

Санкт-Петербургский государственный университет

**СИЗЫХ Екатерина Ивановна**

**Выпускная квалификационная работа**

**МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ДИНАМИКИ  
ОЛЕДЕНЕНИЯ КАМЧАТКИ**

Основная образовательная программа бакалавриата

«География»

Профиль «География полярных стран»

Научный руководитель:  
к.г.н., доц. кафедры  
геоморфологии  
Лопатин Д.В

Рецензент:

Шевченко А.В. (ФГБУН  
Институт вулканологии  
и сейсмологии ДВО  
РАН)

Санкт-Петербург

2018

## Содержание

Введение.....	4
Глава I. Рельеф Ключевской и Авачинской групп вулканов.....	7
1.1 Основные черты рельефа и геологического строения полуострова.....	7
1.2 Ключевская группа вулканов.....	9
1.3 Авачинская группа вулканов .....	12
Глава II. Климатические условия .....	15
2.1 Особенности климата полуострова.....	15
2.2 Климатические условия районов Ключевской и Авачинской групп вулканов .....	17
2.2.1 Температура воздуха .....	18
2.2.2 Атмосферные осадки .....	19
2.2.3 Ветровой режим .....	20
2.2.4 Снежный покров.....	21
2.3 Статистическая характеристика климата .....	21
2.3.1 Ключевская группа вулканов.....	24
2.3.2 Авачинская группа вулканов .....	26
Глава III. Взаимодействия вулканической активности и ледников.....	29
3.1 Морфология оледенения .....	29
3.2 Механизмы влияния вулканической активности на снежный покров и ледники.....	30

Глава IV. Дистанционные исследования территории Ключевской	
группы вулканов.....	34
4.1 Визуальное дешифрирование .....	34
4.2 Неконтролируемая классификация.....	35
4.3 Контролируемая классификация.....	36
Глава V. Основные черты режима и динамики ледников Ключевской и	
Авачинской групп вулканов.....	41
5.1 Ледники Ключевской группы вулканов .....	41
5.1.1 Состояние оледенения на 1950-75 гг. ....	42
5.1.2 Современное состояние.....	43
5.2 Ледники Авачинской группы вулканов.....	47
5.2.1 Состояние оледенения на 1950-75 гг. ....	48
5.2.2 Современное состояние.....	49
5.3 Основные изменения оледенения Ключевской и Авачинской	
групп вулканов .....	53
Выводы .....	57
Заключение .....	60
Список литературы .....	61
Приложение А .....	66
Приложение Б.....	68
Приложение В.....	74
Приложение Г .....	80
Приложение Д.....	84

## **Введение**

**Актуальность:** Камчатский полуостров представляет собой крупнейший очаг современного горного оледенения на территории России. На 1950 год здесь насчитывалось 405 ледников, общая площадь которых составляла 874,1 км<sup>2</sup>. Вместе с этим, примерно 40% территории занято вулканами. Это, помимо Курильских островов, единственный в нашей стране район современного вулканизма. Основными центрами активного вулканизма являются Ключевская и Авачинская группы вулканов, которые, в то же время, относятся и к крупнейшим по величине районам оледенения на полуострове.

Наблюдения за состоянием оледенения районов активного вулканизма важно не только потому, что ледники, покрывая огромную площадь данных территорий, являются важнейшими факторами рельефообразования, но и по причине возникающих в результате взаимодействия лавовых потоков и льда природных явлений, таких как лахары, которые несут непосредственную угрозу местному населению.

**Цель** данной работы - выявление особенностей современной динамики ледников Камчатского полуострова на примере оледенения районов активного вулканизма в период с 1950 года по настоящее время.

Для достижения этой цели необходимо решить следующие **задачи**:

- обобщить имеющиеся сведения о физико-географическом положении полуострова, районов активного вулканизма, их современном рельефе;
- выявить общие климатические черты и особенности климата рассматриваемых территорий;
- проанализировать данные температур и осадков за период с 1961 по 2017 гг., полученные с расположенных в непосредственной близости от изучаемых районов метеостанций и составить наиболее

полную статистическую характеристику изменения климатических условий;

- изучить главные пути влияния продуктов вулканических извержений на снежный покров и ледники;

- составить характеристики оледенения изучаемых районов на 1950 г. (основываясь на Каталоге ледников СССР) и их современного состояние;

- проанализировать главные изменения в значении площадей и положении фронта ледников за период с 1950 по 2010-15 гг.;

- оценить степень влияния вулканической активности и продуктов извержения на динамику ледников каждого района.

**Объект исследования** данной работы – оледенение районов активного вулканизма.

**Предмет исследования:** динамика ледников, подверженных влиянию вулканических процессов.

**Структура работы:** в первой главе даются общие сведения о рельефе Ключевской и Авачинской групп вулканов. Во второй главе представлена характеристика климатических условий и результаты статистического исследования климата изучаемых территорий. В третьей главе отображаются основные механизмы взаимодействия вулканической активности и ледников. В четвертой главе представлены результаты исследования космических снимков на территорию Ключевской группы вулканов. Пятая глава раскрывает основные черты динамики ледников рассматриваемых районов.

**Методологической основой** для работы послужили публикации, посвященные исследованию оледенения районов активного вулканизма (за период с 1950 по настоящее время) и анализ разновременных космических снимков.

Для решения поставленных задач были использованы следующие **методы:**

- описательный и аналитический для составления наиболее полной характеристики оледенения рассматриваемых территорий;

- статистический – при обработки климатических данных с метеостанций;

- анализ двух разновременных космических снимков Landsat 7 ETM+ и Landsat 8 (получены с сайта United States Geological Survey (USGS)) на территорию Ключевской группы вулканов, для выявления направленности динамики оледенения района с применением методик визуального и контролируемого дешифрирования. При обработке дистанционной информации использовались программы Global Mapper 13 и ArcGis 10.1.

## Глава I. Рельеф Ключевской и Авачинской групп вулканов

### 1.1 Основные черты рельефа и геологического строения полуострова

Камчатка характеризуется большим разнообразием форм и типов рельефа, от прибрежных морских равнин до средневысотных складчатых и высокогорных вулканических сооружений, но в целом на полуострове наблюдается заметное преобладание гор над равнинами.

По северо-восточной оси посредине широкой полосой протягивается в субмеридиональном направлении на 850 км Срединный хребет, являющийся водоразделом рек Тихого океана и Охотского моря. Высшая точка хребта – Ичинский вулкан (3621 м).

Вдоль восточной оконечности хребта протягивается Центральная Камчатская депрессия (Центрально-Камчатская равнина). К северной, наиболее широкой части депрессии приурочена *Ключевская группа вулканов* – крупнейшее скопление вулканических сооружений полуострова. Расположена на стыке границ двух островных дуг – Курило-Камчатской и Алеутской.

С востока Центрально-Камчатская равнина ограничена складчатым Восточным хребтом, состоящим из нескольких сравнительно небольших хребтов, вытянутых в северо-восточном направлении.

Чуть южнее – *Авачинская группа вулканов*. Вместе с продолжающимся дальше Пиначевским хребтом представляет собой горный массив северо-западного простирания. Далее – Южная вулканическая область, состоящая из отдельных лавовых плато, над которыми возвышаются действующие и потухшие вулканы.

Геологическое строение Камчатки характеризуется широким развитием покровно-складчатых структур и залегающих на них с несогласием неавтохтонных вулканогенных и осадочных толщ. Наиболее ранний этап покровно-складчатых деформаций фиксируется на западе полуострова.

Стратиграфия: меловые и кайнозойские осадочные, вулканогенно-осадочные и вулканогенные образования – покровные фации вулканических комплексов. Значительную часть территории слагают меловые осадочные и вулканогенные породы, метаморфизованные в разной степени (Государственная геологическая карта..., 2006).

Тектоника: переходная от континента к океану область северо-западного сегмента Тихоокеанского подвижного пояса, входит в Корякско-Камчатскую покровно-складчатую систему. Специфика региона определяется его положением на границе континента и океана, сочленением в его пределах Курило-Южнокамчатской и Камчатской островодужной систем, современными активными вулканическими и тектоническими процессами, высокой сейсмичностью.

Важное значение в формировании структур территории имеют разрывные нарушения различного характера, направления и протяженности. Характерными для полуострова тектоническими направлениями являются северо-южное меридиональное, северо-северо-восточное, северо-восточное, восточно-западное широтное, западно-северо-западное и северо-западное (Влодавец, 1940).

В расположении вулканов Камчатки выделяют две зоны: восточную, для которой характерна интенсивная современная деятельность, и западную, где вулканическая деятельность почти угасла. Указанные зоны разделяются протягивающейся вдоль полуострова депрессией, к которой приурочена долина реки Камчатка.

Действующие и потенциально активные вулканы Камчатки в большинстве своем приурочены к Восточному вулканическому поясу, протянувшемуся на 850 км от района Авачинской бухты на юге до вулкана Шивелуч на севере.



Основная часть вулканов этого пояса расположена в узкой зоне, шириной 20-30 км и длиной до 350 км. Обширное нагорье имеет выраженный двухъярусный рельеф. Нижний представлен плато и равнинами, образовавшимися в результате древних извержений. Верхний – это щитовые вулканы, стратовулканы, шлаковые конуса и экструзивные купола, образовавшиеся за последние миллион лет.

## **1.2 Ключевская группа вулканов**

Ключевская группа вулканов расположена в северной части Центральной Камчатской депрессии. Состоит из скопления отдельных вулканов и вулканических массивов на общем пьедестале, который представляет собой пологое щитообразное вулканическое плато высотой 900-1000 м, достигающее 100 км в поперечнике. Площадь, занимаемая вулканами данной группы вместе с лавовым пьедесталом, составляет около 8500 км<sup>2</sup>. Включает 14 вулканических сооружений, данные о которых отображены в таблице 1. Преобладающая часть вулканов превышает 3000 м, что создает благоприятные условия для накопления снега и дальнейшего образование льда (Виноградов, Муравьев, 1992; Камчатский край: [сайт]. URL: [kamchatsky-krai.ru](http://kamchatsky-krai.ru)).

**Таблица 1** – Вулканические сооружения Ключевской группы вулканов.  
Составлено автором на основе (Виноградов,1968; Камчатский край: [сайт]. URL: kamchatsky-krai.ru)

<b>Вулкан</b>	<b>Высота,м</b>	<b>Описание</b>
Ключевская Сопка	4750	Высочайший действующий вулкан всего материка, представляет собой правильный слабо расчлененный гигантский конус с крутизной в верхней части 30-35° и 7-15° в нижней. Диаметр кратера составляет 700 м. Особенностью строения ледяного панциря можно назвать большое количество пирокластического материала, среди которого – маломощные лавовые потоки.
Камень	4575	Потухший стартовулкан, связан с Ключевской Сопкой через седловину. С западной стороны данный вулкан имеет правильную коническую форму. На восточной части вулкана произошел масштабный сброс – обвал, поэтому здесь склоны крутые, достигающие до 70-80°.
Ушковский (Дальний Плоский)	3943	Вероятнее всего потухший, стратовулкан (но в 1983 г. в кратере одного из побочных конусов была обнаружена фумарола с температурой 83°C и прогретые участки площадью около 5000 кв. км). Вершина представляет собой кальдеру диаметром 5,5 – 6 км, благоприятную для накопления снега и льда.
Крестовский (Ближний Плоский)	4108	Потухший. Характеризуется плоской куполообразной вершиной, покрытой снегом и льдом, и сравнительно пологими склонами. На северо-восточном склоне имеется отрицательная форма рельефа, занятая ледником.
Острый Толбачик	3682	Потухший стратовулкан

(продолжение таблицы 1)

Плоский Толбачик	3085	Активный, действующий стратовулкан с кальдерой гавайского типа.
Безымянный	2882	Активный, действующий сложный вулканический массив. Гигантским взрывом 1956 года была уничтожена вершина вулкана, а также значительная часть его восточной половины.
Острая Зими́на Сопка	2744	Потухший стратовулкан.
Овальная Зими́на Сопка	3081	Потухший стратовулкан.
Большая Удина	2923	Потухший стратовулкан двухъярусного строения с правильным конусом.
Малая Удина	1945	потухший
Средний	2978	Потухший. С севера и запада он представляет собой правильный стратовулкан с мелкими барранкосами, но с юга и востока его склоны эродированы ледниками так, что вулкан теряет свою правильную форму. Считается также куском вершины соседнего вулкана Крестовский, отколовшимся и съехавшим к его подножию тысячи лет назад.
Заречный	754	потухший
Харчинский	1400	потухший

В расположении Ключевских вулканов выражаются три основных тектонических направления: меридиональное, северо-северо-восточное и западно-северо-западное.

По мнению В.И. Влодавца (Влодавец, 1940) депрессия между хребтами Срединным и Кумрочом в результате многочисленных геологических движений была разбита трещинами на отдельные чаще всего неправильные глыбы. Это в свою очередь привело к мозаичной структуре земной коры в этой области. В результате воздействия дислокационных сил глыба или несколько глыб под Ключевской группой вулканов подверглись частичному поднятию. По трещинам, окаймляющим эти поднимающиеся глыбы, расположились вулканы Ключевской группы и вулканы, находящиеся к

северу от нее. Отмечается также второстепенная роль в районе Ключевских вулканов характерных для всего полуострова тектонических направлений: Ключевской вулкан и Плоский Толбачик не соединены общим разломом.

Помимо характерных разломов и мозаичной структуры, возникших под действием региональных тектонических сил, среди вулканов Ключевской группы отмечаются и те разломы, образование которых можно связать с воздействием энергии самой магмы. Это, к примеру, радиальные и круговые трещины вокруг некоторых вулканических построек, происхождение которых объясняется только воздействием вулканических сил. Такие трещины распознаются по расположению паразитических кратеров.

В основании Ключевской группы вулканов залегают третичные и древнечетвертичные отложения, обнажающиеся по периферии группы в районе хребтов Кумроч и Тумрок на востоке и юге и в районе Срединного хребта на западе.

Древнечетвертичные вулканические образования представлены горизонтальными напластованиями туфобрекчий и основных лав, выраженные в рельефе ровными горными плато. Третичное основание перед формированием вулканического плато было выровнено и поднято (Виноградов, 1975). Третичные отложения в основании Ключевской группы вулканов имеют мощность до 11 000 м (на восточном побережье Камчатки), что объясняется наличием в данном районе глубоководной океанической впадины.

### **1.3 Авачинская группа вулканов**

Авачинская группа вулканов расположена на юго-востоке полуострова и относится к Восточной вулканической области. Включает 5 вулканических построек, характеристика которых приведена в таблице 2.

**Таблица 2** – Вулканические сооружения Авачинской группы вулканов. Составлено автором на основе (Виноградов,1968; Камчатский край: [сайт]. URL: kamchatsky-krai.ru)

Вулкан	Высота, м	Описание
Козельский	2189	Потухший. В его вершинной части располагается эрозионная кальдера диаметром до 1500 м. Она открыта на северо-восток и дает начало леднику Дитмара.
Авачинский	2751	Представляет собой сложную двойную постройку. Активный конус вулкана расположен внутри полуразрушенной кальдеры древнего усеченного конуса соммы. Молодой конус венчает действующий кратер в форме воронки диаметром около 400 м и глубиной около 200 м. Он расположен ближе к северному краю кальдеры, где атрио заполнено фирном и льдом. Этот участок благоприятен для накопления снега и образования ледников.
Корякский	3456	Имеет вид правильного остроконечного конуса с расходящимися радиально от вершины глубокими барранкосами, придающими ему ребристый облик. В северной части вершины расположен цирк диаметром около 500 м и глубиной до 100 м, дающий начало глубоким барранкосам.
Ааг	2310	Являются частью средневысотного Пиначевского хребта. Их склоны расчленены троговыми долинами, которые наверху
Арик	2156	заканчиваются ледниковыми цирками, имеющими отвесные стенки.

Вулканы данной группы, в отличие от Ключевской группы вулканов, не имеют лавового пьедестала. В плане представляют собой эллипс,

вытянутый в северо-западном направлении с осями примерно 35 и 15 км. Такое линейное расположение связано с наличием глубинного разлома северо-западного простирания. Значительно уступает по площади Ключевским вулканам – 300 км<sup>2</sup>. Объем вулканов Авачинской группы оценивается примерно в 125 км<sup>3</sup>. Ниже Ключевских вулканов (средняя высота – 2580 м), но и на них имеются современные ледники.

Начало формирования данной вулканической группы отсчитывают со среднего плейстоцена. Характеризуется наличием расположенных близко к поверхности магматическим очагом. По южной и восточной периферии Авачинской группы вулканов обнажаются наиболее древние слагающие ее складчатое основание породы – отложения мелового возраста. Нижняя часть толщи представляет собой порфириты и туфы, верхняя – различные кристаллические сланцы. Северо-западнее данной группы обнажаются третичные отложения, нижняя толща которых представлена порфиритами андезитового и андезито-базальтового состава (Виноградов, 1975).

Породы Авачинской группы вулканов представлены базальтами, андезито-базальтами, андезитами, андезито-дацитами и дацитами. Отмечается возрастание основности вулканизма к центру группы: андезиты наиболее распространены на крайних вулканах ряда, базальты и андезито-базальты – на Авачинском вулкане (Масуренков, Егорова, 1985).

## Глава II. Климатические условия

### 2.1 Особенности климата полуострова

Впервые общую характеристику климата полуострова дал А.И Воейков в 1884 году: он первый пришел к выводу о том, что Камчатку не следует относить к области муссонов (Каталог ледников...,1968).

В.И Кондратюк в своей монографии «Климат Камчатки» (Кондратюк, 1974) рассматривает следующие географические факторы, влияющие на формирование климата Камчатки:

#### 1. Географическая широта

Климат, в условиях которого существует современное оледенение полуострова, определяется его положением на восточной окраине Евразии и меридиональным простираем: Камчатская область расположена в средних и частично северных широтах восточной окраины России. Широта южной ее оконечности – мыс Лопатка – примерно соответствует широте Киева, а самая северная точка области – поселок Верхне – Пенжино – расположена севернее Архангельска. Эта особенность является причиной значительных термобарических контрастов и активной циклонической деятельности (Муравьев, 1994).

#### 2. Влияние окружающих морей

На климат полуострова существенное влияние оказывает Тихий океан и омывающие Камчатку Берингово и Охотские моря: для территории характерны небольшие амплитуды годовых температур воздуха, малая мощность облаков вертикального развития, малая повторяемость числа дней с грозой и градом.

