 10\%$, можно сделать вывод о том, что эффективными в сентябре будут 17 моделей линейного тренда, что составляет 58,6% от общего числа рядов и 18 моделей ступенчатых изменений (62%), а в октябре рассчитывается 24 модели линейного тренда и 24 модели ступенчатого (82,8%). Стоит так же отметить, что в сентябре 4 модели линейного тренда и 10 моделей стационарного тренда являются статистически не значимыми, в октябре их количество составило — 5 моделей линейного тренда и 6 ступенчатого. Примеры многолетних нестационарных рядов приведены на Рисунках 4.3.1 и 4.3.2.

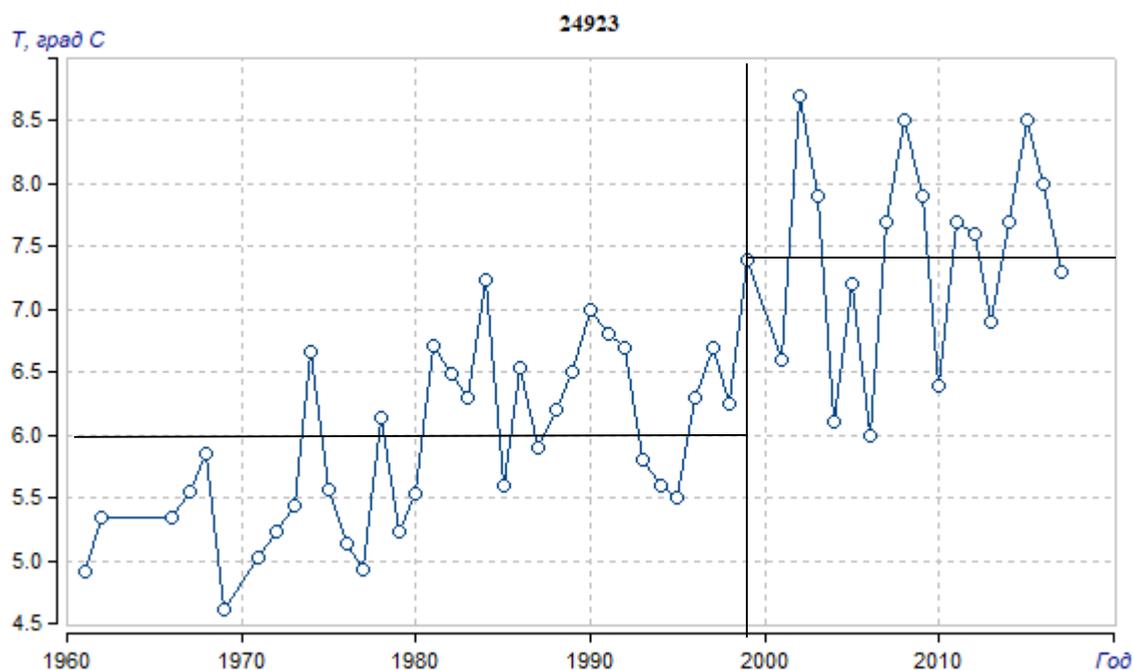


Рисунок 4.3.1. – Многолетний нестационарный ряд температур почвы сентября на метеостанции 24923.

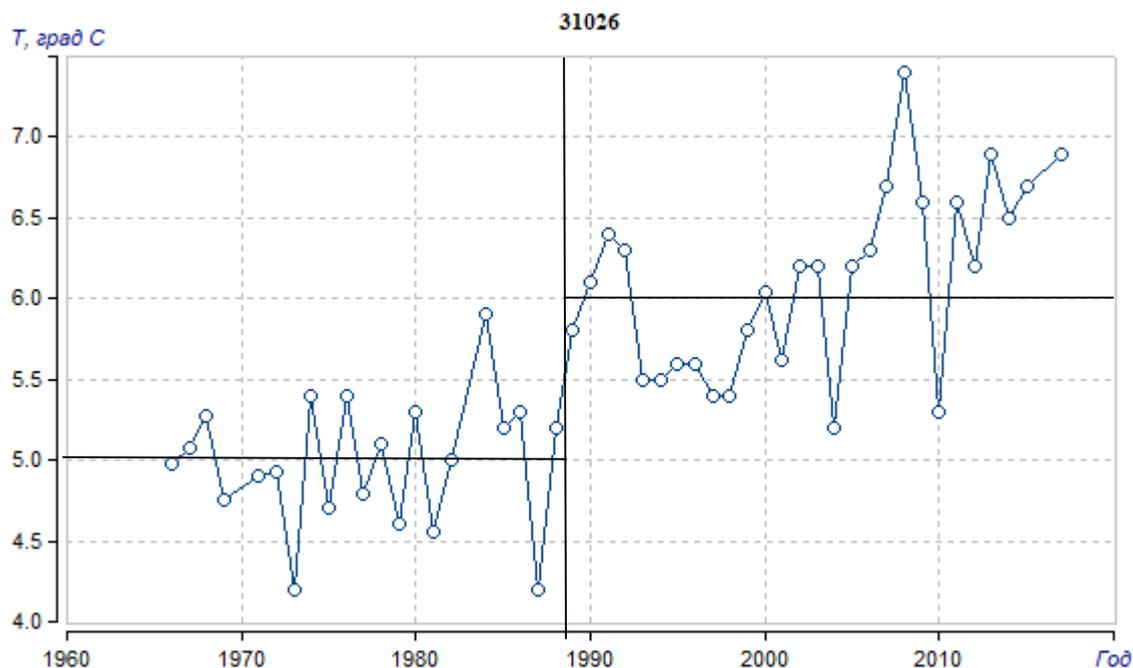


Рисунок 4.3.2. – Многолетний нестационарный ряд температур почвы октября на метеостанции 31026.

5. Пространственные закономерности климатических изменений температур почвы

5.1 Пространственные закономерности весенних температур почвы.

По результатам расчетов оценки эффективности нестационарных моделей для рядов температуры почвы апреля и мая, представленных в таблице 4.1.1 и 4.1.2, были составлены карты пространственного распределения отклонений нестационарных моделей от модели стационарной выборки в % в процентах ($\Delta_{тр.}$ и $\Delta_{ст.}$) для температуры апреля и мая (Рис. 5.1.1 и 5.1.2). Разными оттенками красного цвета (красный, розовый, оранжевый) показаны области нестационарных моделей, а синим цветом показаны области стационарных моделей.