В холодный период моря оказывают отепляющее влияние на прибрежные районы области. В начале зимы Охотское море еще свободно ото льда и температура воды выше 0°C. Его отепляющее влияние проявляется почти на всем западном побережье. Но уже в декабре северо-

восточная его часть покрывается льдом, и влияние Охотского моря незначительно. Тепловое воздействие Берингова моря существенно больше. В марте почти половина Берингова моря покрывается льдом, но его центральная и западная глубоководные части остаются свободными. Это приводит к тому, что отепляющее воздействие Берингова моря проявляется на восточном побережье в течение всей зимы. Воздействие на климат Тихого океана наиболее заметно на юге полуострова и на юго-восточном побережье. Значения температуры воздуха в январе-феврале здесь выше, чем показатели на западном.

Весной и в первую половину лета окружающие моря, особенно более холодное Охотское море, оказывают уже значительное охлаждающее влияние, которое зачастую распространяется и дальше вглубь полуострова. Охлаждающее влияние морей возрастает к югу и наибольших значений достигает в мае – июне. Это приводит к тому, что температура воздуха на побережьях весной и в первой половине лета ниже, чем в центральных районах области (Кондратюк, 1974).

### 3. Влияние рельефа

Хребты Срединный и Восточный являются защитой от наблюдаемых на побережье выносов. Восточный хребет существенно затрудняет проникновение в центральные районы теплого влажного морского воздуха. Рельеф оказывает значительное влияние и на циркуляцию атмосферы. Так, если на побережье очень часто наблюдаются ураганные ветры, то в долинах рек и в горных долинах такие явления становятся редкими. В теплое время побережья характеризуются развитой бризовой циркуляцией, горы – горно-долинной. Над ледниками нередко преобладание холодных ледниковых ветров.



## 2.2 Климатические условия районов Ключевской и Авачинской групп вулканов

Для исследования климатических условий и изменчивости климата нами были выбраны следующие наиболее репрезентативные для изучаемых районов станции:

*Ключевская группа вулканов:* Ключи (56° 19' с.ш 160° 50' в.д., 29 м, подножие Ключевских вулканов), Эссо (55° 56' с.ш 158° 43' в.д., 481 м, Срединный хребет).

*Авачинская группа вулканов:* Петропавловск-Камчатский (52° 59,388' с.ш. 158° 39,3' в.д., 22 м), Сосновка (53° 05' с.ш. 158° 18' в.д., 37 м) – все расположены вдоль Авачинской губы, в понижении.

Источники данных, использовавшихся как для составления общего климатического описания, так и для статистической характеристики климата, отражены в таблице 3.

**Таблица 3** – Источники климатических данных

Станция	Период	Температура	Осадки
<i>Ключевская группа вулканов</i>			
Ключи	1961-2005 гг.	[40]	[40]
	2006-2014-17 гг.	[40]	[40]
Эссо	1961-2005 гг.	[40]	[40]
	2006-2017 гг.	[40] (до 2008 г.)	[40] (до 2008 г.)
		[31] (2009 – 2017 гг.)	[31] (2009-2017 г.)
<i>Авачинская группа вулканов</i>			
Сосновка	1961-2005 гг.	[40]	[40]
	2006-2017 гг.	[40] (до 2008 г.)	[40] (до 2008 г.)
		[15] (2009-2017 гг.)	[15] (2009-2017 г.)
Петропавловск-Камчатский	1961-2005 гг.	[40]	[40]
	2006-2017 гг.	[40] (до 2017 г.) [30](за 2017 г.)	[40]

### 2.2.1 Температура воздуха

Ключевская и Авачинские группы вулканов лежат на разных расстояниях от побережья: Ключевская – на расстоянии 130 км, Авачинская на 100 км ближе. Такое расположение сказывается в различии климатических показателей для станций обеих групп.

Омывающие восточное побережье полуострова Берингово море и Тихий океан оказывают неодинаковое влияние на изучаемые территории. В холодный период, как уже было отмечено, существенно отепляющее воздействие Берингова моря, оно проявляется на восточном побережье в течение всей зимы. Тихий океан оказывает наиболее заметное воздействие на юг, юго-восток полуострова - как раз на район Авачинских вулканов.

И действительно, проанализировав данные по температурам воздуха на метеостанциях изучаемых районов (см. Приложение А), мы пришли к выводу, что район Авачинской группы вулканов характеризуется более высокими температурами за холодный период (до  $-6^{\circ}\text{C}$  против  $-10,1 - 10,9^{\circ}\text{C}$  в районе Ключевской группы вулканов).

Среднегодовая температура в районе подножия Ключевских вулканов (метеостанция Ключи) за период с 1961-2017 гг. отрицательна и составляет  $-0,3^{\circ}\text{C}$ . Среднегодовые температуры Авачинской группы вулканов значительно выше и доходят до  $+2,7^{\circ}\text{C}$  (данные с метеостанции Петропавловск-Камчатский).

Район Ключевской группы вулканов отличается континентальностью климата: разницы температур между самым теплым (июль-август) и самым холодным (январь) месяцами здесь составляют  $31-32^{\circ}\text{C}$ . Для Авачинских вулканов характерны значения  $20-24^{\circ}\text{C}$ .

Вертикальный температурный градиент для Авачинских вулканов составляет около  $0,4^{\circ}$  на каждые 100м. В районе Ключевской группы в связи с более низкой среднегодовой температурой воздуха и континентальностью

климата вертикальный температурный градиент будет несколько выше и составит около  $0,5^{\circ}$  на 100 м (Виноградов, 1968).

Продолжительность *холодного периода* на территории Ключевских вулканов составляет шесть месяцев. Для Авачинской группы вулканов характерен 5-6-ти месячный холодный период (варьируется на разных станциях). Минимальная отрицательная температура наблюдается в январе, и разница её между двумя районами составляет около  $8^{\circ}\text{C}$  ( $-10,5^{\circ}\text{C}$  для станции Сосновка и  $-18,3^{\circ}\text{C}$  для станции Эссо). Абсолютный минимум температуры воздуха составил  $-26,7^{\circ}\text{C}$  для территории Ключевской группы вулканов и  $-18,1^{\circ}\text{C}$  – для Авачинской.

В *теплый период* окружающие моря оказывают уже значительное охлаждающее действие на прилегающие территории, поэтому для этого периода характерно сглаживание контрастов между средними температурами обоих районов. Средняя температура за теплый период и на территории Ключевской группы вулканов, и на Авачинской составляет около  $8-9^{\circ}\text{C}$ . Максимальные значения температур в районе Ключевских вулканов приходится на июль-август, в районе Авачинской группы вулканов – на август.

### **2.2.2 Атмосферные осадки**

В районе Ключевской группы вулканов осадков выпадает значительно меньше, чем на территории Авачинской группы (см. Приложение А). Это связано с удаленностью первой от побережья, а также с её более северным положением. Средние годовые суммы осадков на территории Ключевских вулканов колеблются от примерно 400 мм до 600 мм (418,6 мм за год зафиксировано на станции Эссо, 649,9 мм – на метеостанции Ключи).

Этот же показатель для Авачинских вулканов составляет около 900-1200 мм (907,7 мм наблюдалось на станции Сосновка и 1259,9 мм – на станции Петропавловск-Камчатский).

По данным метеостанций Ключи количество осадков за холодный период составляет около 52% от годовой суммы. Для Авачинской группы вулканов по данным метеостанции Сосновка на долю осадков, выпадающих в течение холодного периода, приходится около 40% от общей суммы; по данным метеостанции Петропавловск-Камчатский – примерно 48%.

В целом же количество осадков в течение года на территории Авачинских вулканов распределено относительно равномерно (по сравнению с ситуацией на территории Ключевской группы вулканов).

В течение холодного периода максимум выпадения осадков отмечается в зимние месяцы, что можно связать с наибольшей повторяемостью прохождения циклонов. В теплый период максимальное месячное количество осадков на территории обеих групп вулканов приходится на июль – август: 49,2 мм и 70,8 мм наблюдается на станции Ключи; 72,1 мм и 70,5 мм – на станции Эссо; 73,0 мм и 107,2 мм зарегистрировано на станции Сосновка; 64,0 мм и 95,0 мм – на ст. Петропавловск-Камчатский.

### **2.2.3 Ветровой режим**

Районы Ключевской и Авачинской групп вулканов характеризуются несколько иным ветровым режимом, чем участки побережий. На направление и силу ветра влияет расположение вулканических массивов и долин рек. Особенно сильно влияние рельефа на режим ветра проявляется в районе Ключевской группы вулканов. На севере преимущественные направления – западные и восточные; на западе – северные и южные. Это связано с конфигурацией долины реки Камчатка, которая огибает массив с запада и севера. В районе Авачинской группы вулканов отмечается типичное для Камчатского полуострова преобладание ветров, связанное с синоптической обстановкой в различное время года. Зима – северные, северо-западные ветры. В теплое время – южные, юго-восточные. На вулканических постройках наблюдается несколько иное направление и

значительно большая скорость ветра по сравнению с равнинными участками (Виноградов, 1975).

#### **2.2.4 Снежный покров**

Раньше всего, в первой декаде октября, снежный покров появляется на крайнем севере области и в горных районах полуострова. Позже всего, во второй декаде ноября, - на юго-восточном побережье. На остальной территории появление снежного покрова характерно для периода со второй половины октября до первой декады ноября.

В целом же, время выпадение первого снега совпадает с осенней датой перехода температуры воздуха через  $0^{\circ}$ . Образование устойчивого снежного покрова происходит через одну-две недели после выпадения первого снега (Кондратюк, 1974).

Распределение снежного покрова на вулканических массивах выше пояса древесно-кустарниковой растительности крайне неравномерно. Возвышенности, крутые склоны освобождаются от снега. В целом для них характерно непостоянство высоты снежного покрова. В отрицательных формах рельефа, напротив, независимо от высоты и подветренных склонов вулканов, в холодный период накопление снега и увеличение высоты снежного покрова идет постоянно.

Вулканы Ключевской группы характеризуются большими по сравнению с вулканическими постройками Авачинской группы водозапасами в снежном покрове. Поэтому здесь располагаются максимальные по размеру ледники полуострова, такие как ледник Эрмана, ледник Бильченок (Виноградов, 1975).

### **2.3 Статистическая характеристика климата**

В рамках данной работы был проведен анализ колебаний климатических условий по двум характеристикам – осадки и температура

воздуха, так как они являются интегральными индикаторами климата и играют важную роль в режиме ледников. В первую очередь были рассчитаны коэффициенты корреляции как внутри групп, так и межгрупповые. Результаты вычислений отображены в таблице 4.

**Таблица 4 – Межгрупповые коэффициенты корреляции**

<b>Температура</b>		
<b>Ключевская группа/Авачинская группа</b>	<b>П-К</b>	<b>Сосновка</b>
<b>Ключи</b>	0,88	0,83
<b>Эссо</b>	0,60	0,8
<b>Осадки</b>		
<b>Ключевская группа/Авачинская группа</b>	<b>П-К</b>	<b>Сосновка</b>
<b>Ключи</b>	0,23	0,26
<b>Эссо</b>	0,16	0,11

Коэффициенты корреляции по среднегодовой температуре воздуха достигают значений 0,8-0,9. Самая низкая теснота связи отмечена для станций Петропавловск-Камчатский (Ключевская группа вулканов) и Эссо (Авачинская группа вулканов).

Связь по суммам осадков между станциями гораздо ниже. Значение коэффициента колеблется в пределах 0,1-0,3. Наиболее высока корреляция ( $r=0,26$ ) – между станциями Сосновка и Ключи.

Коэффициенты корреляции для станций Ключевской группы вулканов по температуре воздуха составляют примерно 0,62. Для осадков  $r$  составил немногим больше 0,5.

Для станций, расположенных на территории Авачинской группы вулканов коэффициенты корреляции по температуре воздуха и по осадкам составили соответственно 0,82 и 0,67.

В целом, межгрупповые коэффициенты корреляции меньше, чем внутригрупповые, что указывает на различие климатических режимов рассматриваемых районов и на тесноту связи внутри групп.

Для определения трендов изменения метеорологических элементов были построены прямые регрессии и рассчитаны коэффициенты регрессии R для каждой из станций. Дополнительно построены графики хронологического распределения метеорологических данных. Значения рассчитанных коэффициентов регрессии представлены в таблицах 5 и 6.

**Таблица 5** – Коэффициенты регрессии (Ключевская группа вулканов)

<i>Станция Ключи</i>		
	<b>1961-2005</b>	<b>2006-2017</b>
<b>температура</b>	0,0276	0,0863
<b>осадки</b>	-0,1196	0,4188
<i>Станция Эссо</i>		
	<b>1961-2005</b>	<b>2006-2017</b>
<b>температура</b>	0,0397	-0,0663
<b>осадки</b>	-0,1539	0,0789

**Таблица 6** – Коэффициенты регрессии (Авачинская группа вулканов)

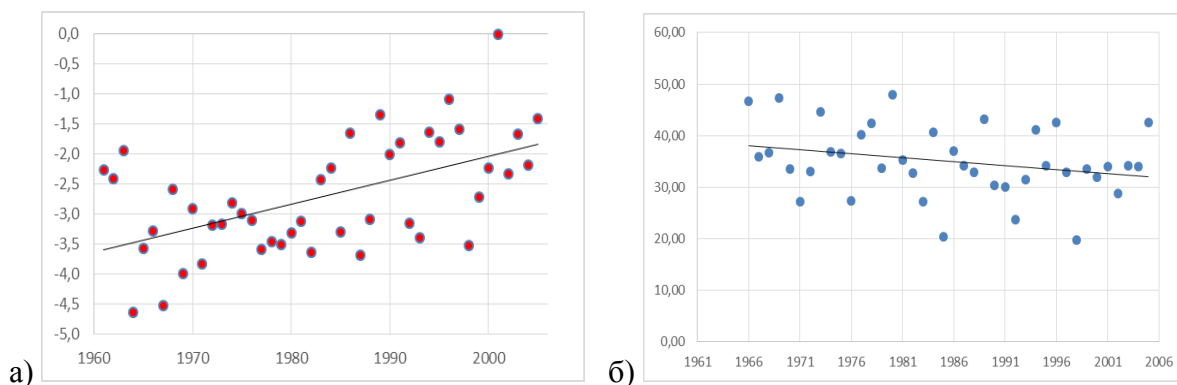
<i>Станция Сосновка</i>		
	<b>1961-2005</b>	<b>2006-2017</b>
<b>температура</b>	0,0233	0,0347
<b>осадки</b>	-0,2915	-0,5059
<i>Станция Петропавловск-Камчатский</i>		
	<b>1961-2005</b>	<b>2006-2017-</b>
<b>температура</b>	0,0188	0,0494
<b>осадки</b>	-0,7449	0,7628

### 2.3.1 Ключевская группа вулканов

За период с 1961 по 2005 год в районе станции Ключи, приуроченной к подножию Ключевской группы вулканов, наблюдалось постоянное повышение среднегодовых температур воздуха (коэффициент регрессии составил 0,0276, т.е температура за 10 лет повысилась примерно на 0,3°C), а также снижение количества осадков ( $R=-0,1196$ ) (рисунок Б.1 - а).

На основе новых данных (2006-2017 гг.) можно сделать вывод не просто о сохранении тенденции к увеличению значений температуры, но и её резком увеличении:  $R=0,0863$ , что соответствует повышению почти на 1°C за рассматриваемый период. В случае осадков тенденция к уменьшению сменяется на противоположную: их количество активно начинает увеличиваться ( $R=0,4188$ ) (рисунок Б.2).

Обратимся теперь к рядам данных для метеостанции Эссо. Она – наиболее показательная для данного района, так как располагается в глубине континента на значительной высоте и лучше улавливает происходящие изменения. Линия тренда температур отчётливо отражает тенденцию к их увеличению в период с 1961 по 2005 год. Среднегодовые суммы осадков, наоборот, уменьшаются (рисунок 1). А вот новые данные говорят о смене тенденций за последние 12 лет: температура падает, а количество осадков растёт (рисунок Б.4).



**Рисунок 1** – Тенденция изменения среднегодовых значений температуры воздуха (а) и осадков (б) на станции Эссо с 1961-2005 гг.



В общем ходе среднегодовых температур воздуха для станции Ключи наблюдается рост показателей в период с 1975 по 1985 гг. Затем отмечается снижение среднегодового значения температуры воздуха, но общая тенденция к потеплению сохраняется (рисунок Б.5 – а).

Примерно такая же ситуация наблюдается на графике многолетнего хода среднегодовых температур воздуха для станции Эссо. И хотя сами значения температур здесь ниже, чем полученные на станции Ключи (это скорее всего связано с более удаленным от берега положением Эссо, а также с различием в высотах их расположений) на станции также наблюдается тенденция к увеличению среднегодовых значений (рисунок Б.5 – б).

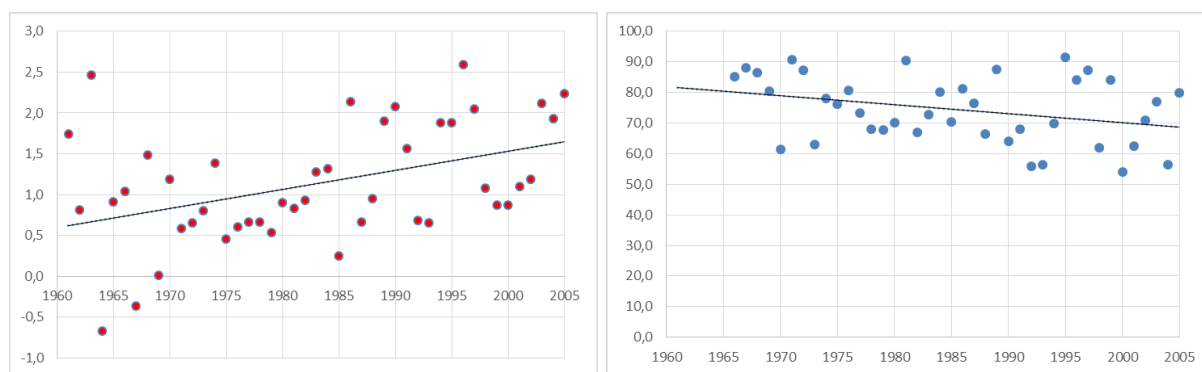
Осадков в районе станции Ключи выпадает больше, чем на территории станции Эссо, что также можно связать с различием в их расположении. Кривые многолетнего хода имеют сходные черты, а именно характеризуются незначительным уменьшением количества осадков к концу периода наблюдений. На станции Ключи отмечается повышение количества осадков с начала и до середины 70-х гг., а в дальнейшем их снижение в период с середины 70-х до конца 80-х (рисунок Б.6 - а).

В это время на станции Эссо происходили подобные изменения, но не столь ярко выраженные, а уменьшение количества осадков продолжалось только до начала 80-х; середина 80-х – начало 90-х здесь характеризуется незначительным повышением количества осадков (рисунок Б.6 - б).

Можно говорить, что в период с 1961 по 2005 год климатические условия не способствовали сохранению оледенения. Но, так как за последние 12 лет ситуация изменилась на противоположную, вероятно, что дальнейшая потеря оледенения на территории прекратится и, возможно, при сохранении этих тенденций, будет отмечаться наступление ледников.

### 2.3.2 Авачинская группа вулканов

На основе расчетов коэффициентов регрессии для станции Сосновка можно сделать вывод о том, что в период с 1961 по 2005 год отмечается тенденция к увеличению значений среднегодовой температуры воздуха. Коэффициент регрессии ( $R$ ) составляет 0,0233, что в среднем соответствует повышению температуры на  $0,23^{\circ}\text{C}$  за 10 лет (рисунок 2). Новые данные за последние 12 лет (2006-2017 гг.) говорят о незначительном сокращении в возрастании среднегодовых температур:  $R=0,0347$  (рисунок В.2 – а).



а)

б)

**Рисунок 2** – Тенденция изменения среднегодовых значений температуры (а) и осадков (б) на станции Сосновка с 1961 по 2005 гг.

В период с 1961 по 2005 отмечается постепенное снижение среднегодовых сумм осадков. Коэффициент регрессии составил -0,2915. Данные для периода с 2006 по 2017 год также характеризуются отрицательным  $R = - 0,5072$ , что говорит о сохранении тенденции уменьшения количества осадков. (рисунок В.2 - б).

На станции Петропавловск-Камчатский в период с 1961 по 2005 год температура также характеризуется повышением: около  $0,2^{\circ}\text{C}$  за 10 лет ( $R=0,0188$ ); в случае среднегодовых сумм осадков, здесь, как и на станции Сосновка, отмечается противоположная тенденция – они уменьшаются ( $R=-0,7449$ ) (рисунок В.3).

Данные по обоим показателям, полученные за последние 12 лет говорят о сохранении тенденции повышения среднегодовых температур воздуха (значение коэффициента регрессии составило 0,0494, т.е. в течение этого времени температура увеличилась почти на  $0,5^{\circ}\text{C}$ ), и её изменении для осадков: их количество начинает возрастать ( $R=0,7628$ ) (рисунок В.4). Стоит отметить, что метеостанция Петропавловск-Камчатский имеет слабую степень репрезентативности для оценки этой группы вулканов, так как располагается близко к городу.

В общем ходе среднегодовых температур воздуха для станции Сосновка наблюдается повышение значений в рассматриваемый период. Примерно до 1980 г. характеризуется снижением показателей, а с 1985г. – постепенным возрастанием (рисунок В.5 – а).

Из графика хронологического распределения данных для станции Петропавловск-Камчатский видно, что среднегодовая температура воздуха здесь выше, чем зафиксированная на станции Сосновка, что скорее всего связано с различием в их расположении. На данной станции повышение среднегодовой температуры воздуха выражено не так ярко. Отмечается значительное увеличение значений в период с конца 70-х до середины 80-х гг. Затем – снижение, а примерно с конца 90-х температура начинает возрастать (рисунок В.5 - б).

Осадков в районе станции Петропавловск-Камчатский выпадает больше, чем на территории станции Сосновка. На последней отчётливо проявляются колебания в многолетнем ходе сумм осадков. Можно отметить тенденцию к уменьшению увлажнения. На станции Петропавловск-Камчатский колебания не выражены, но также присутствует уменьшение количества осадков (рисунок В.7).

В целом район Авачинской группы вулканов характеризуется постепенным увеличением температурных значений и сокращением

количества осадков, что является неблагоприятными условиями для существования ледников. За последние 12 лет количество осадков стало постепенно увеличиваться, что может компенсировать увеличение температур и препятствовать дальнейшей деградации оледенения на данной территории.

## Глава III. Вулканическая активность и ледники

### 3.1 Морфология оледенения

Современные ледники вулканических районов Камчатки отражают морфологию вулканов. Наиболее подробная классификация основных типов ледников на данной территории представлена в работе (Каталог ледников..., 1968).

Основные центры современного оледенения Камчатки приурочены главным образом к крупным стратовулканам. Вершина такого вулкана представляет собой *кратер* – чашеобразное/воронкообразное углубление, образование которого связано со взрывами, происходящими во время извержения. Диаметр кратеров варьируется в пределах 2-3 км, глубина, как правило, составляет 250-300 метров.

Гораздо реже встречаются более крупные отрицательные формы рельефа – *кальдеры* (достигают от 4-5 до 10-15 км в поперечнике). Они образуются при гигантских взрывах или в результате провальных процессов после крупных извержений. После образования кальдеры вулканическая деятельность нередко возобновляется и происходит образование нового вулкана. Если же диаметр нового конуса меньше поперечника кальдеры, то возникает своеобразная кольцевая структура – *атрио*.

Склоны активных стратовулканов мало расчленены эрозией. Но на склонах потухших вулканов или вулканов со слабой эрозионной деятельностью, где аккумуляция вулканических продуктов недостаточно сильна, возникают многочисленные глубокие, радиально расходящиеся от вершины промоины – *барранкосы* (Виноградов, 1975).

Морфология вулканических построек играет большую роль в развитии современного оледенения и в распределении снежного покрова. Формирование отрицательных вулканических форм рельефа (таких, как кратеры, кальдеры, атрио, барранкосы) способствует созданию

благоприятных условий для накопления снежного покрова. С выпуклых частей склонов и вершин в свою очередь снег сносится.

В зависимости от морфологии вулканов развиваются те или иные типы ледников: кратерные, кальдерные, кальдерно-долинные, атрио, атрио-долинные, ледяные шапки и пояса, ледники барранкосов, обвальных и взрывных цирков.

### **3.2 Механизмы влияния вулканической активности на снежный покров и ледники**

Современный вулканизм на Камчатке проявляется с различной интенсивностью и в различных формах. Так отмечались извержения вулканов в виде взрывов с выделением больших объемов пирокластического материала; другие извержения сопровождались излиянием жидкой лавы. Между извержениями вулканы находятся в фумарольной стадии, характеризующейся выделением паров и газов. Вулканическая активность оказывает огромное влияние на различные компоненты природы: почвенный покров, растительность, живые организмы.

Еще в работе (Виноградов, Муравьев, 1987) отмечается значительное влияние вулканизма на ледниковую деятельность, в частности упоминаются такие явления, как уничтожение части ледника в результате извержений и накопление большого количества пирокластического материала в толще ледника. Помимо этого, обращается внимание и на некоторые особенности древнего оледенения, связанные также с деятельностью вулканов: широкое распространение ледников подножий, область питания которых располагалась на высоких вулканических сооружениях; формирование отрицательных вулканических форм рельефа, благоприятных для накопления снега.

В целом, влияние на снежный покров и ледники может происходить следующими путями:

- формирование водного стока лахаров

Образование таких потоков в нивально-гляциальной зоне связано с последовательными процессами преобразования потоков изверженного материала при взаимодействии с ледниковым покровом. В результате исследования более сотни известных случаев схода лахаров было установлено, что самым существенным фактором развития катастрофических явлений являются именно пирокластические потоки, воздействующие на снежно-лавовый поток при извержениях плинианского типа андезитовых вулканов (Сейнова, Черноморец, 2017). Так, на Ключевской сопке при поверхностном извержении лавовых потоков сход лахаров был зафиксирован в 18 случаях.

Предпосылками паводков и селевых потоков были в том числе разрушения и подвижки ледников, внутриледниковое излияние лав, быстрое таяние льда и снежного покрова. Сели, характерные для рассматриваемых районов подразделяют обычно на два основных типа: гляциально-вулканические, происхождение которых связано с таянием ледников в результате извержений и нивально-вулканические, связанные с таянием снега (Сейнова, Черноморец, 2010).

- запыление снежного покрова

Эксплозивные извержения выносят большое количество тонкого материала: пепла и песка. Этот материал обычно разносится на огромные расстояния (в частности в районе Ключевской группы вулканов ежегодно фиксируются покрытия пеплом больших пространств). Запыление снежного покрова ведет к интенсивному таянию снега и, как следствие, после извержений часто фиксируют ранний сход снежного покрова.

- перенос пирокластического материала временными водотоками и образование снежников

В районах действующих вулканов, площади которых сложены рыхлым пирокластическим материалом, наблюдаются снежники мощностью около 4-6 м, располагающихся на высотах более 1000 м, но значительно ниже снеговой линии. Отличительной чертой этих образований является наличие на их поверхности слоя рыхлого материала. Если толщина пирокластического материала более 5 см, то он начинает играть роль теплоизолятора и предохраняет лежащий под ним снежный покров от интенсивного таяния.

- механическое уничтожение и «захоронение» ледников

При катастрофических извержениях, когда взрывается часть вулканической постройки, вместе с ней уничтожаются и ледники. Лавовые потоки и образующиеся раскаленные лавины и лахары также полностью уничтожают или отчленяют части ледников. В случае «отчленения» говорят об образовании «мёртвого» льда – остатков ледника, прекратившего своё движение. Встречается он ниже активного ледникового языка и часто не имеет четкой границы с последним. Обычно покрыт слоем пирокластического материала, что затрудняет его таяние и способствует захоронению.

Помимо вышесказанного, одно из основных следствий такого непосредственного контакта лавовых потоков и ледяных массивов представлено образованием многочисленных вторичных взрывов, называемых фреатическими. Называются наиболее благоприятные условия для формирования вторичных взрывов - перекрытие лавовыми потоками мощностью более 5 м небольших изолированных объемов льда (Виноградов, Муравьев, 1987). Также приводится наиболее простая модель формирования и протекания фреатического взрыва. Весь процесс разбит на следующие стадии: 1) плавление льда и нагревание талой воды до температуры кипения без существенного увеличения объема погребенной массы; 2) испарение воды, сопровождающееся значительным увеличением объема; 3) прорыв лавового покрова и истечение пароводяной смеси – фреатический взрыв.



Упоминаются и случаи уничтожения части ледника подледным взрывом в результате углубления лавового потока под поверхность ледника и его дальнейшего движения уже подо льдом, например, как это произошло с ледником Богдановича (Сейнова, Черноморец, 2010).

- таяние ледников

Немалую роль в изменении ледникового покрова играет и осаждающийся на их поверхности раскаленный пирокластический материал. Если ледники расположены достаточно близко к центрам извержений, то этот материал приводит к их таянию. Если на большом расстоянии, то таяние незначительно в связи с быстрым остыванием пирокластического материала. Здесь он начинает играть роль теплоизолятора.

- воздействие чехла пирокластического материала

Ледники районов активного вулканизма прикрыты чехлом пирокластического материала, мощность которого возрастает при продвижении от фирновой линии к концам языков. Значение мощности в 10-20 см способствует интенсивному таянию. Большие значения – консервации ледника (в мощном слое пирокластического материала сглаживается разность дневных и ночных температур и таяние замедляется). При мощности пирокластики более 100 см, таяние льда не происходит.

Таким образом, в связи с тем, что вулканизм оказывает влияние на режим и динамику ледников, для наиболее полной характеристики последней на основе литературных источников были составлены таблицы крупнейших извержений, происходивших на территории Ключевской и Авачинской групп вулканов в период с 1950 по настоящее время (см. Приложение Г).

## **Глава IV. Дистанционные исследования территории Ключевской группы вулканов**

Вулканические районы Камчатского полуострова относятся к труднодоступным регионам. В этих случаях дистанционные методы исследования становятся чуть ли не единственным источником получения информации. Применение аналоговых и цифровых методов дистанционных исследований при региональном геоморфологическом анализе для территорий позволяет получить достаточно надежные геоиндикаторы для построения на их основе геоморфологической карты менее изученных, чем рассматриваемые территории, районы.

Для проведения данного вида дистанционного исследования использовалось учебное пособие «Аналоговые и цифровые методы дистанционных исследований при региональном геоморфологическом анализе» (Аналоговые..., 2017). При обработке дистанционной информации использовались снимки Landsat, полученные с сайта United States Geological Survey (USGS). Кроме космических снимков были использованы 4 листа (o57-141, o57-142, n57-009, n57-010) топокарты 1984-86 гг. (по состоянию на 1972-74 и 1979 гг.) масштаба 1:100 000, покрывающие рассматриваемую территорию (Карты всего мира: [сайт]. URL: <http://loadmap.net>). Обработка производилась в программах ArcGis 10.1. и Global Mapper 13.0.

### **4.1 Визуальный анализ**

В первую очередь было проведено визуальное дешифрирование (визуальный анализ экранного изображения) и выделены участки, отличающиеся между собой по прямым (геометрическим, яркостным, структурным) и косвенным (указывают опосредованно, через другие объекты и их свойства на наличие других объектов, явлений и их особенностей, которые не получили отображения на снимках) дешифровочным признакам:

1. Относительно пологие территории, покрытые растительностью.
2. Склоны действующих и потухших вулканов, интенсивно расчлененные эрозией (наличие барранкосов, трогов). На большей части площади склонов отмечается наличие снежного покрова.
3. Поверхности лавовых потоков, лишенные растительности.
4. Ледники («русла» ледников определяются по изменению светотеневого рисунка и яркости на склонах).
5. Крутые склоны вулканов, вершины которых осложнены кратерными воронками и покрыты снеговыми шапками.

#### **4.2 Неконтролируемая классификация**

Автоматизированное дешифрирование выполнялось в программе ArcGis 10.1. Использование неконтролируемой классификации характерно для тех случаев, когда заранее точно неизвестны спектральные характеристики и количество классов.

Для первого снимка было задано 6 классов, минимальный размер класса – 10, интервал выборки – 10 (рисунок Д.1).

Для второго снимка при использовании только 6 классов не удалось получить все предполагаемые зоны, поэтому число классов было увеличено до 9. В результате удалось получить более четкое результирующее изображение (рисунок Д.2).

В целом удалось достаточно точно определить принадлежность крупных объектов к тому или иному классу, но схожесть спектральных характеристик некоторых из них (в частности участков лавовых потоков и некоторых участков ледников) стала причиной погрешности классификации и появления крапчатого рисунка результирующего изображения.

### 4.3 Контролируемая классификация

Алгоритм выполнения контролируемой классификации подробно представлен в работе (Аналоговые..., 2017).

Он включает в себя следующие основные компоненты:

1. Создание выборки
2. Классификация изображения
3. Создание мозаики
4. Постклассификационная обработка
5. Векторизация

Для выполнения работы использовалась комбинация каналов 7-4-2. Перед началом работы в ArcGis 10.1 снимок «сшивался» в программе GlobalMapper 13.0.

*Определение классов объектов:* на основе результатов визуального дешифрирования, а также использования геоморфологических схем масштаба 1: 2 500 000 и эколого-геологической карты масштаба 1:1 000 000 (ВСЕГЕИ. База данных государственных геологических карт: [сайт].) были выбраны несколько наиболее репрезентативных участков для каждого класса. Операция осуществлялась с помощью инструмента Signature Editor.

После этого использовалась функция Merge (Слияние), позволяющая объединить характеризующие определенный класс спектральные значения в один. Такое использование нескольких наиболее показательных и характерных участков поможет получить усредненную спектральную характеристику для каждого класса.

В результате была создана обучающая выборка (Training Sample Manager – Create Signature File), включающая 6 классов:

1. Ледники (следы ледниковой экзарации)
2. Вершины вулканических построек, закрытые снежными шапками.
3. Крутые склоны действующих и потухших четвертичных вулканов, лишенные растительности, нередко расчлененные барранкосами. Вершины вулканов осложнены кратерными воронками. На анализируемых снимках большая часть площади данного класса характеризуется наличием снежного покрова.
4. Пологие и средней крутизны склоны преимущественно подножий крупных четвертичных вулканов со следами четвертичных лавовых потоков.
5. Глыбовые полого-наклонные поверхности четвертичных лавовых потоков. Лишены растительности.
6. Поверхности четвертичных лавовых потоков и участки аллювиально-пролювиальных конусов выноса и шлейфов, покрытые растительностью.

*Классификация:* готовый файл с выборкой использовался для проведения контролируемой классификации по методу максимального правдоподобия (Maximum Likelihood Classification). Он основывается на статистическом подходе и позволяет избежать лишнего спектрального «шума» на финальном изображении, так как учитывает колебания признаков и допускает отнесение пикселей, характеризующихся низкой частотой проявления, к другим классам.

*Постклассификационная обработка:* подготовка растрового изображения к векторизации. Представляет собой процесс удаления шума и улучшения качества результирующего изображения.

Первый этап такой обработки – фильтрация (инструмент Majority Filter). Данный инструмент заменяет ячейки на растре, используя значения

большинства смежных соседних ячеек. В качестве фильтра использовались ближайšie 4 ячейки.

Второй шаг – сглаживание полученных границ (инструмент Boundary Clean), метод сортировки Ascend, т.е. происходит сортировка зон по возрастанию в соответствии с их размером. Это означает, что зоны пикселей, имеющие меньшую площадь, более приоритетны при расширении в зоны с большей общей площадью. Использование данного инструмента повышает пространственную целостность изображения.