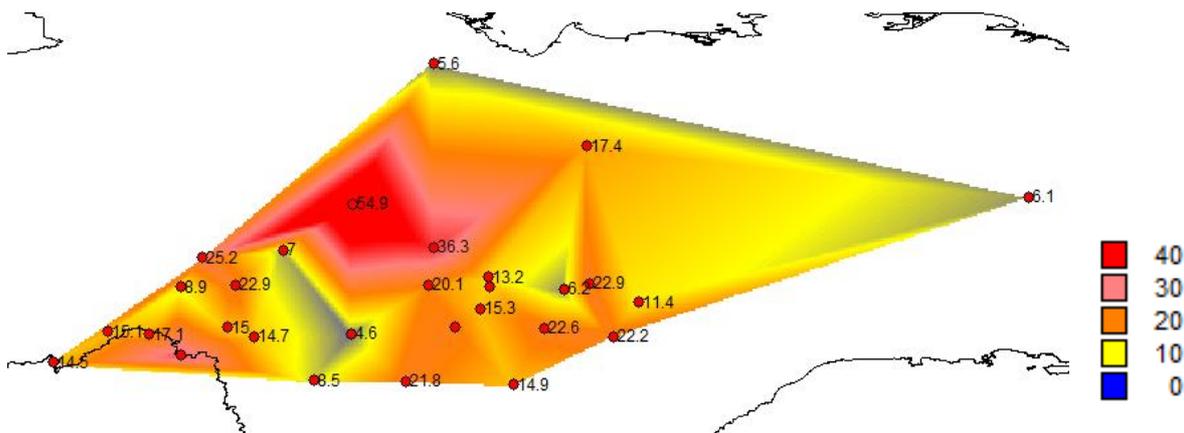
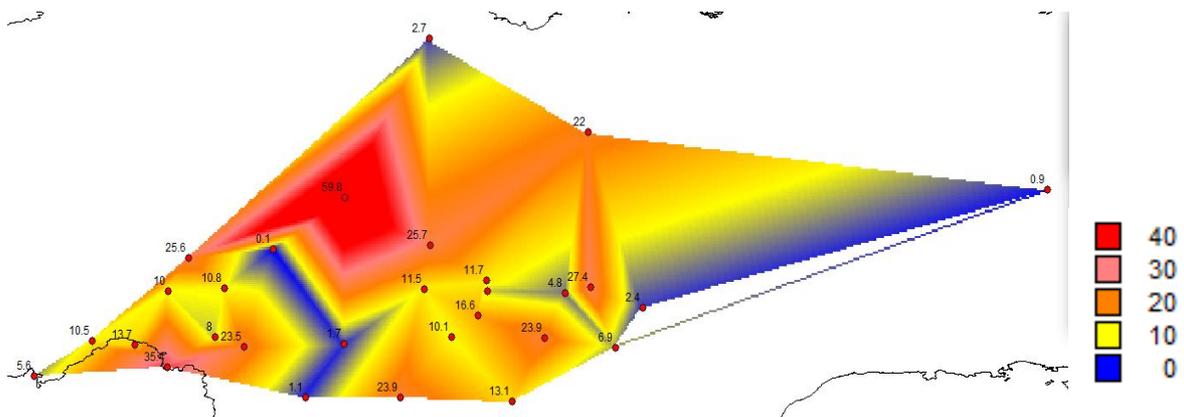
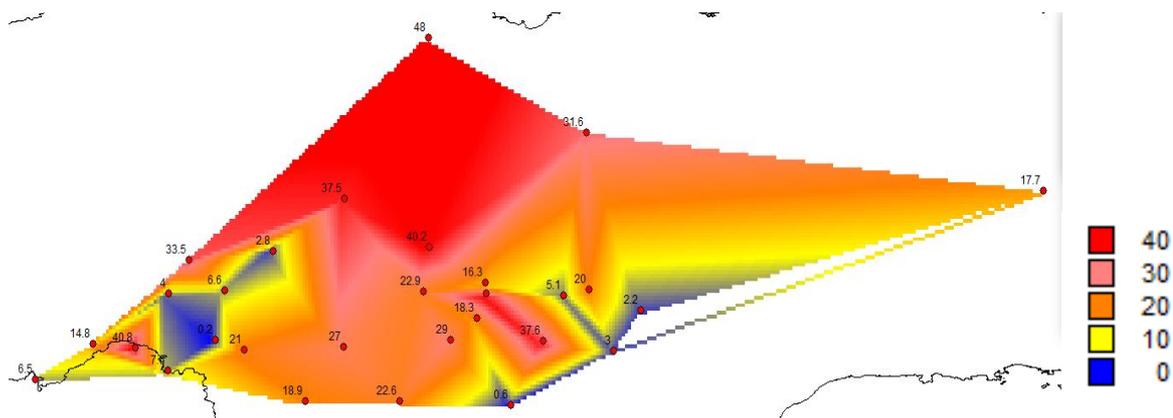


Рисунок 5.1.1. – Пространственное распределение показателей нестационарности моделей для температур апреля , где сверху вниз: $\Delta tr, \%$, $\Delta st, \%$.



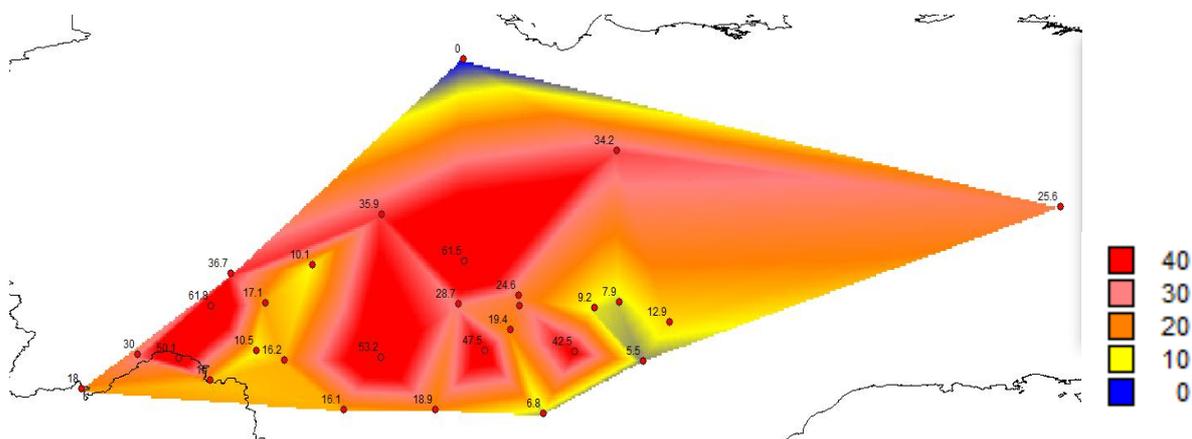


Рисунок 5.1.2. – Пространственное распределение показателей нестационарности моделей для температур мая , где сверху вниз: $\Delta_{тр},\%$, $\Delta_{ст},\%$.

Из Рисунков 5.1.1. и 5.1.2 следует, что стационарные модели по ступенчатым изменениям занимают только север Якутии и станция на юго-востоке, по линейному тренду — в юго-восточной части и юго-западной частях. Нестационарные модели занимают большую часть карт — по ступенчатым изменениям 65,5% в апреле и 86,2% в мае, а по линейному тренду 62% территории в апреле и 65,5% в мае.

Наиболее нестационарные модели расположены в центральной части карты. Примеры нестационарных моделей временных рядов показаны на рисунке 5.1.3.

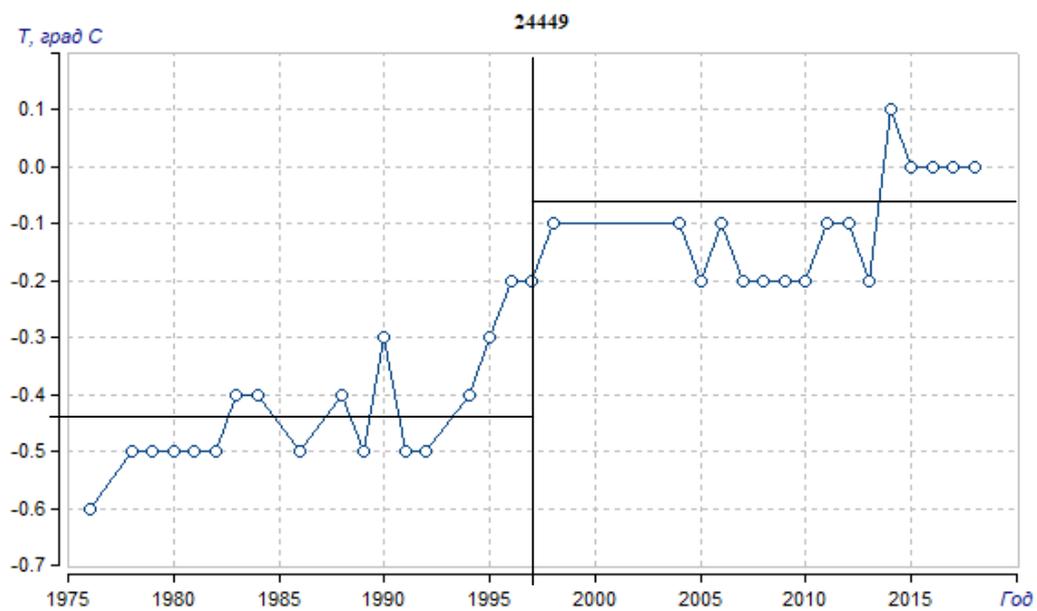


Рисунок 5.1.3. — Графики наиболее нестационарных рядов температур апреля.

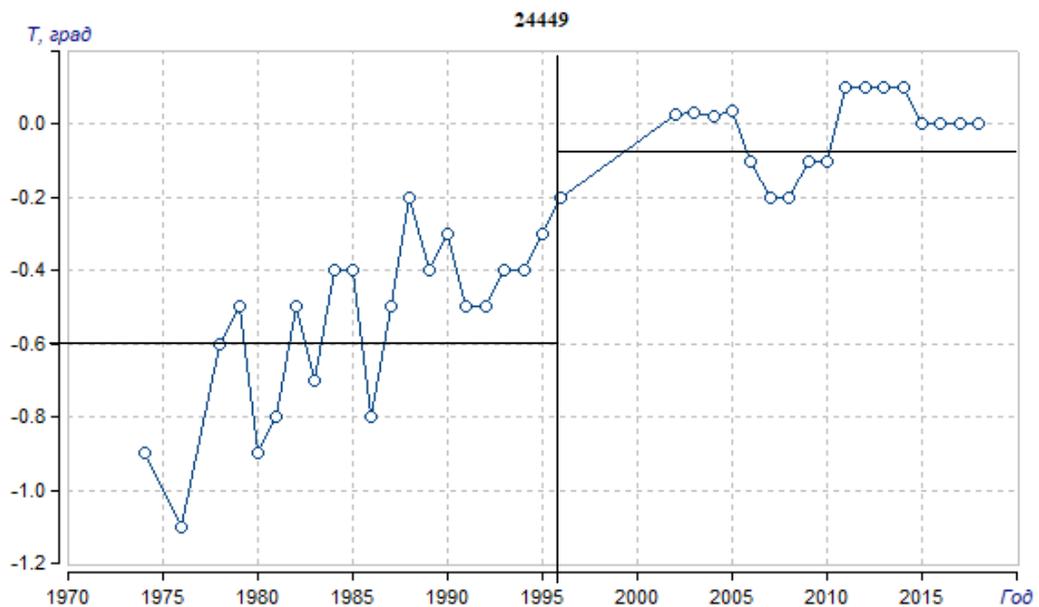
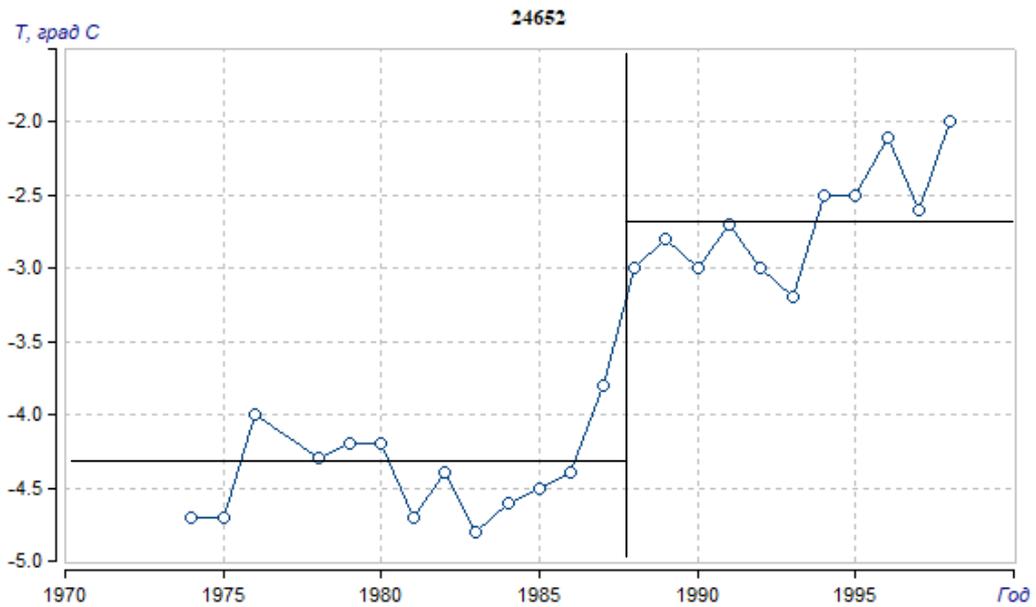


Рисунок 5.1.4. — Графики наиболее нестационарных рядов температур мая.

5.2. Пространственные закономерности летних температур почвы
 Пространственные распределения показателей эффективности нестационарных моделей для летних месяцев приведены на рис.5.2.1 – 5.2.3.

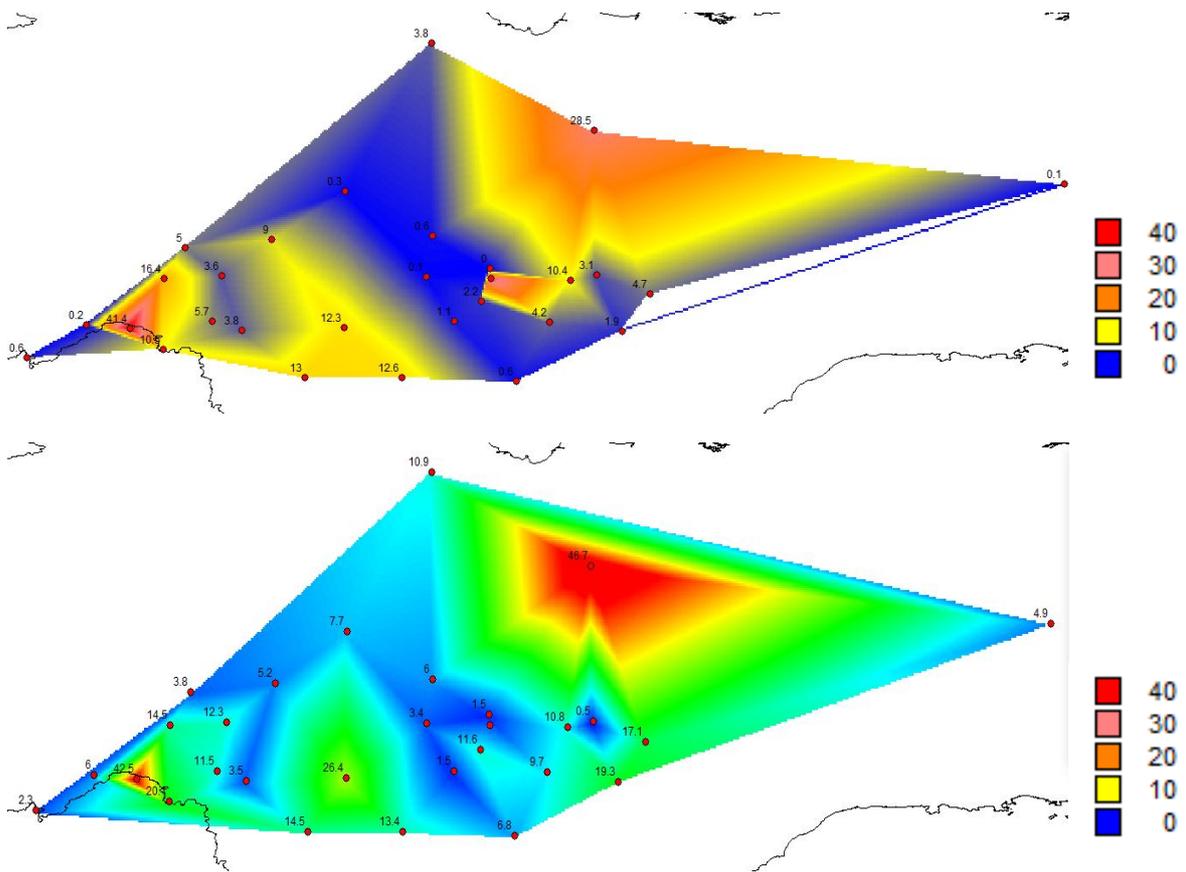
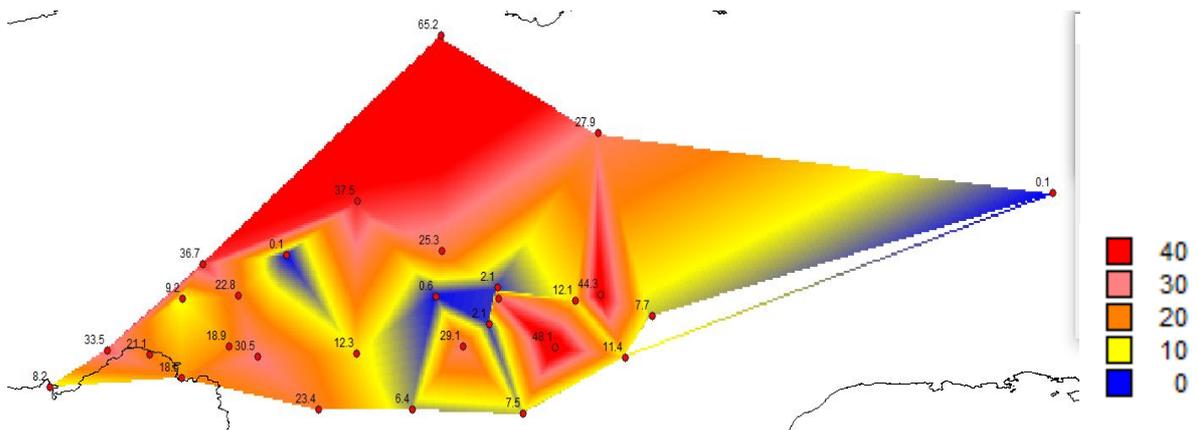


Рисунок 5.2.1. – Пространственное распределение показателей нестационарности моделей для температур июня, где сверху вниз: $\Delta tr, \%$, $\Delta ст, \%$.