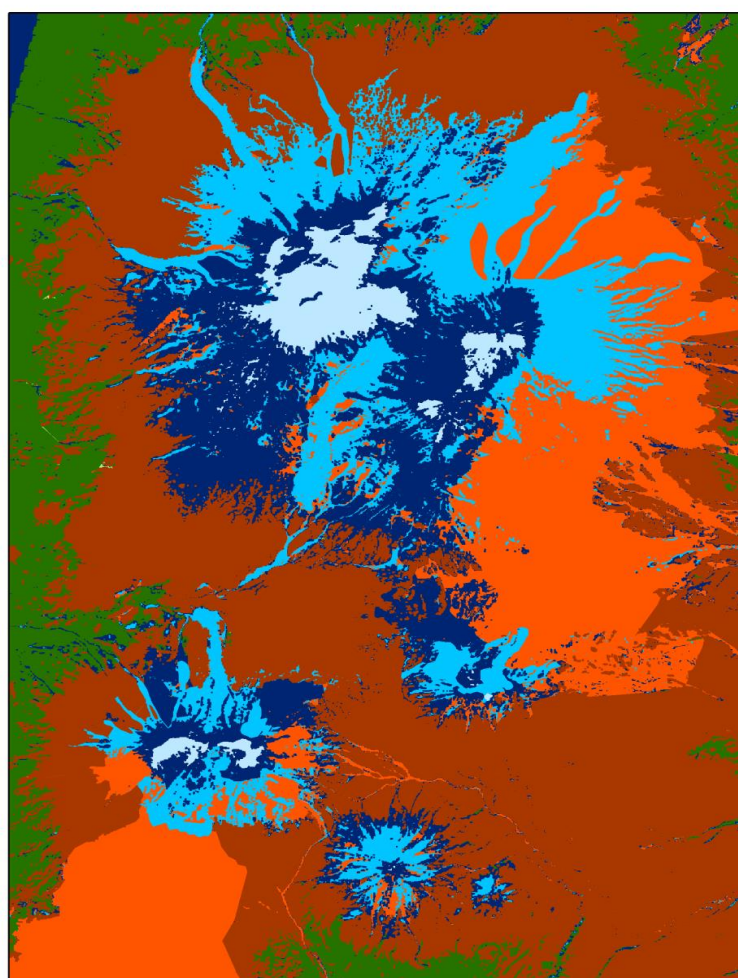
Последний этап – генерализация, или удаление небольших изолированных регионов. Использовались инструменты Region Group (Группировка), когда для каждой ячейки в выходных данных прописывается её принадлежность определенному региону; затем каждому региону присваивается уникальный номер. Количество соседних ячеек, которое использовалось для оценки смежности между ними, составило восемь. Таким образом, смежными считались ячейки, расположенные справа или слева, сверху или по диагонали относительно друг друга.

После группировки – инструмент Set Null (Установить ноль). Применение этого инструмента на основании заданного критерия позволяет установить значения No Data (Нет данных) для определенных ячеек. При анализе снимка по Ключевской группе вулканов был применен критерий «Count<1000», что позволило создать растр-маску, где значения No Data были установлены для всех групп ячеек размером менее 1000 пикселей.

Последним шагом было использование инструмента Nibble (Отсечение), который заменяет ячейки входного растра, соответствующие значениям ячеек No Data, новыми значениями (определяются по методу ближайшего соседства).

*Векторизация:* использование инструмента Raster to Polygon (Растр в полигоны), который конвертирует набор растровых данных в полигональные пространственные объекты.

В результате проделанной работы были получены две схемы, отображающие состояние изучаемой территории на сентябрь 2000 года (рисунок 3) и 2014 года соответственно (рисунок Д.4).



**Условные обозначения**

- Ледники
- Вершины вулканических построек, закрытые снежными шапками
- Крутые склоны действующих и потухших четвертичных вулканов, лишенные растительности, нередко расчлененные барранкосами.
- Пологие и средней крутизны склоны преимущественно подножий крупных четвертичных вулканов со следами четвертичных лавовых потоков.
- Глыбовые полого-наклонные поверхности четвертичных лавовых потоков. Лишены растительности.
- Поверхности четвертичных лавовых потоков и участки аллювиально-пролювиальных конусов выноса и шлейфов, покрытые растительностью.

**Рисунок 3** - Геоморфологическая схема территории Ключевской группы вулканов, составленная по результатам контролируемой классификации

В целом использование такого метода классификации позволяет достаточно точно определить основные геоморфологические объекты территории. В частности, хорошо классифицируются следы четвертичных лавовых потоков и большие по площади ледниковые русла. Присутствуют и небольшие погрешности, обусловленные схожестью спектральных признаков отдельных объектов. В данном случае – это характерные для территории сухие реки, которые не удается отделить от следов вулканических потоков. А также некоторые участки склонов, которые на снимке 2000 года покрыты снегом, были определены в отличный от снимка 2014 года класс, где на рассматриваемых участках такого распространения снежного покрова не наблюдалось. Поэтому существует необходимость дополнять метод классификации с обучением визуальным дешифрированием.

Основной целью использования данного метода дистанционных исследований в настоящей работе была попытка установить возможность определения основного направления динамики оледенения района. На изображении (рисунок Д.5), полученном в результате наложения составленных на основе метода контролируемой классификации карт, можно проследить тенденцию к увеличению общей площади оледенения территории. Но использование полученной модели в качестве основы для дальнейших исследований требует уточнений (визуальное дешифрирование и результаты полевых работ).



## **Глава V. Основные черты режима и динамики ледников Ключевской и Авачинской групп вулканов**

### **5.1 Ледники Ключевской группы вулканов**

Под влиянием вулканической деятельности на данной территории сформировался особый вулкано-гляциальный комплекс, в котором выделяют три гляциальные зоны (Муравьев, Муравьев, 2016): ледяной пояс, расположенный на высотах от 4200 до 2400-3500 м; шлейф «пассивных» льдов на высоте до 1900-2000 м, который содержит массивы «мертвых» и погребенных льдов мощностью до 20-30 м; зона многолетнемерзлых пород (до высот 800-900 м).

Характерны для данной территории и так называемые «блуждающие» ледники. Они не имеют постоянных каналов стока, меняют русло и размеры под влиянием вулканических извержений.

Ледники Ключевской группы вулканов, как правило, расположены группами, иногда образуют сложные ледниковые комплексы, приуроченные к наиболее высоким и значительно расчлененным вулканическим постройкам. Особенность вулканов и вулканических массивов приводит к тому, что в расположении ледников определяющим фактором являются климатические условия. Именно поэтому основная часть ледников приурочена к склонам северных экспозиций. Высшие точки ледников определяются высотой вулканических построек, а нижние концы зависят от размера области питания и интенсивности аккумуляции вещества.

Ледники приурочены к трем изолированным массивам: вулканы Ключевской, Камень, Крестовский и Ушковский; вулканы Большая Зимина и Малая Зимина; вулканы Плоский Толбачик и Острый Толбачик.

### 5.1.1 Состояние оледенения на 1950-1975 гг.

На момент составления Каталога ледников СССР (1950 год) на территории Ключевского вулканического массива выделялся 31 ледник, общая площадь которых с учетом переоценки площади отдельных ледников из (Муравьев, Муравьев, 2016) составляла 200,1 км<sup>2</sup> (223,1 км<sup>2</sup> с учетом площади Ключевского ледяного пояса).

#### 1) Вулканы Ключевской, Камень, Ближний Плоский и Дальний плоский

Этот очаг крупнейший не только для этой группы, но и в целом на всем полуострове. Здесь выделялось 16 ледников общей площадью около 185,2 км<sup>2</sup>. Больше половины из них приурочены к склонам северной экспозиции, хотя, в целом, можно говорить о равномерности в их распределении. Среди морфологических типов выделяли ледники барранкосов (7 ледников), кальдерно-долинные ледники (3), обвальных цирков (2), переметно-долинные (2), долинные (1) и ледники ледяного пояса (1).

#### 2) Массивы вулканов Большая Зими́на и Овальная Зими́на

К данному массиву было приурочено 4 ледника общей площадью 11,8 км, которые принадлежат следующим морфологическим типам: ледник подножий, ледник обвальных цирков, ледяная шапка и один ледник барранкосов. Ледники не спускались ниже отметки 1300 м (при средней высоте массива 3081 м).

#### 3) Вулканы Плоский Толбачик и Острый Толбачик

Здесь выделялось 11 ледников площадью 26,1 км<sup>2</sup>. Основные морфологические типы: 8 ледников барранкосов, 1 кальдерный ледник и 2 ледника обвальных цирков. Все ледники барранкосов приурочены к склонам северной экспозиции.

## 5.1.2 Современное состояние

На рассматриваемой территории было идентифицировано только 28 из 31 ледника, присутствовавших в Каталоге. Не были опознаны два ледника: №148 (вулкан Плоский Толбачик) и №171 (вулкан Ключевской) (Муравьев, Муравьев, 2016). Эти небольшие по размеру ледники вполне вероятно были уничтожены во время одного из происходивших на данной территории извержений (см. Приложение Г). Также на склонах Ключевского вулкана по состоянию на 2012 г. было выделено 7 обособленных потоков льда площадью от 0,04 до 0,16±0,01 км<sup>2</sup>.

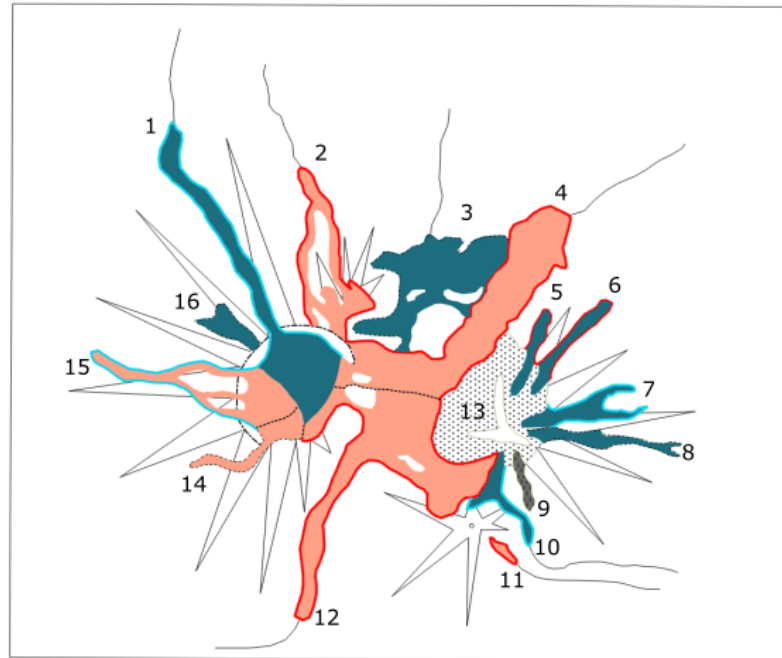
**Таблица 7** – Основные изменения площади ледников с 1950 по 2010-2015 гг. Составлено автором на основе (Виноградов, 1968; Муравьев, 2016).












Ледник	Площадь ледника в 1950 году, км <sup>2</sup>	Площадь ледника в 2010-2015 гг., км <sup>2</sup>	Изменение площади ледника, км <sup>2</sup> /%	Изменение положения фронта, м
Бильченок	21,8	19,72±0,5	-2,08/-9,5	-300
Эульченок	10,3	11,24±0,4	0,94/9,1	+330
Средний	22,0 (18,5)	17,19±0,53	-4,81/-21,9	-
Эрмана	34,2	42,33±1,16	8,13/23,8	+1950
Влодавца	5,0 (2,6)	2,29±0,07	-2,71/-54,2	+500
Сопочный	6,0 (3,6)	3,24±0,1	-2,76/-46,0	+95
Келля	5,7 (4,2)	1,79±0,1	-3,91/-68,6	-25
Пийпа	4,3	2,48±0,05	-1,82/-42,3	-
№171	0,9 (2,0)	не опознан на современных космических снимках	-	-
Шмидта	3,4	3,16±0,09	-0,24/-7,1	-1730
Каменский	0,7	0,74±0,02	0,04/5,7	+170
Богдановича	37,8	42,26±0,85	4,46/11,8	до +950
Ключевской	23,0	нет данных	нет данных	-
Козыревский	3,9	8,54±0,27	4,64/119	-
Ушковский	11,6	13,33±0,42	1,73/14,9	-340
№23	3,3	3,01±0,06	-0,29/-8,8	-
№24	4,3	1,67±0,11	-2,63/-61,2	-
Желтый	4,0	4,66±0,24	0,66/16,5	-25
№26	0,9	0,81±0,07	-0,09/-10,0	-
Попкова	2,6	2,76±0,15	0,16/6,2	0
№28	0,5	0,27±0,07	-0,23/-46,0	-
№29 (Капелька)	0,8	1,44±0,17	0,64/80,0	-55
№30 (Даечный)	0,9	0,79±0,15	-0,11/-12,2	-
№31 (Виноградова)	1,3	1,48±0,12	0,18/13,8	-140
№32 (Будникова)	1,4	1,73±0,05	0,33/23,6	-240
№33 (Бараний)	1,2	0,69±0,03	-0,51/-42,5	-
Института Вулк.	6,2	8,69±0,21	2,49/40,2	0
№156	1,9	2,64±0,07	0,74/38,9	-
Толбачинский	6,8	2,39±0,06	-4,41/-64,9	-
№147 (Черемошный)	4,4	4,43±0,12	0,03/0,7	-690
№148	0,7	не опознан на современных космических снимках	-	-

Общая площадь оледенения составляет примерно 208,8 км<sup>2</sup> (231,8 км<sup>2</sup>, учитывая Ключевской ледяной пояс). При расчетах на основе материалов из работы (Муравьев, Муравьев, 2016) были внесены следующие поправки: в современные данные добавлена площадь двух участков ледника «Обвальный» (участок прироста языка площадью 2,87 км<sup>2</sup>; участок площадью 0,15 км<sup>2</sup>). Площадь ледника Влодавца – 2,6 км<sup>2</sup>, Сопочный – 3,6 км<sup>2</sup>, Келля – 4,2 км<sup>2</sup>, Средний – 18,5 км<sup>2</sup>.

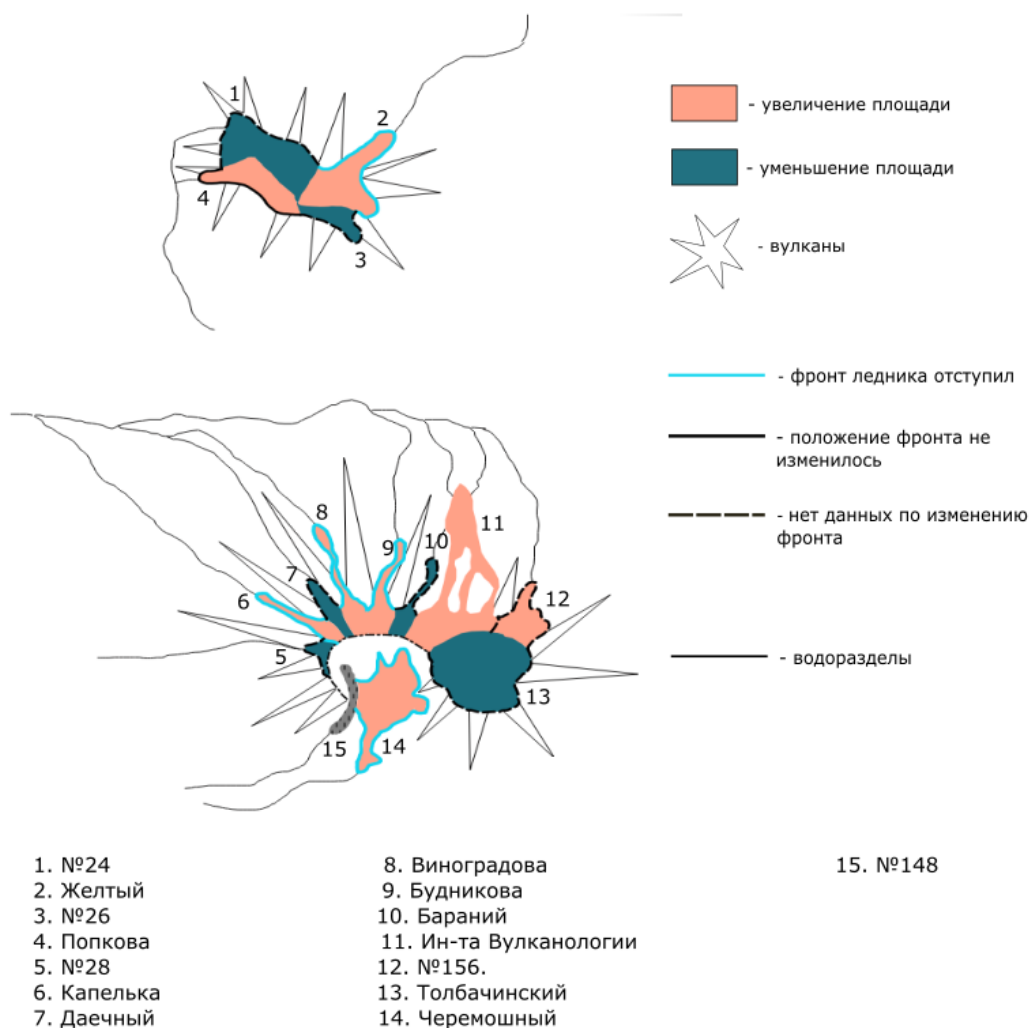
Более 50% ледников Ключевской группы вулканов принадлежит к морфологическому типу барранкосов. Следующими по распространению идут ледники обвальных цирков и кальдерно-долинные (10,3 %). Помимо этого, представлены кальдерные, переметно-долинные, долинные ледники, ледники подножий, а также единственный среди ледников обеих вулканических групп ледяной пояс.

Данные таблицы 7 были использованы при составлении сводных схем, представленных на рисунках 4 и 5.



- |                 |   |  |
|-----------------|---|--|
| 1. Бильченок    |  - увеличение площади    |  - фронт ледника наступил         |
| 2. Эульченко    |  - уменьшение площади    |  - фронт ледника отступил         |
| 3. Средний      |  - "новые" ледники       |  - положение фронта не изменилось |
| 4. Эрмана       |  - площадь не изменилась |  - нет данных по изменению фронта |
| 5. Влодавца     |  - вулканы               |  - ледоразделы                    |
| 6. Сопочный     |   |  - водоразделы                    |
| 7. Келля        |   |  |
| 8. Пийпа        |   |  |
| 9. №171         |   |  |
| 10. Шмидта      |   |  |
| 11. Каменский   |   |  |
| 12. Богдановича |   |  |
| 13. Ключевской  |   |  |
| 14. Козыревский |   |  |
| 15. Ушковский   |   |  |
| 16. №23         |   |  |

**Рисунок 4** – Основные изменения ледников Ключевского узла. Составлено автором на основе данных таблицы 7



**Рисунок 5** – Основные изменения ледников Толбачинского узла и Зиминых Сопок.

Составлено автором на основе данных таблицы 7

Увеличение площади зафиксировано на 14 ледниках (примерно 50% от общего числа). При чем 7 из них относятся к морфологическому типу ледников барранкосов; 3 – ледники обвальных цирков; 2 переметно-долинных и 2 кальдерно-долинных. Увеличение площади у ледников барранкосов в среднем составляет около 32% от первоначальной; для ледников обвальных цирков 8-10%; переметно-долинных до 20% (с активным продвижением фронта).

Продвижение фронта отмечено у ледников Эульченок (ледник барранкосов), Богдановича (переметно-долинный), Каменского (обвальных

цирков) и Эрмана (переметно-долинный). Также продвинулись ледники Влодавца и Сопочный (барранкосов). Уменьшением площади характеризуются 14 ледников (примерно 50% общего числа), а деградацией ледникового фронта – 9 (31% всех ледников группы, чуть меньше половины из них приходится на ледники барранкосов). Отсутствуют данные по изменению фронта у 12 ледников.

## **5.2 Ледники Авачинской группы вулканов**

Второй по величине центр оледенения на полуострове. Авачинская группа вулканов отличается небольшой абсолютной высотой вулканических построек и отсутствием крупных отрицательных форм (по сравнению с Ключевской группой вулканов). Именно этим объясняется значительно меньшие размеры ледников в сравнении с ледниками Ключевского массива. Здесь также отмечается неравномерность в распределении ледников по склонам: приурочены они в основном к склонам северных экспозиций, тогда как на Ключевской группе ледники распределены относительно равномерно. Такую особенность Авачинского оледенения связывают с меньшим таянием на северо-восточных склонах по сравнению с южными, а также господством основных направлений влагонесущих воздушных масс в холодное время года.

Высшие точки ледников определяются высотой вулканических построек. На северном склоне Корякского вулкана ледники начинаются от самой вершины (3400 м) и оканчиваются на отметках 1000-1300 м. На других вулканах группы они располагаются значительно ниже высших точек вершин (Виноградов, Муравьев, 1992). Основным источником питания ледников – ветровой перенос снега. Именно благодаря этому в отрицательных формах возможно накопление толщи снега мощностью до 10 м и более. На отдельных ледниках существенное участие в аккумуляции принимают снежные лавины (Маневич, Муравьев, 2015).

Для данной группы вулканов характерна, в основном, центральо-концентрированная форма оледенения. Исключение составляет северо-западный район группы (Пиначевский хребет), где оледенение рассеянно-обособленное.

На Авачинской группе выделяют три основных узла оледенения: Авачинский узел: вулканы Авачинский и Козельский; Корякский вулкан; Пиначевский хребет: вулканы Арик и Ааг.

### **5.2.1 Состояние оледенения на 1950-1975 гг.**

На момент составления Каталога ледников СССР (1950 г.) на территории Авачинского вулканического массива выделялось 24 ледника. Общая площадь оледенения составляла 16,4 км<sup>2</sup>.

#### **1) Вулканы Авачинский и Козельский**

Здесь выделялось 10 ледников, общей площадью 11,6 км<sup>2</sup>. Морфологические типы отличаются большим разнообразием: атрио-долинные (3), висячие (2), обвальных цирков (1), переметно-долинные (1), ледники подножий (1) и атрио (2). Связано это с большим разнообразием рельефа, сформировавшегося в результате регулярных извержений Авачинского вулкана.

Самые крупные по площади ледник – атрио-долинный ледник Заварицкого (2,0 км<sup>2</sup>). В целом значения площадей варьировались в пределах 0,1-2,0 км<sup>2</sup>.

#### **2) Корякский вулкан**

Выделялось 6 ледников, площадь которых составляла 4,5 км<sup>2</sup>. Самый крупный – ледник Корякский -2 (4,2 км<sup>2</sup>). Все ледники располагаются на склонах северной экспозиции и принадлежат к типу ледников барранкосов.



### 3) Вулканы Арик и Ааг

На склонах Пиначевского хребта залегало 8 ледников общей площадью 1,7 км<sup>2</sup>. Площадь ледников не превышала 1 км<sup>2</sup>. Все ледники – каровые. Распределены относительно равномерно по склонам северной и южной экспозиции.

#### 5.2.2 Современное состояние

На основе данных, представленных в работе [15], можно отметить следующие, наиболее значительные изменения, произошедшие с ледниками данного района: вместо ледника Арикский-2, который, согласно Каталогу ледников СССР, должен быть расположен на северном склоне Пиначевского хребта, был обнаружен лишь небольшой многолетний снежник без видимых признаков движения; на месте ледников №272 и №273 обнаружен ледяной массив, объединяющий эти два ледника. В свою очередь ледники №261 и №262 не являются самостоятельными образованиями, а представляют собой притоки расположенного рядом ледника Арсеньева. Помимо этого, было обнаружено три ледника, не представленных в Каталоге: склоновый ледник в привершинной части вулкана Ааг (присвоен номер 272-А, площадь которого 0,15 км<sup>2</sup>), кратерный ледник на вершине вулкана Корякский (Корякский-VII площадью 0,06 км<sup>2</sup>) и склоновый ледник на юго-западном склоне Авачинского вулкана (ледник Дианы площадью 0,15 км<sup>2</sup>).

В работе (Виноградов, Муравьев, 1992) на Авачинском ледниковом узле приводится информация ещё о трех ледниках, отсутствующих в Каталоге: ледник Печёнкина (0,35 км<sup>2</sup>), ледник Тора (0,39 км<sup>2</sup>) и ледник Скрытый (0,35 км<sup>2</sup>). Также рядом с ледником Елизовский отмечен ледник Камбальный (в Каталоге отсутствует).

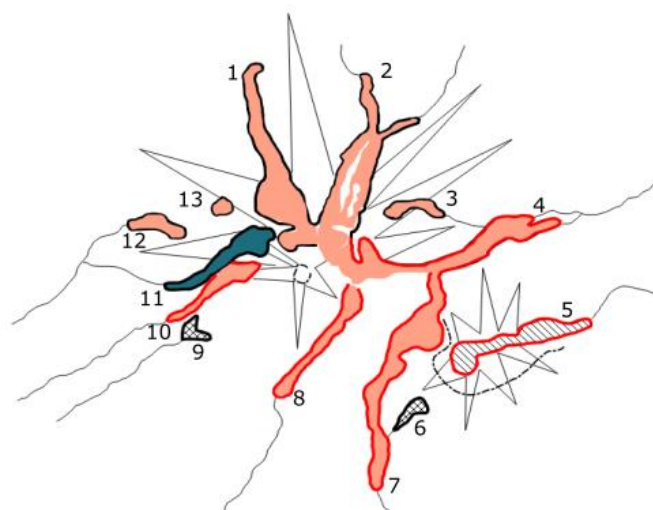
**Таблица 8** – Основные изменения площади ледников в период с 1950-2010-2015 гг. Составлено автором на основе данных из работ (Виноградов, 1975; Виноградов, Муравьев, 1992; Муравьев, 2016)

Ледник	Площадь ледника в 1950 году, км <sup>2</sup>	Площадь ледника в 2010-15 гг., км <sup>2</sup>	Изменение площади, км <sup>2</sup> /%	Изменение положения фронта, м
№250	0,1	0,12	+0,02/20	0
Аагский-1	0,3	0,08	-0,22/73	-30
Арикский-1	0,4	0,12	-0,28/70	0
Арикский-2	0,1	-	-	-
Аагский-2	0,2	0,11	-0,09/45	отступил
№271	0,1	0,1	0/0	0
№272	0,4	0,5	+0,1/25	0
№273	0,1	-	-	-
Корякский-1	1,3	3,4	+2,1/161	+170
Корякский-2	1,3	2,0	+0,7/53	продвижение
Корякский-3	0,2	0,15	-0,05/25	отступил
Корякский-4	0,5	1,15	+0,65/130	0
Корякский-5	0,6	1,3	+0,7/116	продвижение
Корякский-6	0,6	0,3	-0,3/50	0
Новограбленова	1,3	2,05	+0,75/57,6	0
Арсеньева	1,4	2,14	+0,74/52,8	0
Печёнкина	0,3 ( на 1992)	0,35	+0,05/16	0
Заварицкого	2,0	2,7	+0,7/35	продвижение
Дитмара	1,4	1,4	0/0	продвижение
Козельский	1,9	2,0	+0,1/5	+600
Тора	0,39 (на 1992)	0,39	0/0	0
Халактырский	0,5	0,55	+0,05/10	+1000
Камбальный	0,67 (на 1992)	0,9	+0,23/34	+370
Елизовский	1,2	0,8	-0,4/33	0
Лавинщиков	0,2	0,3	+0,1/50	0
Скрытый	0,33 (на 1992)	0,35	+0,02/6	0
Дианы	-	0,15	-	-
Корякский-7	-	0,06	-	-
№272-А	-	0,15	-	-

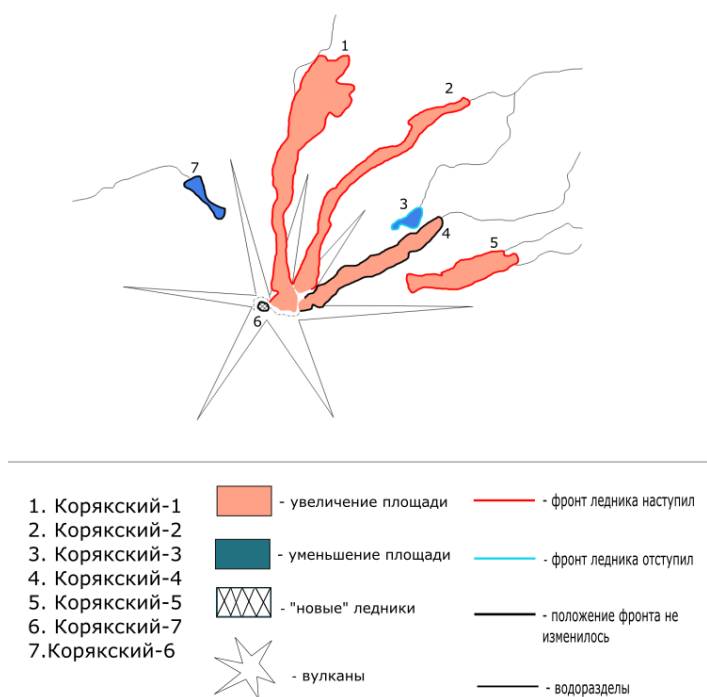
В настоящее время на территории Авачинской группы вулканов выделяют 27 ледников, общая площадь которых составляет 23,62 км<sup>2</sup>. Почти 60% (14,81 км<sup>2</sup>) площади ледников сосредоточено на северных склонах. Данный факт только подтверждает существование здесь наиболее благоприятных условий для развития оледенения, в отличие от склонов других экспозиций. Значительная часть ледников характеризуется небольшими размерами: самое большое значение площади составляет 3,4 км<sup>2</sup> (ледник Корякский – 1).

Основная часть ледников данной группы принадлежит к морфологическому типу склоновых (31%), следующей по величине группой идут каровые (около 24%). Также представлены ледники барранкосов (13%), атрио-долинные ледники, ледники атрио, кратерно-долинные и кратерные.

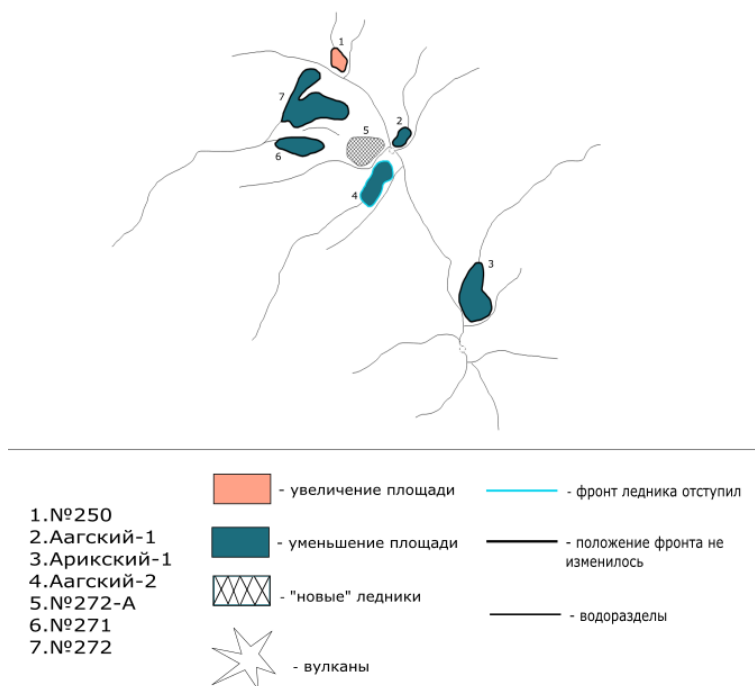
Данные таблицы 8 легли в основу схем, представленных на рисунках 6, 7, 8.



**Рисунок 6** – Колебания ледников Авачинского узла. Составлено автором на основе данных таблицы 8



**Рисунок 7**– Колебания ледников Корякского узла. Составлено автором на основе данных таблицы 8



**Рисунок 8** – Колебания ледников Пиначевского хребта. Составлено автором на основе данных таблицы 8

Увеличение площади зафиксировано на 13 ледниках (около 48% от общего числа), 4 из них относятся к каровым ледникам и 4 – к морфологическому типу барранкосов. Площадь каровых ледников в среднем увеличивается на 14-17% от первоначальной; у ледников барранкосов – до 90%. 6 из 27 (около 22%) ледников характеризуются уменьшением площадей; у трех ледников (№271, Тора и Дитмара) не отмечено каких-либо изменений в значении площадей. Большая часть ледников (17, или 63%) Авачинского вулканического массива находится в стационарном состоянии, большинство из них принадлежит морфологическому типу каровых и склоновых ледников. 8 ледников наступают (3 ледника барранкосов, 2 – атрио, кратерно-долинный ледник, кратерный и переметно-долинный), и только 2 относятся к деградирующим.

### **5.3 Основные изменения оледенения Ключевской и Авачинской групп вулканов**

На основе анализа литературных данных, в первую очередь (Виноградов, 1968) и последних по времени публикаций, раскрывающих проблему колебаний ледников района активного вулканизма (Маневич, Муравьев, 2015; Муравьев, Муравьев, 2016), а также материалам, освещающим значимые проявления вулканизма в период с 1950-2010-25 гг., было составлено как можно более подробное и точное описание изменений состояния оледенения вулканов данных групп.

В целом оледенение *Ключевской группы вулканов* за период с 1950-2010-15 гг. увеличилось на 4,3% (с 200,1 км<sup>2</sup> до 208,8 км<sup>2</sup>). К Ключевскому ледниковому узлу в настоящее время приурочено 15 ледников общей площадью 171,32 км<sup>2</sup> (194,32 км<sup>2</sup> с учетом Ключевского ледяного пояса); к Зиминым Сопкам – 4 ледника площадью 9,9 км<sup>2</sup>; Толбачинскому – 11 ледников общей площадью 24,55 км<sup>2</sup>.

Эти данные не согласуются с изменениями климатических условий (в главе II данной работы на основе анализа показателей температуры и осадков нами был сделан вывод о неблагоприятном для развития оледенения климате). Соответственно, можно сделать вывод о наличии других факторов, которые способствуют положительной динамике ледников – вулканической активности (на Ключевском ледниковом узле она максимальна, и именно здесь современная общая площадь оледенения увеличилась по сравнению с 1950 г.).

Наличие активно действующих вулканов (Ключевской, Безымянный, Толбачик), в рассматриваемый период характеризующиеся достаточно мощными извержениями, непосредственно повлияли на динамику большинства ледников. Особенно стоит отметить *ледник Эрмана*, который непрерывно наступает еще с 1945 г., когда в результате извержения Ключевской Сопки активизировались массивы «пассивных» льдов и на ледник сошел вулкано-гляциальный поток, приведший к дополнительной нагрузке в фирновой области; *ледники Влодавца и Сопочный*, продвижение которых связывают с воздействием побочных прорывов им. Пийпа (1966 г.) и «Предсказанный» (1983 г.), а сокращение площади обуславливают трансформацией части льда в массивы «мёртвых»; *ледник Келля*, уничтожение южной части языка которого связывают с прорывами «Предсказанный» (1983 г.) и «8 Марта» (1980 г.); *ледник Богдановича*, который характеризуется увеличением площади и продвижением фронта в результате теплового воздействия лавового потока, вызвавшего «подогрев» ледника и его таяние, а также осаждающегося на его поверхности пирокластического материала и сход оползней. Динамика ледников Толбачинского ледникового узла связана с Большим трещинным Толбачинским извержением (1975-1976 гг.).

Известен только один ледник, изменения которого не связывают с вулканической активностью. Это ледник Бильченок, представляющий собой типичный пульсирующий ледник.

Оледенение *Авачинской группы вулканов* в период с 1950-2010-25 гг. увеличилось на 7,22 км<sup>2</sup>. На Авачинском узле оледенения залегает 13 ледников общей площадью 14,08 км<sup>2</sup>; на Корякском – 7 ледников (8,36 км<sup>2</sup>); на Пиначевском хребте – 7 ледников общей площадью 1,18 км<sup>2</sup>. В целом площадь увеличения площади оледенения прослеживается на всех узлах, кроме последнего, где вулканическая активность не выражена.

Авачинский вулкан активно действующий. Последнее крупное извержение было зафиксировано в 2001 году; в настоящее время наблюдается активная фумарольная деятельность. Так, согласно информации за 2011 год [27], отмечалось поднятие на высоту около одного километра столбов пара и газа. Усиление фумарольной активности вулкана связывают с сильными сейсмическими событиями в районе Японии, но не предвещают начала извержения.



**Рисунок 9** - Основное направление сноса пепла (большая черная стрелка) и схода лахар (маленькие стрелки) при извержении Авачинского вулкана. Из презентации, разработанной сотрудниками лаборатории активного вулканизма ИВиС для демонстрации на "Дне вулкана 2009".

По схеме опасностей при извержении Авачиснского вулкана (рисунок 9) видно, что основным направлением сноса пепла является юго-восточное направление; сход грязекаменных потоков, способных повлиять на динамику ледников, происходит также в основном в южных направлениях. На *ледниках Арсеньева, Елизовский, Скрытый* ниже положения фронта отмечаются протягивающиеся в среднем на 400-500 м массивы «мертвых» льдов.

Динамику ледников Корякского вулкана, а именно *Корякский-1, Корякский-2* и *Корякский-5* (наступают) можно связать с деятельностью вулкана, а именно его извержением в 2009 году, которое характеризовалось выбросом большого количества пепла [32], полностью покрывшего ледники слоем до нескольких сантиметров. Осаждения небольших по мощности слоев пирокластического материала на поверхность ледников, расположенных в непосредственной близости от центра извержения, приводит к их интенсивному таянию и, как следствие, способствует их продвижению (активизации). Деградация ледника *Корякский-3* вероятно связана с преобразованием отдельных частей ледника в массивы «мертвых» льдов. А стационарное состояние ледников *Корякский-4* и *Корякский-6* – с их перекрытием мощным слоем продуктов извержения, способствовавших консервации.

Прямо противоположна ситуация на вулканических массивах Арик и Ааг может быть объяснена отсутствием в данном районе действующих вулканов и непосредственным влиянием неблагоприятных для существования оледенения климатическим условиям.