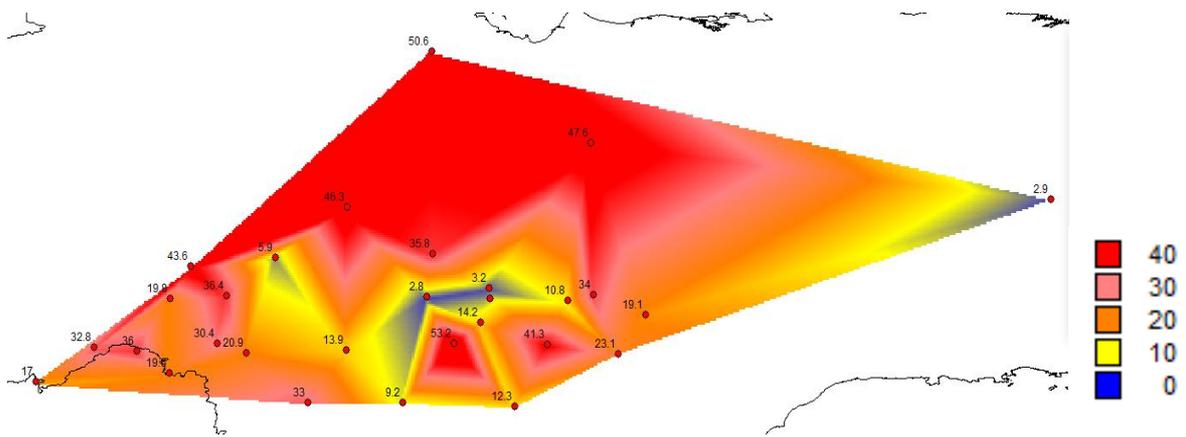


Рисунок 5.2.2. – Пространственное распределение показателей нестационарности моделей для температур июля, где сверху вниз: $\Delta_{тр},\%$, $\Delta_{ст},\%$.

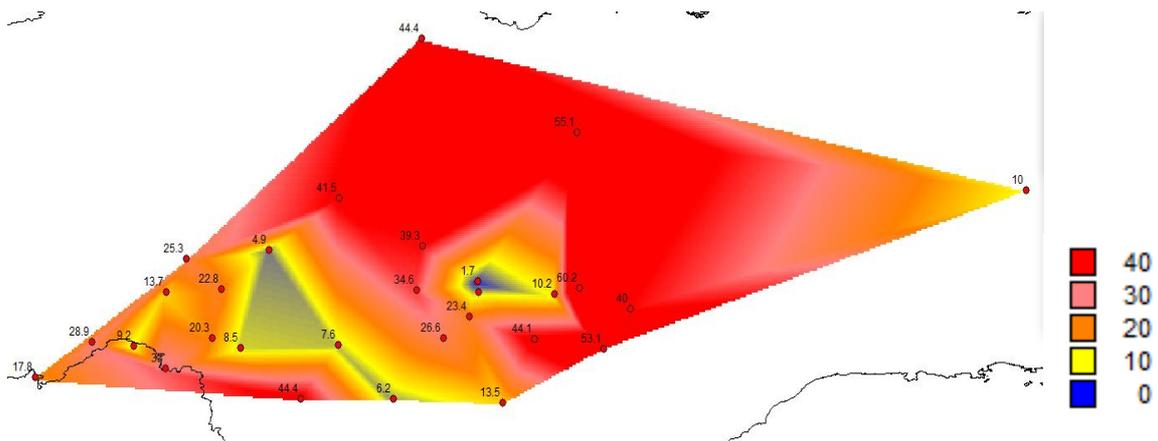
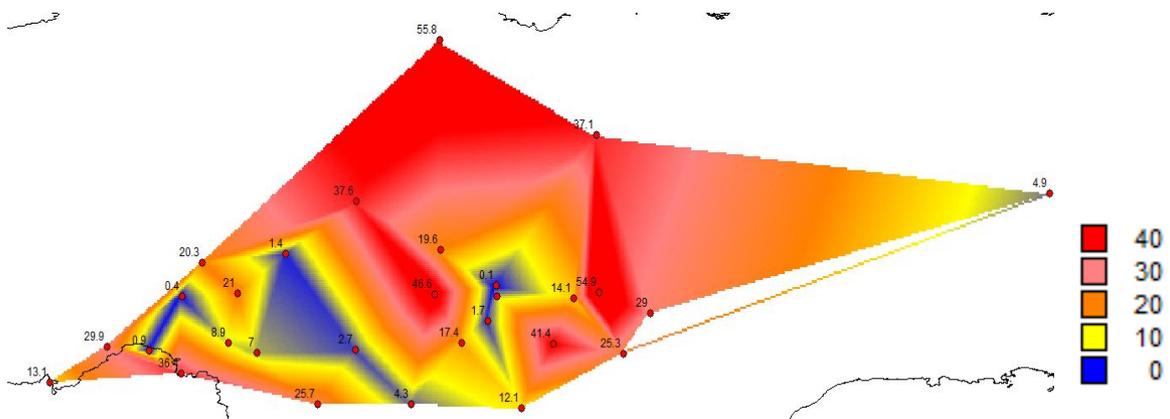
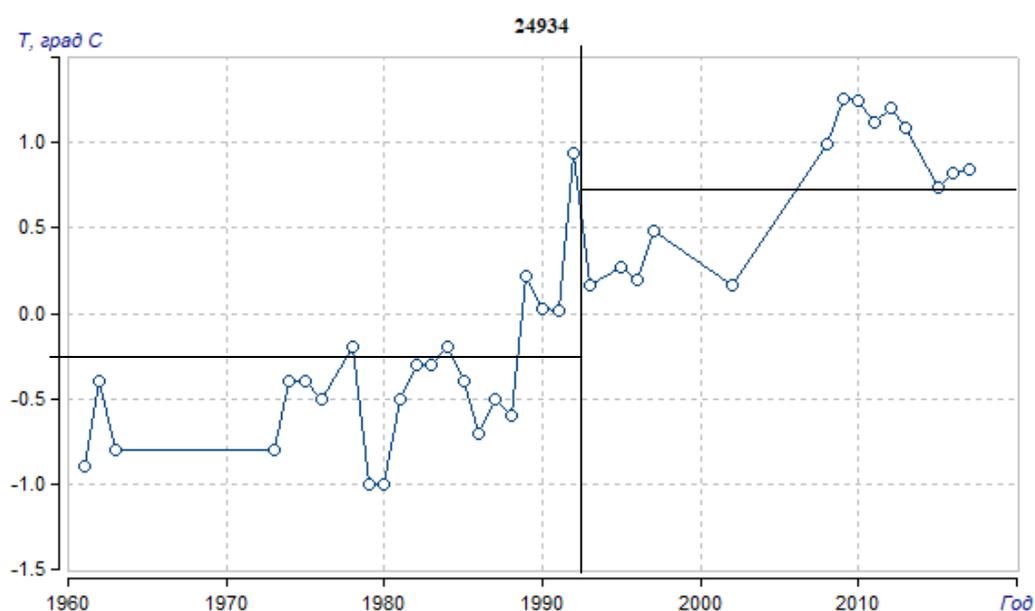


Рисунок 5.2.3. – Пространственное распределение показателей нестационарности моделей для температур августа, где сверху вниз: $\Delta_{тр},\%$, $\Delta_{ст},\%$.

Из Рисунка 5.2.1. видно, что в июне стационарные модели по ступенчатым изменениям занимают большую часть района, а нестационарные — в северо-восточной части и одна станция на западе, что составляет 34,5% по линейному тренду и 51,7% по ступенчатому от всей территории. Из Рисунков 5.2.2. и 5.2.3. можно сделать вывод о том, что в июле и в августе нестационарных станций намного больше, чем в июне. По линейному тренду занимают от 58,6 до 65,5%, а по ступенчатым изменениям от 75,9 до 75,9%.

Примеры нестационарных моделей временных рядов показаны на Рисунках 5.2.3. – 5.2.5.



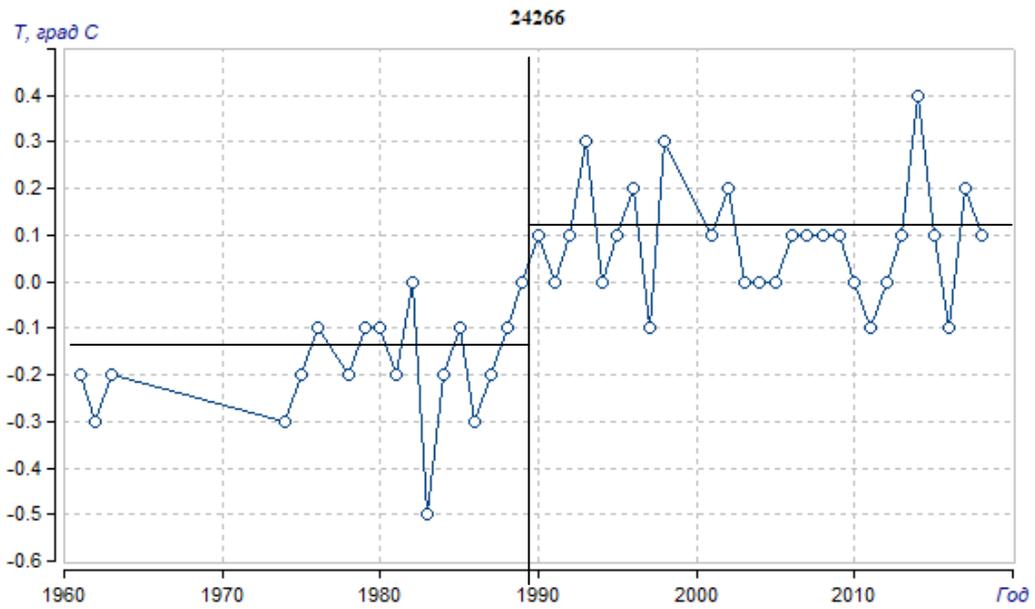
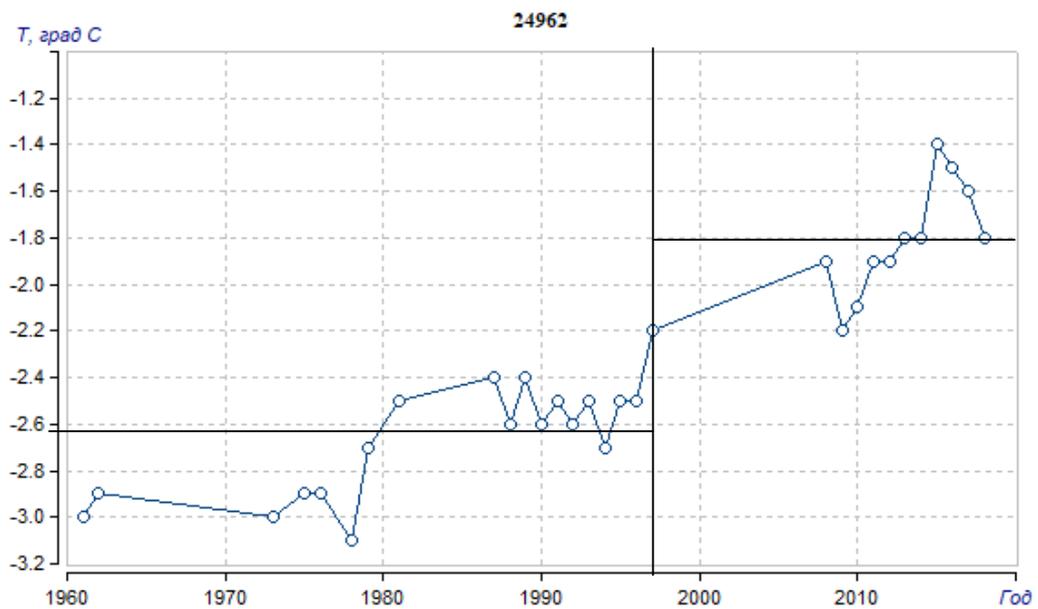


Рисунок 5.2.3. — Графики наиболее нестационарных рядов температур июня.



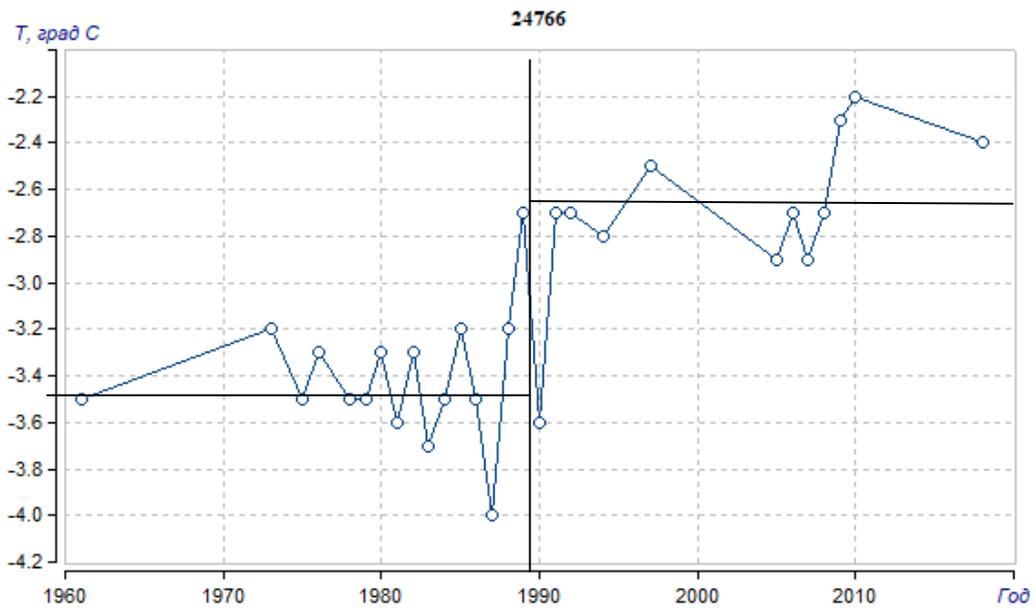
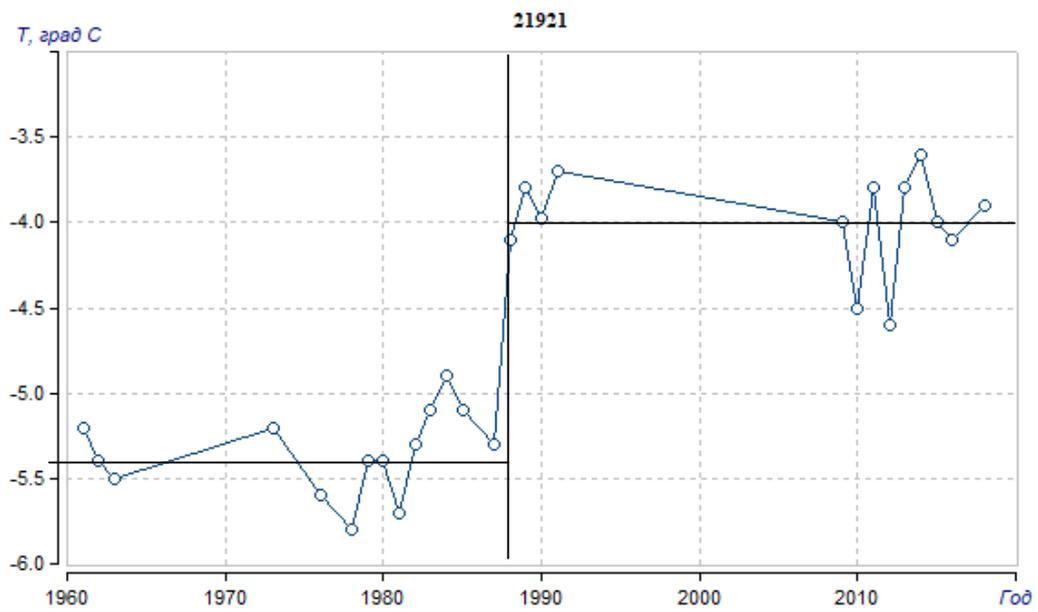


Рисунок 5.2.4. — Графики наиболее нестационарных рядов температур июля.