## Выводы

Географическое положение и климатические условия Камчатского полуострова в целом благоприятны для формирования и развития оледенения.

Среднегодовые значения температур на метеостанциях, расположенных в непосредственной близости от Авачинской группы вулканов, в целом выше, чем в районе Ключевской группы. Здесь также выпадает больше осадков: 800-1200 мм (40% от общей суммы выпадает за холодный период), тогда как для Ключевской группы характерны значения 400-600 мм (52% от общей суммы – за холодный период).

При анализе колебаний климатических условий по двум характеристикам – температура воздуха и осадки – было выявлено, что в период с 1961 по 2005 гг. климатические условия не способствовали сохранению оледенения на рассматриваемых вулканических группах. Так, на станции Эссо (Ключевская группа) линия тренда температуры отчетливо отражает тенденцию к её увеличению (коэффициент регрессии составил 0,0397, т.е. температура за 10 лет повысилась примерно на  $0,3^{\circ}\text{C}$ ); среднегодовые суммы осадков, наоборот, уменьшаются. На станции Сосновка (Авачинская группа) отмечаются аналогичные тенденции в изменении температуры и количества осадков: за 10 лет температура повысилась примерно на  $0,23^{\circ}\text{C}$ , количество осадков уменьшилось.

При этом данные по основным изменениям оледенения рассматриваемых территорий не согласуются с климатическими колебаниями. Оледенение Ключевской группы вулканов за период с 1950-2010-15 гг. увеличилось на  $8,7 \text{ км}^2$ ; Авачинской группы - на  $7,22 \text{ км}^2$ . Общие тенденции этих изменений в некоторой степени можно проследить, используя методы контролируемой классификации при анализе разновременных космических снимков в программе ArcGis 10.1.

На *Ключевском массиве* увеличение площади зафиксировано на 14 ледниках (около 50 % от общего числа). 7 из них относятся к морфологическому типу ледников барранкосов, 3 – ледники обвальных цирков. Уменьшением площади характеризуется 14 ледников. Продвижение фронта отмечено на 6 ледниках (20%), деградируют – 9 (31%, чуть меньше половины из них приходится на ледники барранкосов. Отсутствуют данные по изменению фронта у 12 ледников.

Среди ледников *Авачинской группы* 13 (48% от общего числа) характеризуются увеличением площади. 4 из них относятся к каровым ледникам и 4 – к морфологическому типу барранкосов. Уменьшение площади отмечается у 6 ледников (22 %). Большая часть ледников (17, или 63%) Авачинского вулканического массива находится в стационарном состоянии. 8 ледников (29%) наступают (3 ледника барранкосов, 2 – атрио, кратерно-долинный ледник, кратерный и переметно-долинный), и только 2 (7%) относятся к деградирующим.

Эти данные позволяют говорить о наличии других факторов, прямо или косвенно связанных с вулканической активностью, которые способствуют положительной динамике ледников. Сильные извержения могут привести к полному уничтожению ледника (как это, вероятнее всего, произошло с ледником №171, залегавшем на юго-восточном склоне Ключевской сопки), или отчленению части ледника с дальнейшей трансформацией его в «мёртвые» льды (ледники Влодавца и Сопочный на Ключевском массиве; ледники Арсеньева, Елизовский и Скрытый – на Авачинском). Напротив, извержение может привести к активизации «пассивных» льдов, способствуя продвижению ледникового фронта (ледник Эрмана, Ключевская группа вулканов). Положительные изменения в динамике фронта могут быть связаны и с осадением на поверхности ледника пирокластического материала, небольшие по мощности слои которого приводят к интенсивному таянию (ледники Корякский-1, 2, 5, Авачинская группа вулканов). Мощный

слой пепла, напротив, способствует консервации ледников (ледники Корякский-4 и Корякский-6, Авачинская группа вулканов).

## Заключение

Механизмы взаимодействия вулканических процессов со снежным покровом и ледниками изучены не до конца. Некоторые тенденции в направлении динамики оледенений можно проследить, анализируя разновременные космические снимки методом контролируемой классификации. Но изменения ледников в результате вулканической деятельности разнообразны и по масштабам, и по формам проявления. Вулканические процессы способствуют сохранению и развитию оледенения, и нельзя точно оценить влияние, которое оказывают продукты извержения на динамику отдельных ледников по причине многочисленности других факторов, которые также влияют на формирование особенностей их режима. Для наиболее точной характеристики рассматриваемого явления необходимо учитывать результаты непосредственных наблюдений и измерений на ледниках, которые в настоящее время проводятся редко по причине труднодоступности изучаемых районов.

## Список литературы

1. Аналоговые и цифровые методы дистанционных исследований при региональном геоморфологическом анализе: Учебное пособие / под ред. Д.В. Лопатина и С.Е. Коркина. – Нижневартовск: Изд-во НВГУ. – 2017. – 99 с.
2. Виноградов В.Н. Каталог ледников СССР, 20, Камчатка, ч. 2-4. Л.: Гидрометеоиздат, 1968. – 76 с.
3. Виноградов В.Н. Современное оледенение районов активного вулканизма. М.: «Наука», 1975. – 105 с.
4. Виноградов В.Н., Муравьев Я.Д. Ледник Козельский (Авачинская группа вулканов) // Водно-ледниковый баланс горноледниковых бассейнов. СПб: Гидрометеоиздат, 1992. – 120 с.
5. Виноградов В.Н., Муравьев Я.Д., Никитина И.М., Саламатин А.Н. О механизме формирования фреатических взрывов при взаимодействии лавы и льда. / В.Н. Виноградов, Я.Д. Муравьев, И.М. Никитина, А.Н. Садаматин // Вулканология и сейсмология. – 1987. - №1. – с. 56-61.
6. Влодавец В.И. Ключевская группа вулканов // Труды Камчатской вулканологической станции. Вып 1. М.: Издательство Академии наук СССР. – 1940. – 122 с.
7. Вопросы географии Камчатки. Вып. 4. / под ред. С.Е. Апрелькова, В.Н. Виноградова, И.И. Куренкова, Е.К. Мархинина - Петропавловск-Камчатский: Дальневосточное книжное издательство. – 1966. – 156 с.
8. Вопросы географии Камчатки. Вып. 5 / под ред. С.Е. Апрелькова, В.Н. Виноградова, И.И. Куренкова, Е.К. Мархинина. - Петропавловск-Камчатский: Дальневосточное книжное издательство. – 1967. – 204 с.

9. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1: 1 000 000 (третье поколение). Серия Корякско-Камчатская. Лист N-57 – Петропавловск-камчатский. Объяснительная записка. – СПб.: Изд-во СПб картфабрики ВСЕГЕИ. – 2006. – 376 с.
10. Долгушин Л.Д., Осипова Г.В. Ледники. М.: Мысль, 1989. – 447 с.
11. Камчатская область. Статьи и очерки по географии / под ред. М.Д. Арсеньевой - Петропавловск-Камчатский: Дальневосточное книжное издательство. – 1966. – 169 с.
12. Кондратюк В.Н. Климат Камчатки. М.: Гидрометеиздат. Моск.отд-ние, 1974. – 202 с.
13. Котляков В.М. Мир снега и льда. М.: Наука, 1994. – 286 с.
14. Масуренков Ю.П., Егорова И.А., Пузанков М.Ю. Авачинская группа вулканов. Геологическое строение и история развития вулканов Авачинской группы. // Активные вулканы и гидротермальные системы Камчатки. Путеводитель научных экскурсий. Петропавловск-Камчатский: ИВ ДВНЦ АН СССР. – 1985. – с. 107-134.
15. Маневич Т.М., Муравьев Я.Д., Самойленко С.Б. Ледники Авачинской группы вулканов: современное состояние / Т.М.Маневич, Я.Д. Муравьев// Лёд и Снег. – 2015. - №3. – с. 14-26
16. Маневич Т.М., Самойленко С.Б. Колебания ледников Авачинской группы вулканов (Камчатка) в позднем голоцене / Т.М. Маневич, С.Б. Самойленко // Лёд и Снег. – 2016. - №3. – с. 399-412.
17. Муравьев Я.Д. Режим ледников вулканических районов Камчатки: автореф. дис. на соиск. учен. степ. кандидата географических наук в форме научного доклада (11.00.07). М., 1994. – 22 с.
18. Муравьев А.Я., Носенко Г.А. Ледники и ледниковые покровы. Изменения оледенения северной части Срединного хребта на

- Камчатке во второй половине XX в. / А.Я. Муравьев, Г.А. Носенко // Лед и снег. – 2013. - №2. – с. 5-11.
- 19.Муравьев А.Я., Муравьев Я.Д. Колебания ледников Ключевской группы вулканов во второй половине XX – начале XXI вв / А.Я.Муравьев, Я.Д. Муравьев // Лёд и Снег. – 2016. - №4. – с. 480-492.
- 20.Певзнер М.М. Голоценовый вулканизм Срединного хребта Камчатки // Труды Геологического института. Вып. 608 - М.: ГЕОС. – 2015. – 252 с.
- 21.Пийп Б.И. Ключевская сопка и её извержения в 1944-1945 гг. и в прошлом // Труды лаборатории вулканологии. Вып. 11. М.: Изд-во Академии наук СССР. – 1956. – 312 с.
- 22.Сейнова И.Б., Черноморец С.С., Тутубалина О.В., Баринов А.Ю., Соколов И.А. Условия формирования селевых потоков в районах активного вулканизма (на примере вулканов Ключевской и Шивелуч, Камчатка). Часть 1 / И.Б. Сейнова, С.С. Черноморец, А.Ю. Баринов, И.А. Соколов // Криосфера Земли. – 2010. - №2. – с. 29-45.
- 23.Сейнова И.Б., Черноморец С.С., Тутубалина О.В., Баринов А.Ю., Соколов И.А. Условия формирования селевых потоков в районах активного вулканизма (на примере вулканов Ключевской и Шивелуч, Камчатка). Часть 2 / И.Б. Сейнова, С.С. Черноморец, А.Ю. Баринов, И.А. Соколов // Криосфера Земли. – 2010. - №3. – с. 29-36.
- 24.Сейнова И.Б., Черноморец С.С., Докукин М.Д., Петраков Д.А., Савернюк Е.А., Лукашов А.А., Белоусова Е.А. Формирование водного стока лахаров на активных вулканах с оледенением/ И.Б. Сейнова, С.С. Черноморец, М.Д. Докукин, Д.А. Петраков, Е.А. Савернюк, А.А. Лукашов, Е.А. Белоусова// Криосфера Земли. – 2017. - №6. – с. 118-128.
- 25.Хренов А.П., Маханова Т.М., Богатиков О.А., Платэ А.Н. Результаты аэрокосмических исследований вулканов Камчатки

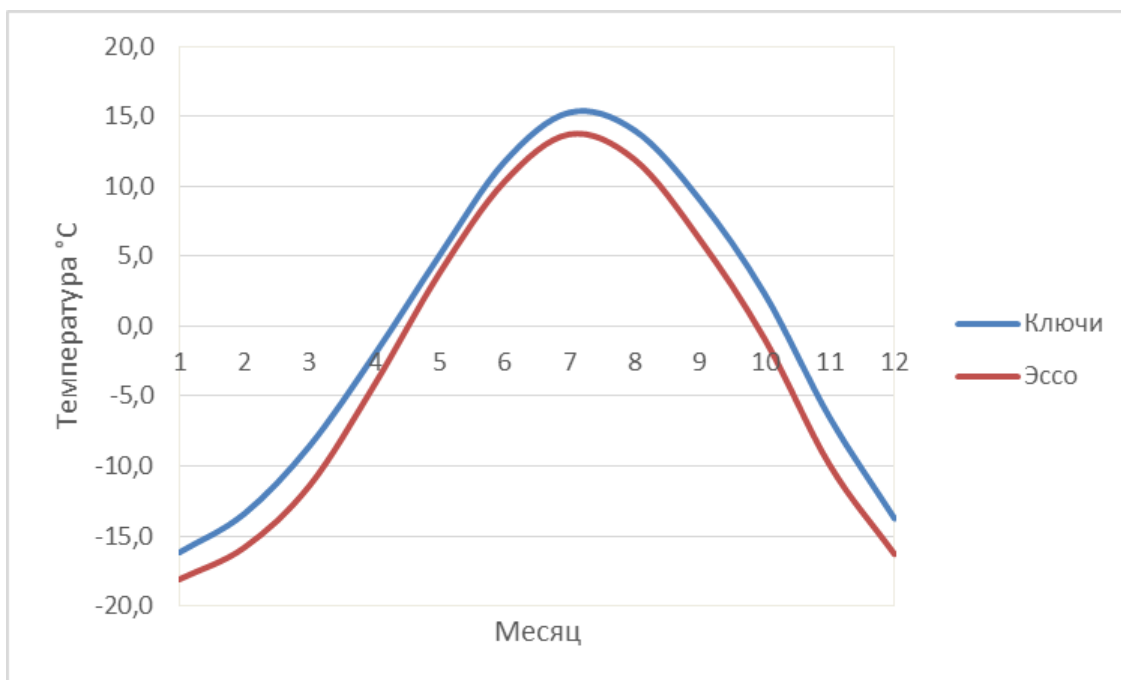
- (Ключевская группа вулканов) / А.П. Хренов, Т.М. Маханова, О.А. Богатилов, А.Н. Платэ // Вулканология и сейсмология. – 2002. - № 2. – с. 3-20.
26. Белоусов А., Белоусова М. Дневники вулканолога Бориса Пийпа. Изучение побочного прорыва Былинкиной (восточный склон Ключевской сопки), ноябрь 1951 г. – январь 1952 г. [Электронный ресурс] // М.: ЛОГАТА, 2006. – 160 с. URL: <http://www.kscnet.ru/ivs/memory/piip/ek1951-1952.htm>
27. Авачинский вулкан выбросил столбы пара на километровую высоту. [Электронный ресурс] // © РИА Новости. Петропавловск-Камчатский, 14.03.2011. URL: <https://ria.ru/eco/20110314/353722370.html>
28. Активные вулканы Камчатки. [Электронный ресурс] // Сайт Института вулканологии и сейсмологии ДВО РАН. URL: <http://www.kscnet.ru/ivs/volcanoes/index.html>
29. Архив погоды на станции Сосновка. [Электронный ресурс] // Сайт погоды rp5.ru. URL: [http://www.rp5.ru/Архив\\_погоды\\_в\\_Сосновке](http://www.rp5.ru/Архив_погоды_в_Сосновке)
30. Архив погоды на станции Петропавловск-Камчатский. [Электронный ресурс] // Сайт погоды rp5.ru. URL: [http://www.rp5.ru/Архив\\_погоды\\_в\\_Петропавловске-Камчатском](http://www.rp5.ru/Архив_погоды_в_Петропавловске-Камчатском)
31. Архив погоды на станции Эссо. [Электронный ресурс] // Сайт погоды rp5.ru. URL: [http://www.rp5.ru/Архив\\_погоды\\_в\\_Эссо](http://www.rp5.ru/Архив_погоды_в_Эссо)
32. Вулкан Корякский ежесекундно выбрасывает в воздух 20 тонн пепла. Извержение вулкана Корякского. [Электронный ресурс] // © РИА Новости. Петропавловск-Камчатский. URL: <https://ria.ru/eco/20090312/164535833.html>
33. Геоморфологическая схема. Масштаб 1:2 500 000 (О-57) [Электронный ресурс] // ВСЕГЕИ. База данных государственных геологических карт. URL: <http://rasterdb.vsegei.ru/img.php?id=52811>



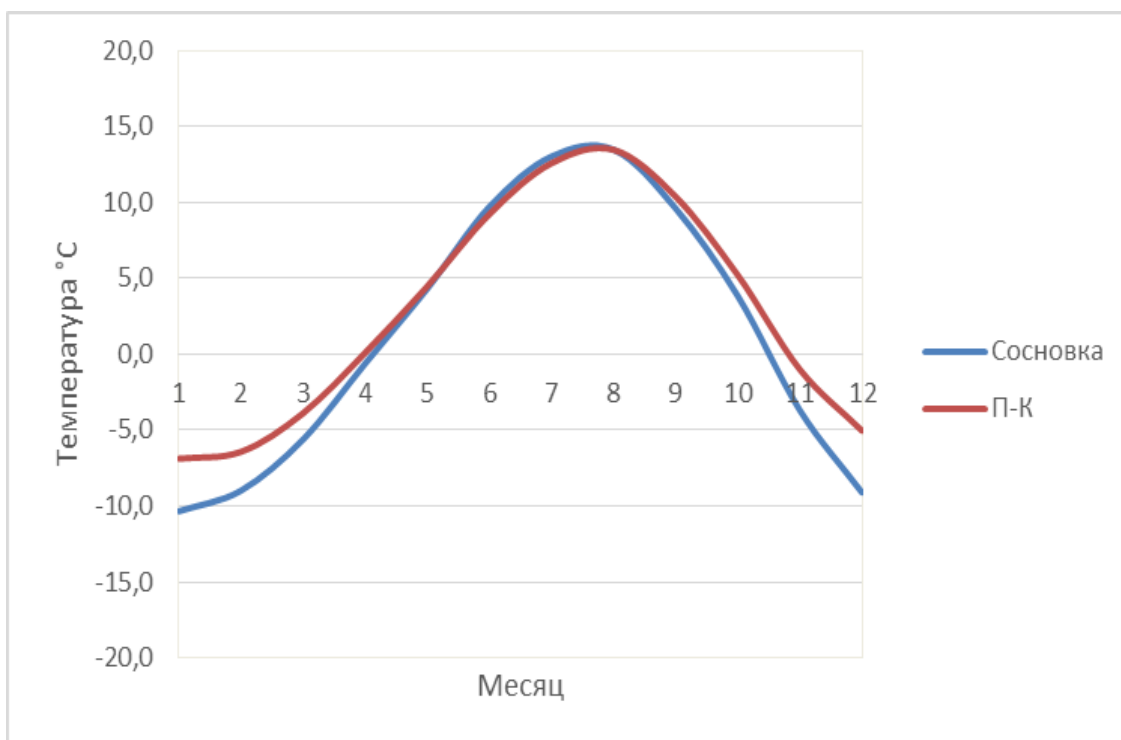
34. Геоморфологическая схема. Масштаб 1: 2 500 000 (N-57) [Электронный ресурс] // ВСЕГЕИ. База данных государственных геологических карт. URL: <http://rasterdb.vsegei.ru/img.php?id=15522>
35. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1: 1 000 000 (третье поколение). Корякско-Курильская серия. Эколого-геологическая карта (N-57) [Электронный ресурс] // ВСЕГЕИ. База данных государственных геологических карт. URL: <http://webmapget.vsegei.ru/index.html>
36. Ледники на склоне вулкана Корякского начал движение из-за извержения. Извержение вулкана Корякского. [Электронный ресурс] // ©РИА Новости. Петропавловск-Камчатский, 11.01.2009. URL: <https://ria.ru/eco/20090111/158868327.html>
37. <https://earthexplorer.usgs.gov/> Архив геологической службы США. [Электронный ресурс]
38. <http://www.kamchatsky-krai.ru> / Камчатский край. Краеведческий сайт. [Электронный ресурс]
39. <http://loadmap.net> / Карты всего мира. [Электронный ресурс]
40. <http://meteo.ru/> База климатических данных ВНИГМИ-МЦД. [Электронный ресурс]
41. <https://pro.arcgis.com/ru/pro-app/tool-reference/main/arcgis-pro-tool-reference.htm> / Справочник по инструментам ArcGIS Pro. [Электронный ресурс]

## Приложение А

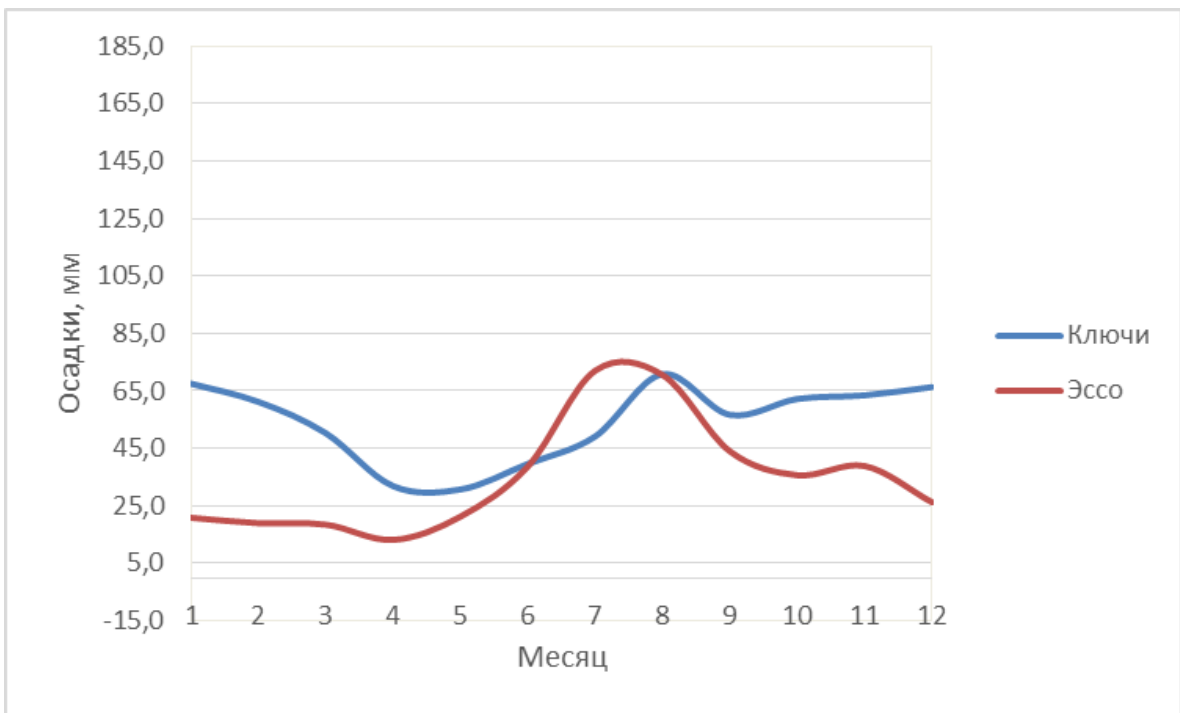
### Результаты статистической обработки климатических данных



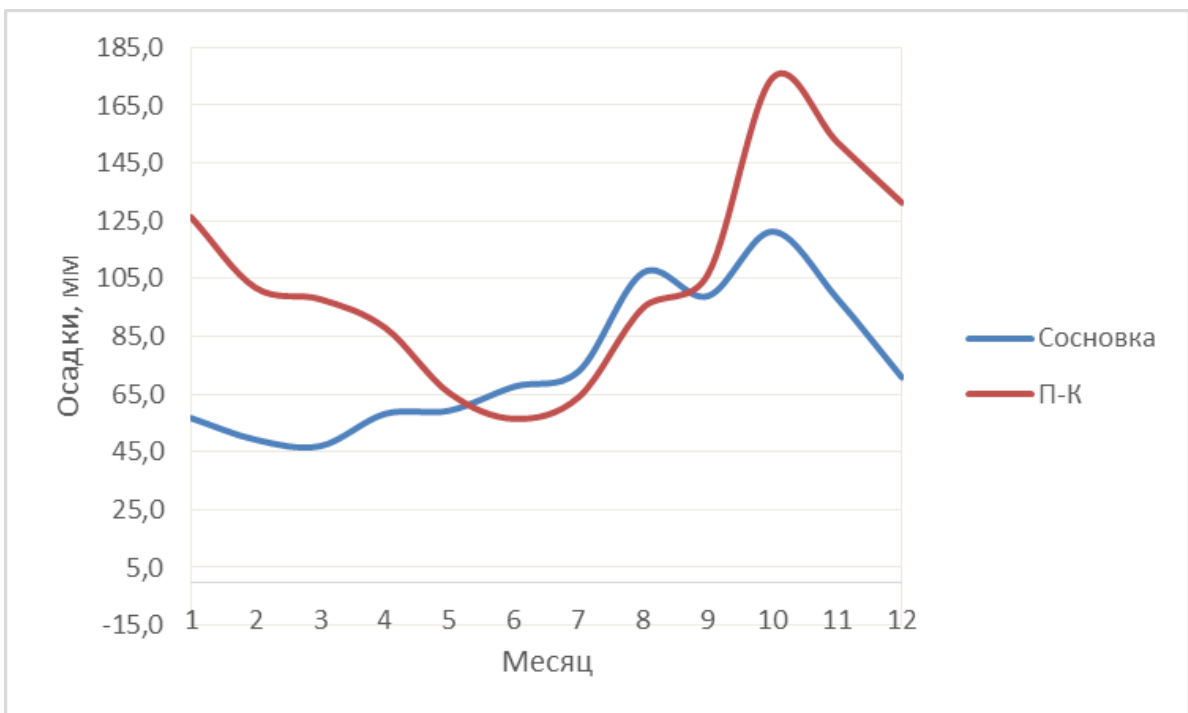
**Рисунок А.1** – Годовой ход среднемесячной температуры воздуха для территории Ключевской группы вулканов



**Рисунок А.2** – Годовой ход среднемесячной температуры воздуха для территории Авачинской группы вулканов



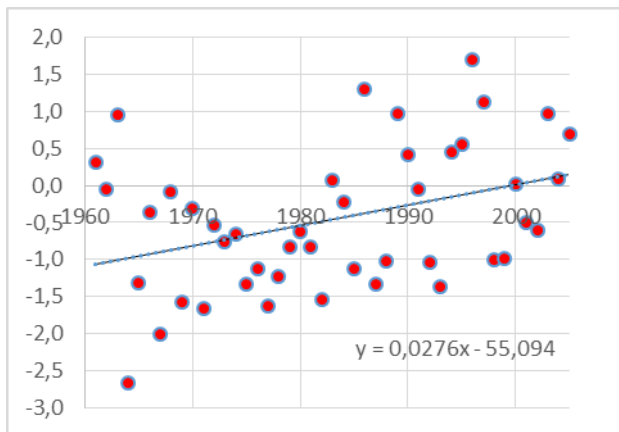
**Рисунок А.3** – Годовое распределение количества осадков для территории Ключевской группы вулканов



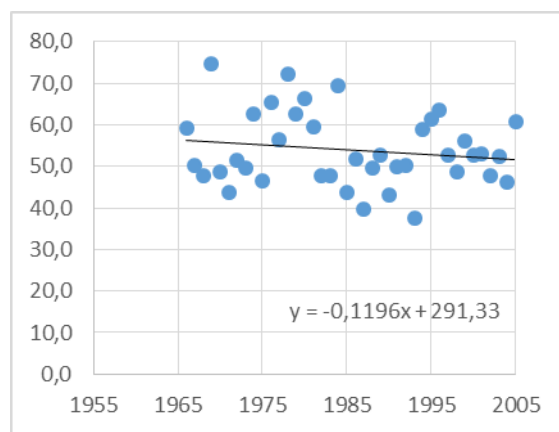
**Рисунок А.4** – Годовое распределение количества осадков для территории Авачинской группы вулканов

## Приложение Б

Результаты статистической обработки климатических данных (Ключевская группа вулканов)

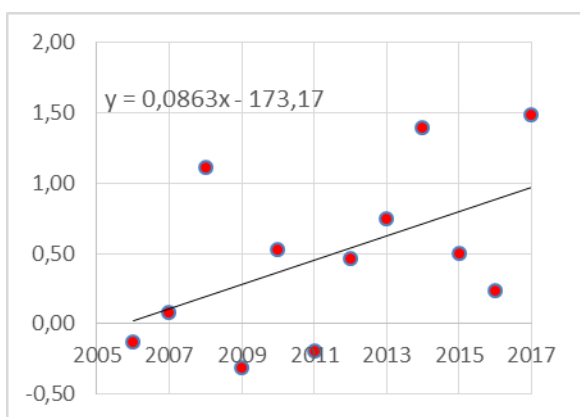


а)

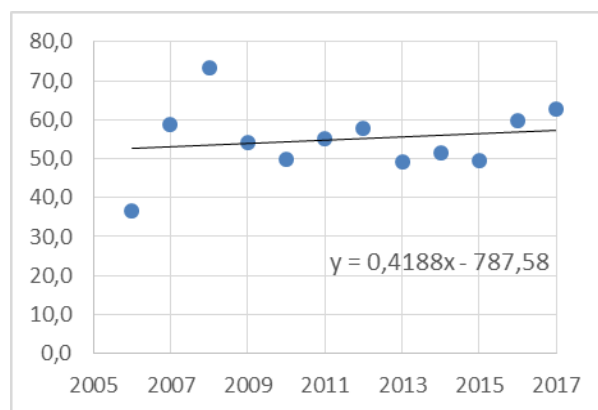


б)

**Рисунок Б.1** – Тенденции изменения среднегодовых значений температуры воздуха (а) и осадков (б) на станции Ключи с 1961 по 2005 гг.

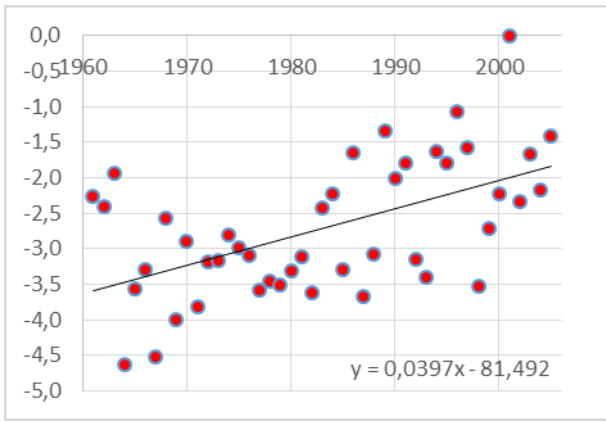


а)

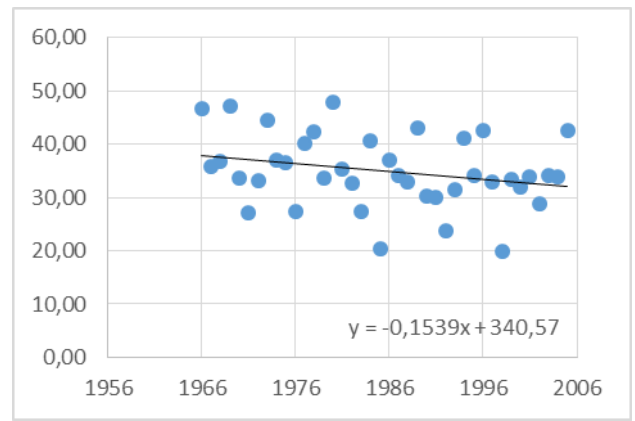


б)

**Рисунок Б.2** – Тенденция изменения среднегодовых значений температуры воздуха (а) и осадков (б) на станции Ключи с 2006 по 2017 гг.

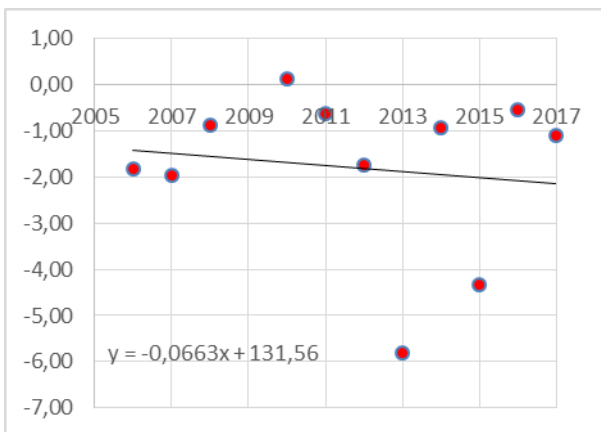


a)

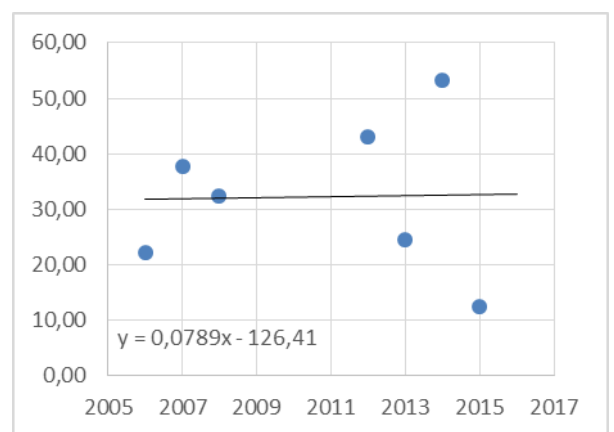


б)

**Рисунок Б.3** – Тенденция изменения среднегодовых значений температуры воздуха (а) и осадков (б) на станции Эссо с 1961 по 2005 гг.

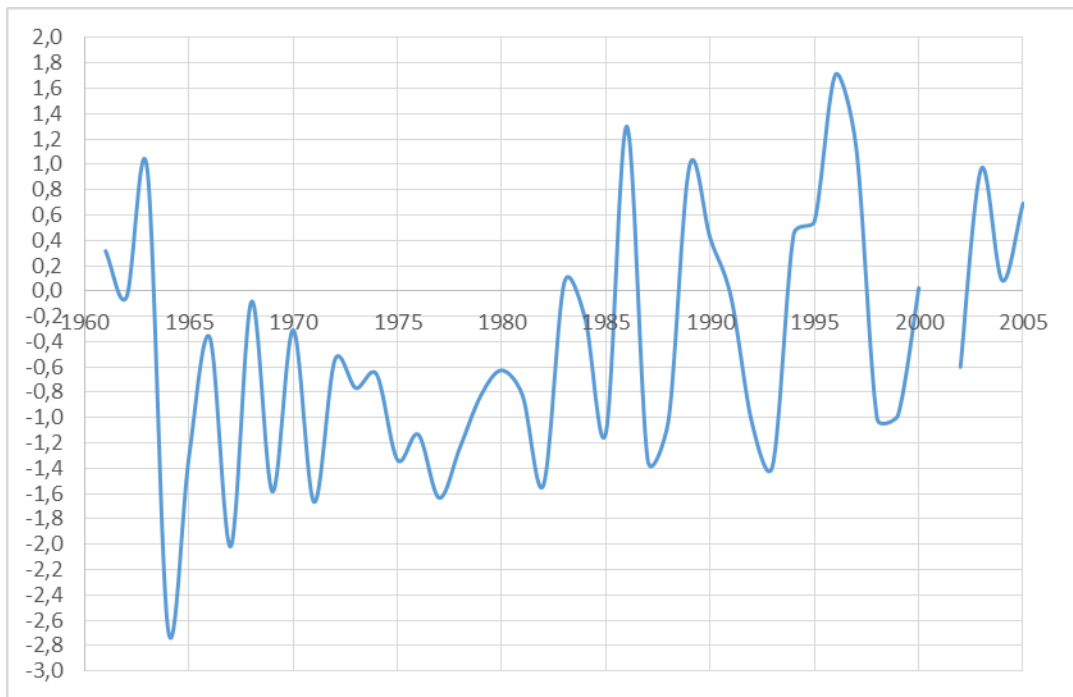


a)

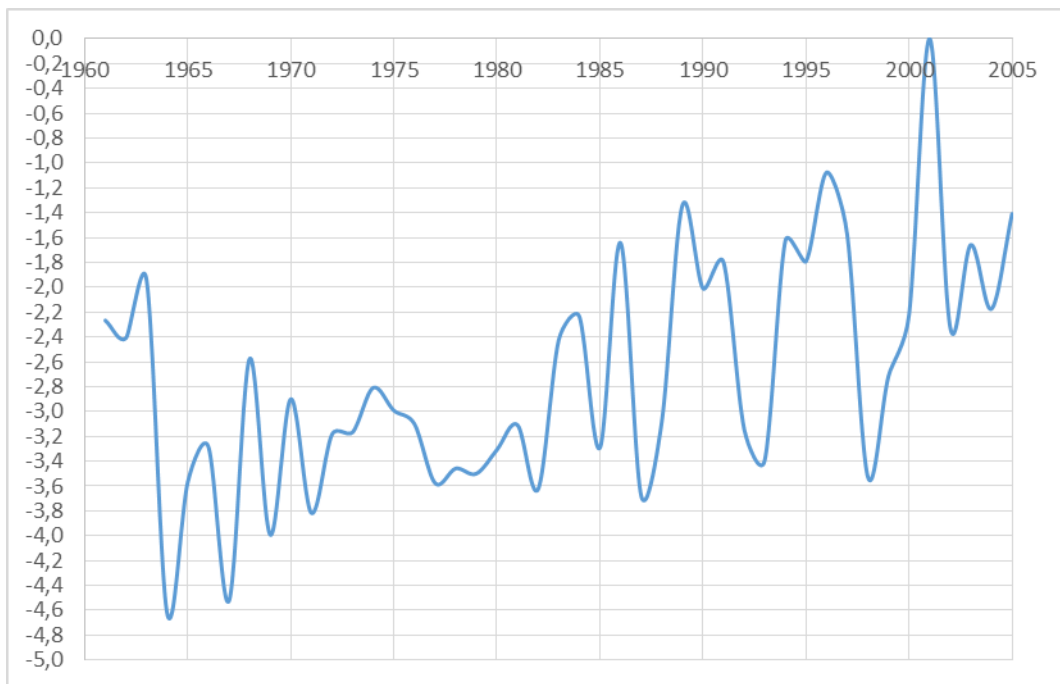


б)

**Рисунок Б.4** – Тенденция изменения среднегодовых значений температуры воздуха (а) и осадков (б) на станции Эссо с 2006 по 2017 гг.