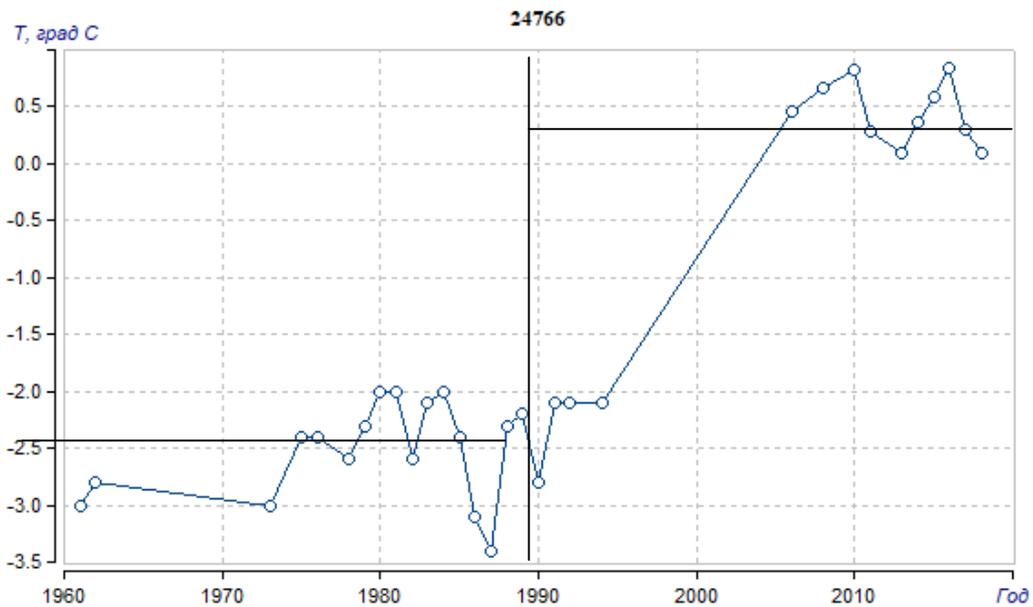
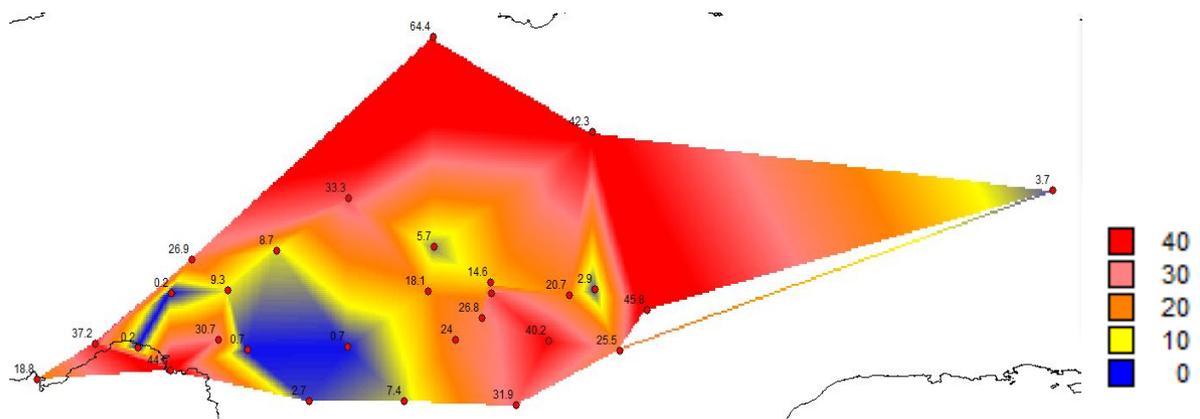


Рисунок 5.2.5. — Графики наиболее нестационарных рядов температур августа.

5.3. Пространственные закономерности осенних температур почвы.

Пространственные распределения показателей эффективности нестационарных моделей для осенних месяцев приведены на рис.5.3.1 – 5.3.2.



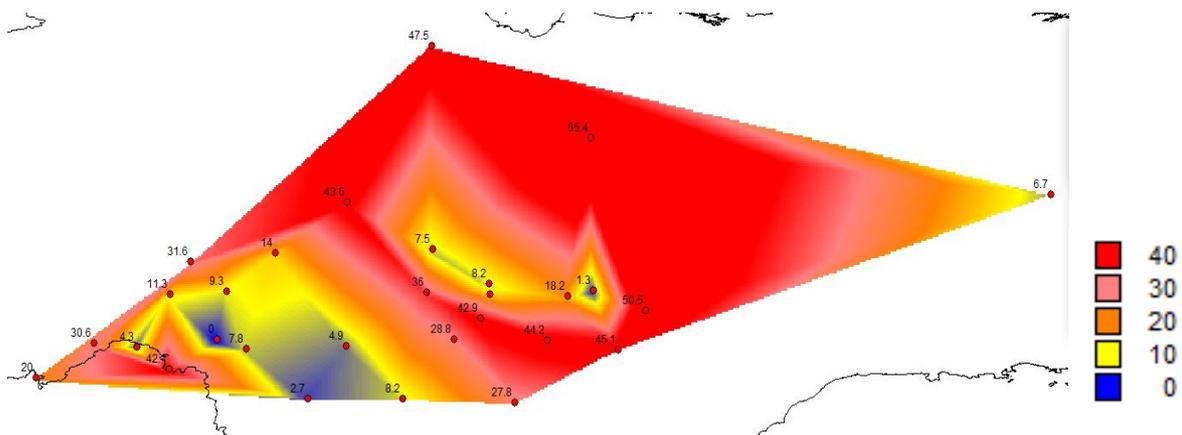


Рисунок 5.3.1. – Пространственное распределение показателей нестационарности моделей для температур сентября, где сверху вниз: $\Delta_{тр},\%$, $\Delta_{ст},\%$.

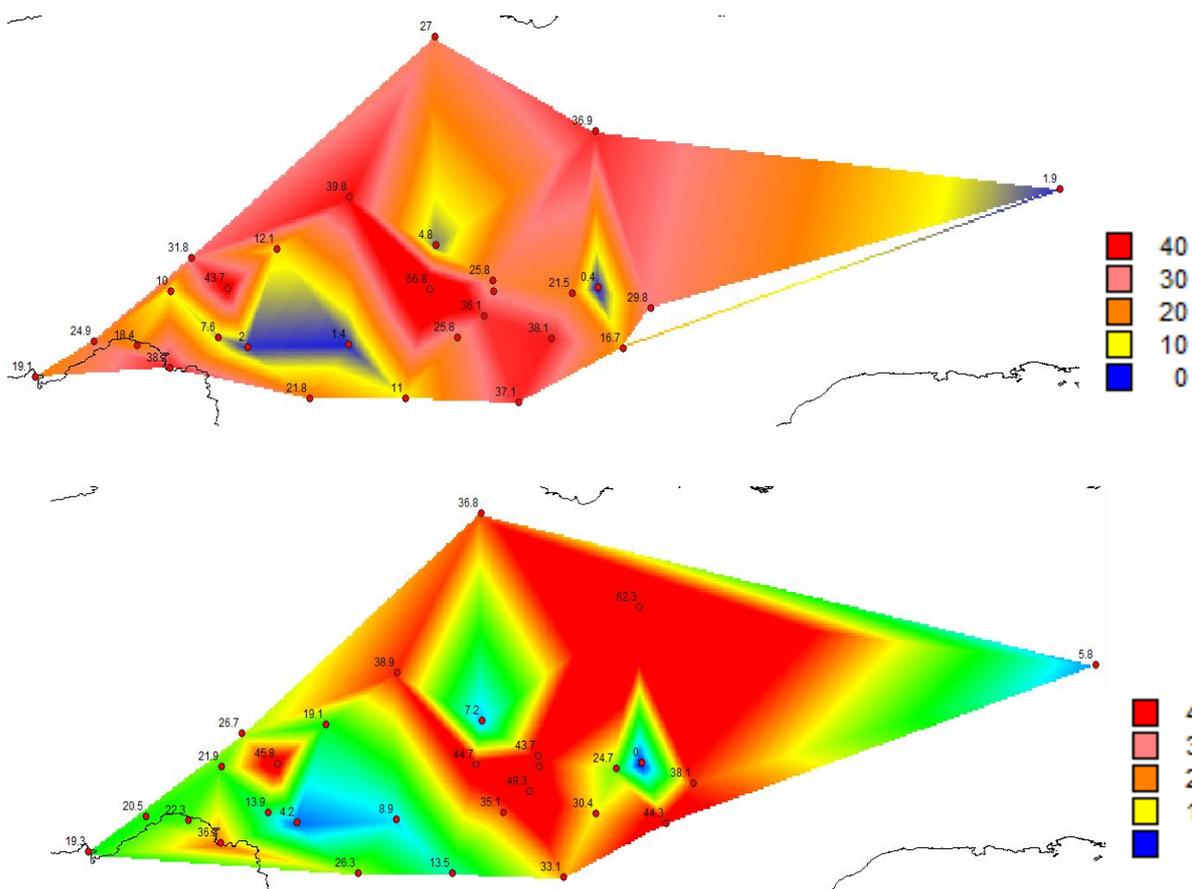


Рисунок 5.3.2. – Пространственное распределение показателей нестационарности моделей для температур октября, где сверху вниз: $\Delta_{тр},\%$, $\Delta_{ст},\%$.

Из Рисунков 5.3.1. и 5.3.2 видно, что в осенние месяцы нестационарные модели так же занимают большую часть района, что составляет: в сентябре — 58,6% по линейному тренду и 62% по ступенчатым изменениям от площади всей территории, а в октябре — 82,8% по линейному и 82,8% по ступенчатым.

Примеры нестационарных моделей временных рядов показаны на Рисунках 5.3.3. – 5.3.4.

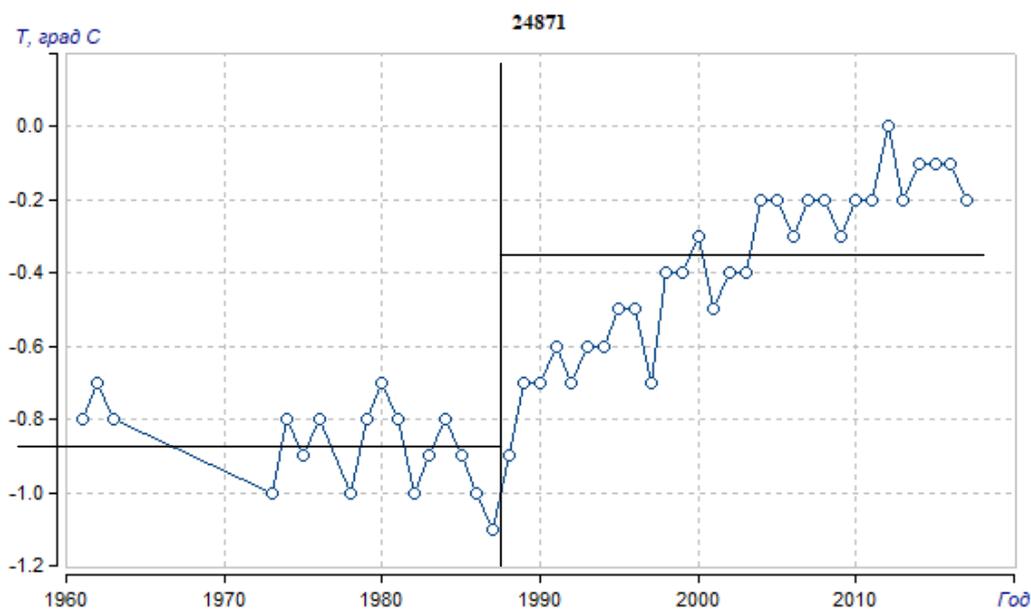
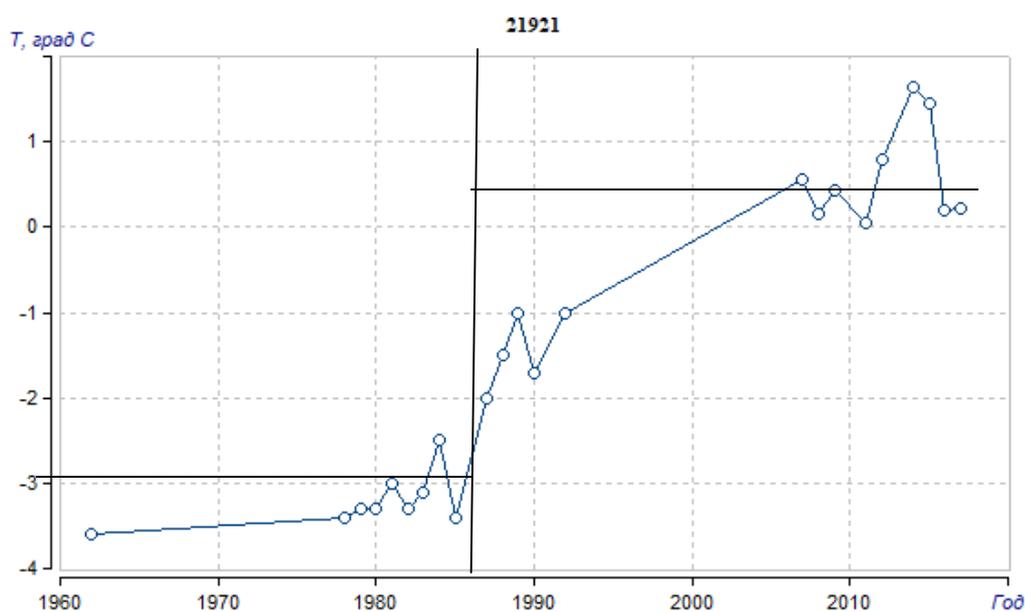


Рисунок 5.3.3. — Графики наиболее нестационарных рядов температур сентября.

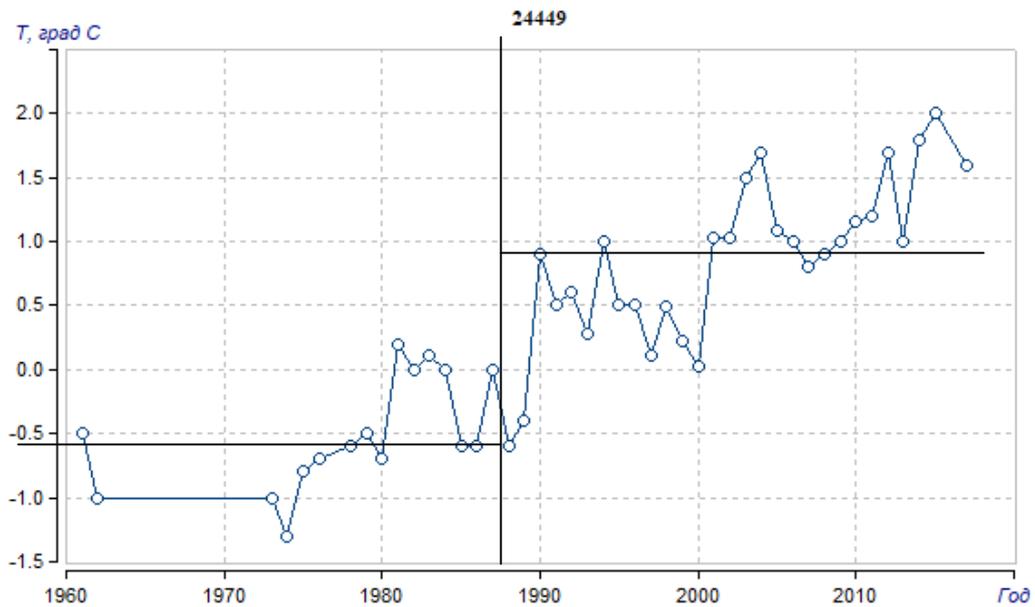
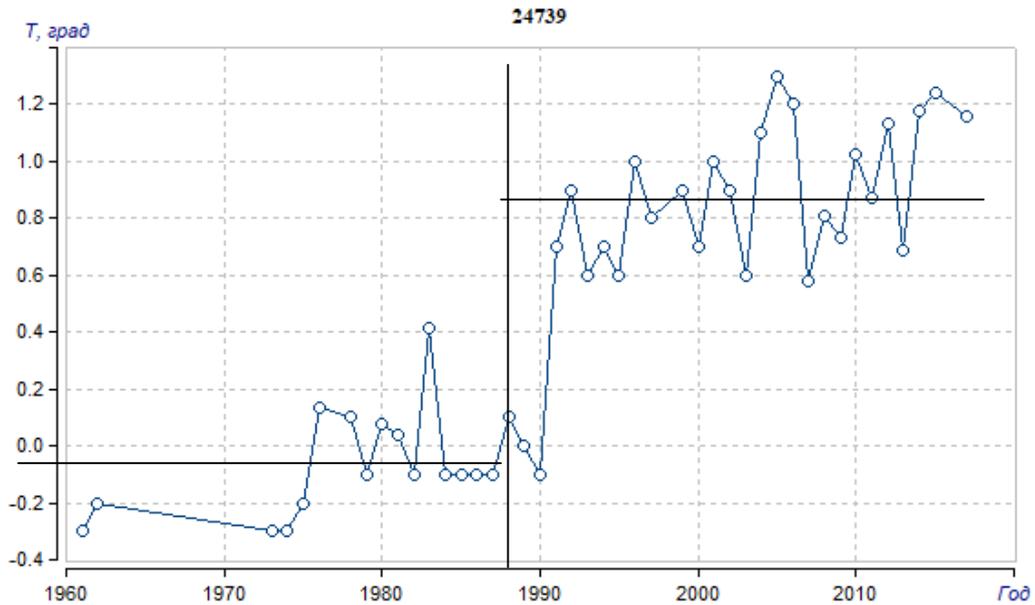


Рисунок 5.3.4. — Графики наиболее нестационарных рядов температур октября.

Сопоставляя карты пространственного распределения показателей нестационарности моделей для температур октября с картой областей

оттаивания вечной мерзлоты, приведённой в Главе 2.2.1, можно сделать некоторые выводы:

-Изменения температуры почвы в северной части территории прослеживаются более интенсивно, чем в южной.

-Центральная часть Якутии по предварительным данным оказалась в зоне наибольшей опасности и, как показал дальнейший анализ, температура увеличивается не монотонно, а несет ступенчатый характер в 90-х годах. Через некоторое время это может принести угрозу для зданий, расположенных в центральной части Якутии.

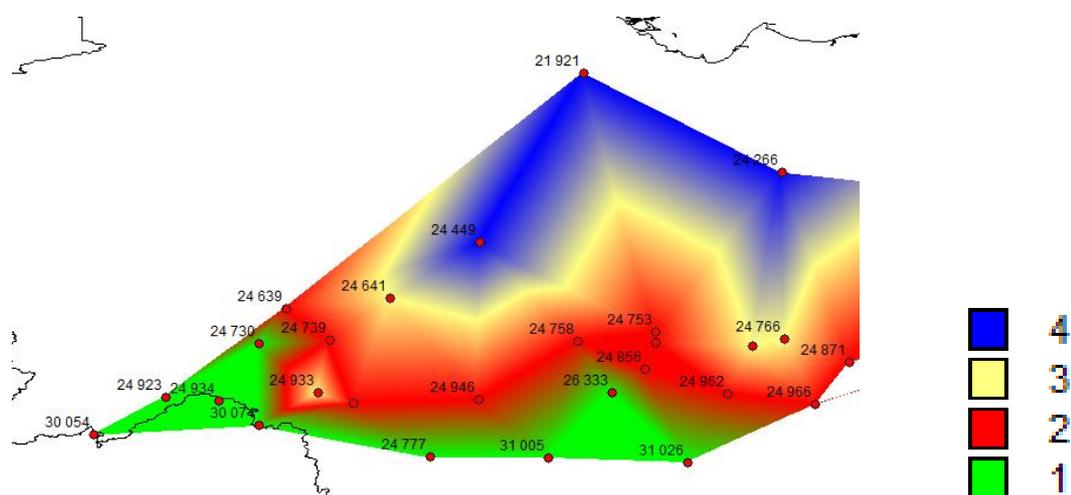


Рисунок 5.3.5. – Карта областей оттаивания вечной мерзлоты на территории Республики Саха (Якутия).

Заключение

1. Сформирована уникальная база многолетних рядов среднемесячных температур почвы на глубине 3,6 метров по 29 метеостанциям Республики Саха (Якутия), имеющих разную продолжительность наблюдений от 11 лет на метеостанции 24777 до 55 лет на метеостанции 24959.

2. Проведена оценка качества и однородности многолетних рядов разных гидрометеорологических характеристик позволяет сделать вывод о присутствии в них неоднородных экстремумов и для дальнейшего моделирования временных рядов в них были исключены неоднородные экстремумы, как правило, обусловленные, ошибками наблюдателей.

3. В рядах наблюдений восстановлены пропуски, они приведены практически к одинаковому многолетнему периоду средней продолжительности 22-55 лет в зависимости от месяца года.

4. Установлено, что температура почвы увеличивается не монотонно, а ступенчато. Температура почвы в октябре является наиболее нестационарной климатической характеристикой, т.к. число нестационарных моделей ступенчатого роста температур составляет 82,8% от общего числа рядов наблюдений.

5. Выполненное статистическое моделирование двух временных рядов за период ВМО (1960-1990) и последний период(1991-2017) позволило сделать вывод о том, что наиболее подвержена изменениям климата почва северных районов и центральной Якутии.

6.

7.

Список использованных источников

1. Метеорологические ежемесячники по территории деятельности ФГБУ «Якутское УГМС» за 1960-2017-й годы.
2. М.К. Гаврилова. Климаты холодных регионов Земли, 1998
3. В.А. Лобанов, И.А. Смирнов, А.Е. Шадурский. Практикум по климатологии. Часть 1. Учебное пособие. -СПб.: РГГМУ, 2011
4. Лобанов В.А., Смирнов И.А., Шадурский А.Е. Практикум по климатологии. Часть 2. Учебное пособие. -СПб.:изд. РГГМУ, 2012
5. MapInfo Professional. Руководство пользователя (полное). - MapInfo Corporation, Troy, New York, 2003.
6. Малинин В.Н. Статистические методы анализа гидрометеорологической информации. Учебник. - СПб.: изд. РГГМУ, 2008.-408 с.
7. Будыко М.И., Винников К.Я. Глобальное потепление, Метеорология и гидрология, № 7, 1976, с. 16–26.
8. Будыко М.И., Анисимов О.А., Борзенкова И.И., Ефимова Н.А., Кобак К.И., Менжулин Г.В., Строкина Л.А. Прогноз антропогенных изменений климата и их последствий. //Труды Международной теоретической конференции «Проблемы гидрометеорологии и окружающей среды на пороге XXI века». Санкт-Петербург, 24-25 июня 1999г. -С.-Петербург: Гидрометеоиздат, 2000. - С.35-59.
9. Вильфанд Р.М. Современные направления прогнозирования экстремальных гидрометеорологических явлений различного масштаба.//Тезисы пленарных докладов Международной конференции по проблемам гидрометеорологической безопасности. 26-29 сентября 2006г. – М.:Росгидромет, 2006. - С.15.
10. В.А.Лобанов, А.Е.Шадурский. Применение эмпирико-статистических методов для моделирования и анализа климатических изменений. Ученые записки РГГМУ №14, 2010, с.73-88.
11. ВКИК. Труды Всемирной конференции по изменению климата, Москва, 29 сентября —3 октября 2003 г., М., Новости, 2003, 620 с.

12. Груза Г. В., Клещенко Л. К., Ранькова Э. Я. Об изменениях температуры воздуха и осадков на территории СССР за период инструментальных наблюдений, *Метеорология и гидрология*, № 1, 1977, с. 2003, с. 66–185.