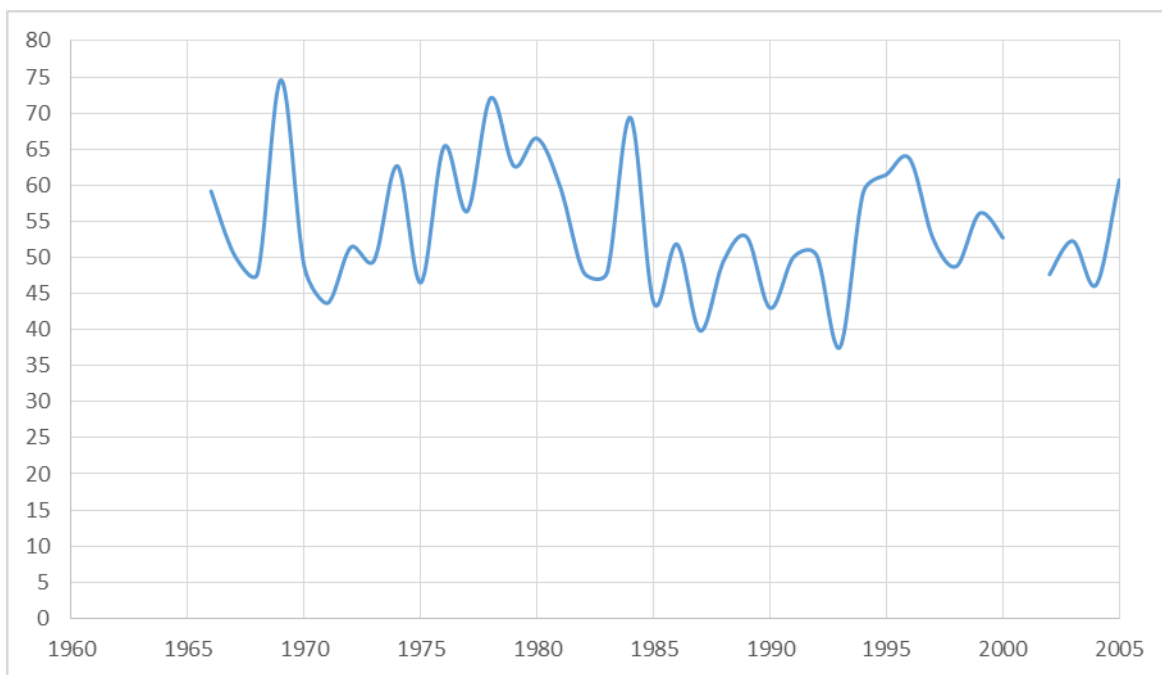


а)

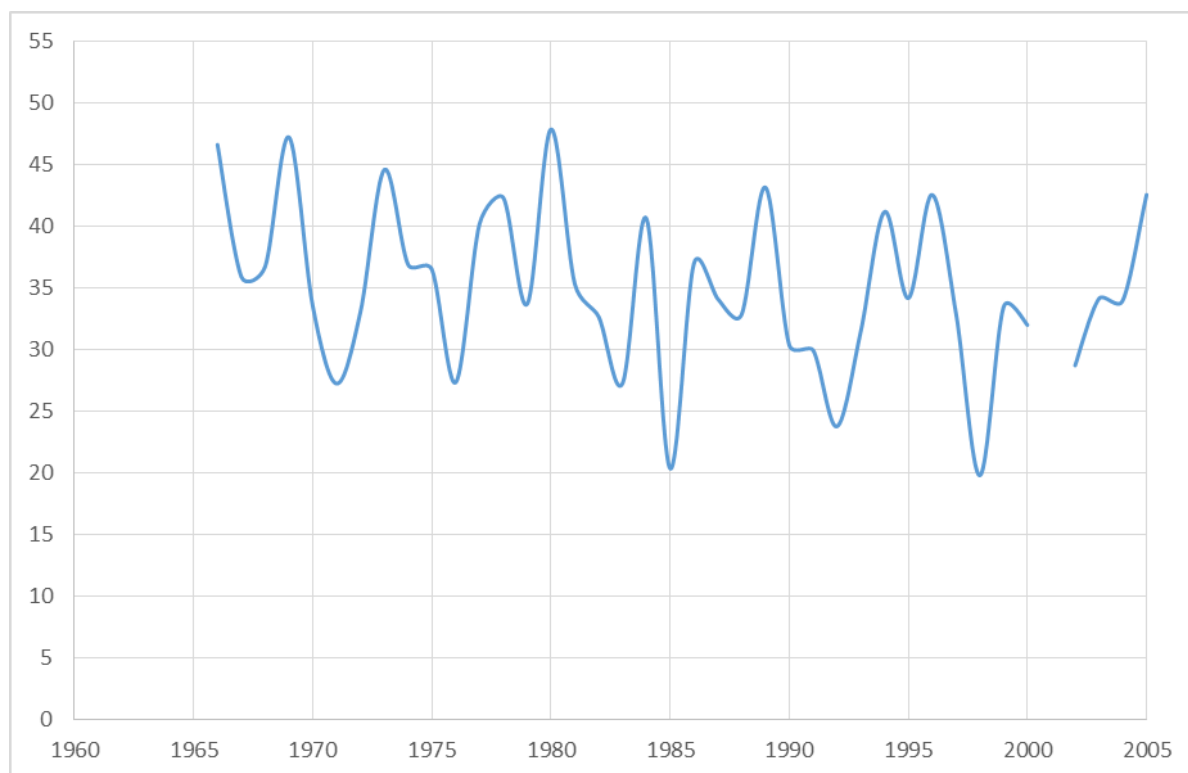


б)

**Рисунок Б.5** – Хронологическое распределение данных температур на станциях Ключи (а) и Эссо (б) с 1961 по 2005 гг.

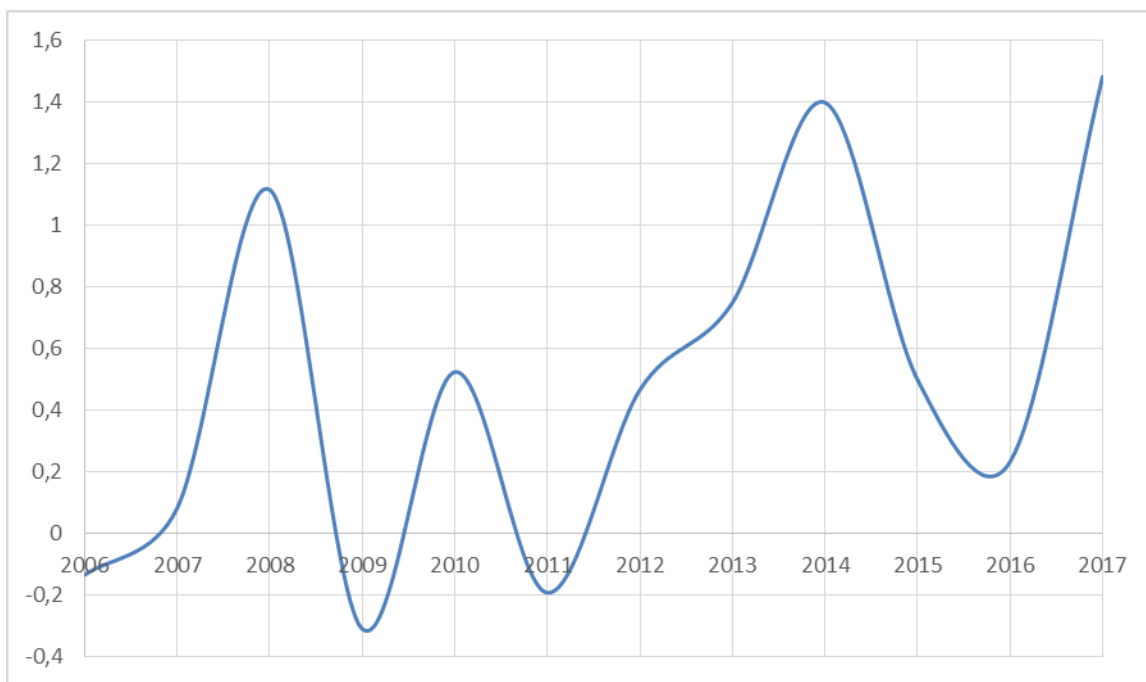


а)

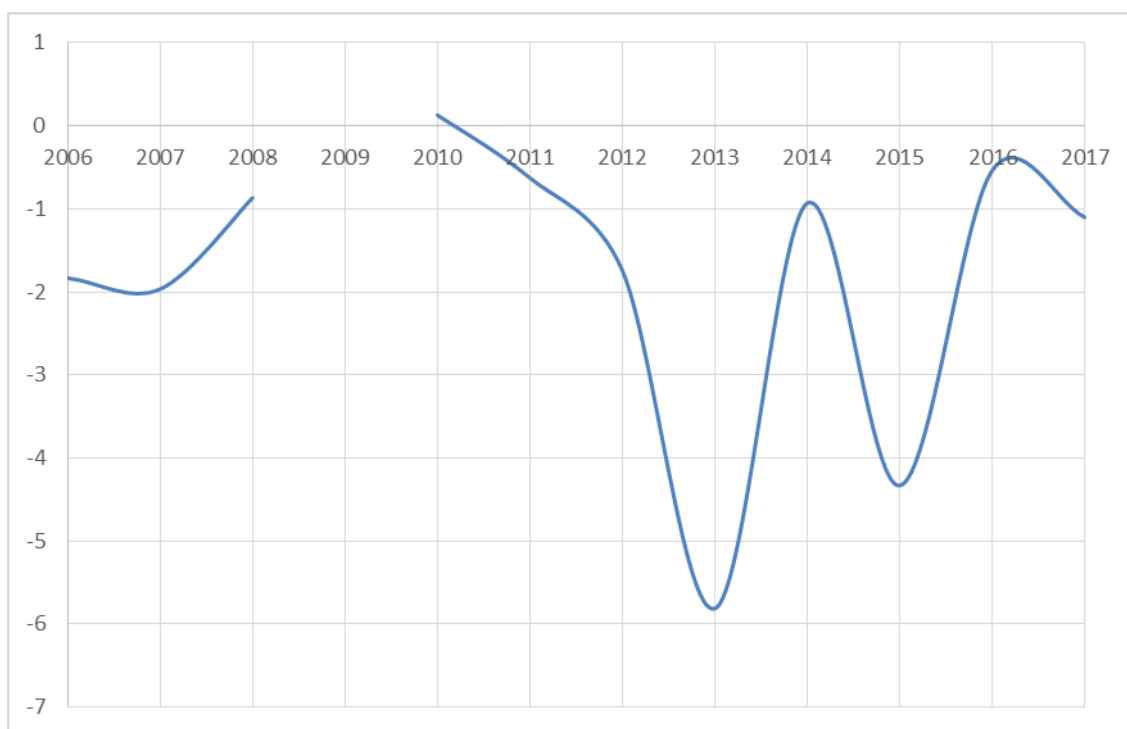


б)

**Рисунок Б.6** – Хронологическое распределение данных осадков на станциях Ключи (а) и Эссо (б) с 1961 по 2005 гг.



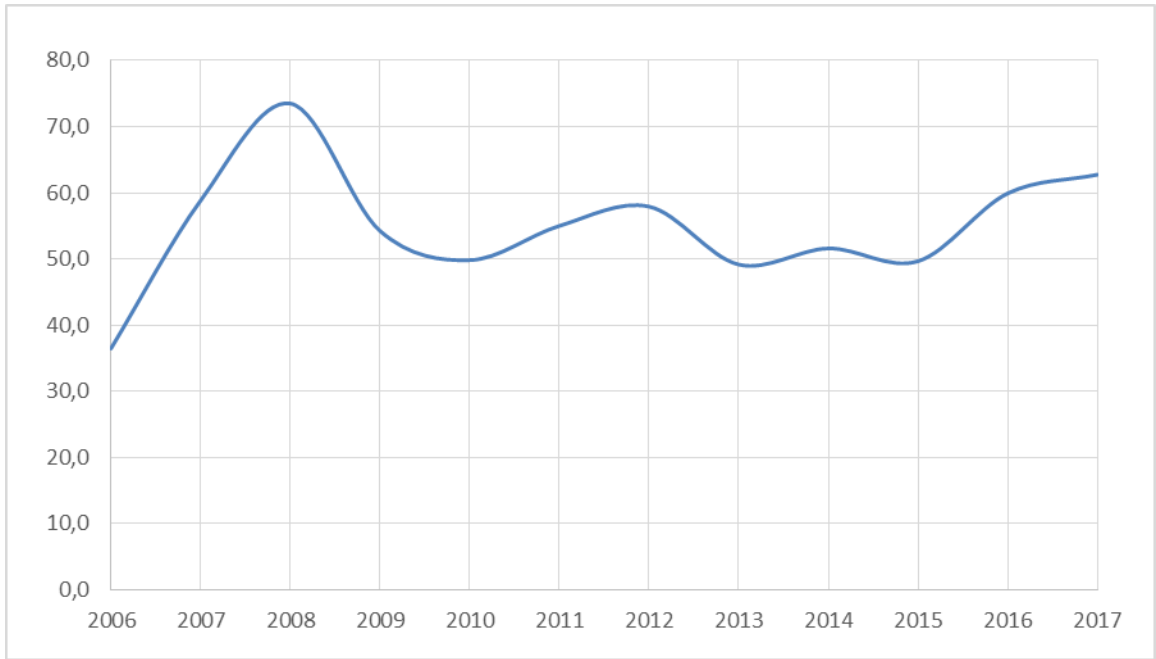
а)



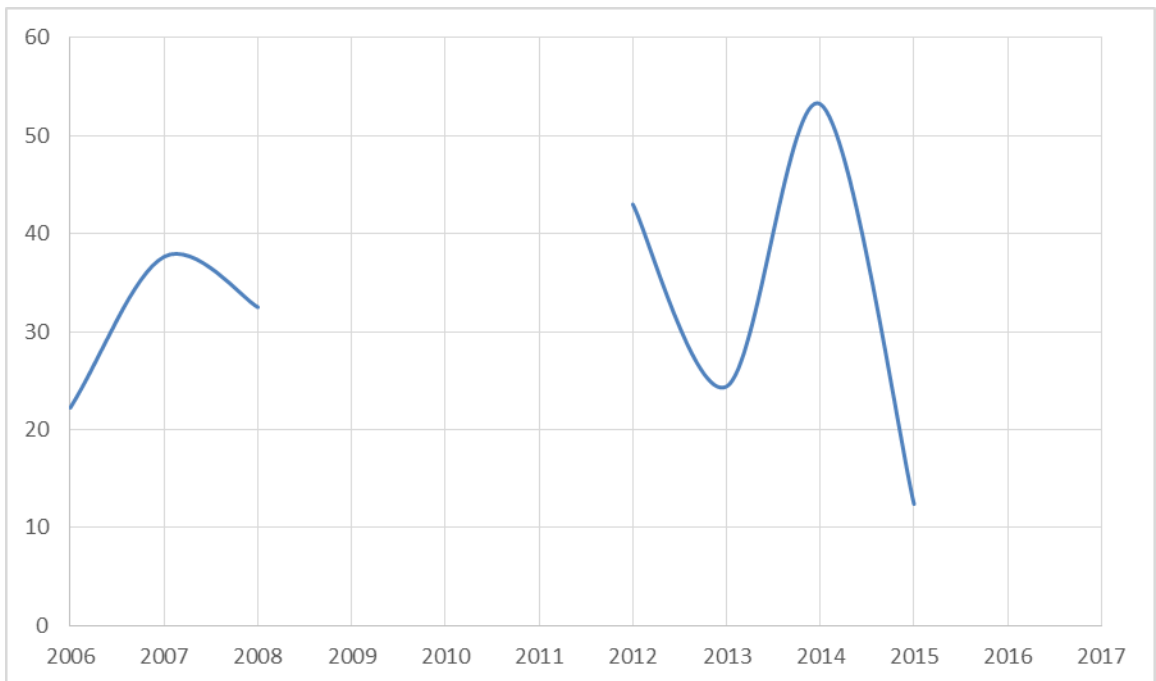
б)

**Рисунок Б.7** – Хронологическое распределение данных температур на станциях Ключи (а) и Эссо (б) с 2006 по 2017 гг.





a)

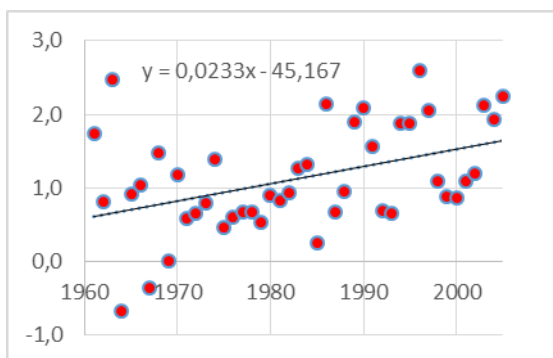


б)

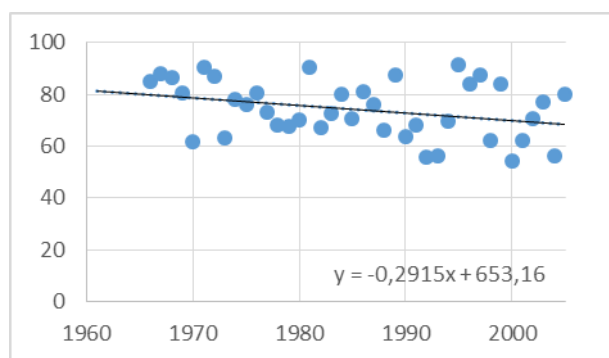
**Рисунок Б.8** – Хронологическое распределение данных осадков на станциях Ключи (а) и Эссо (б) с 2006 по 2017 гг.

## Приложение В

Результаты статистической обработки климатических данных (Авачинская группа вулканов)

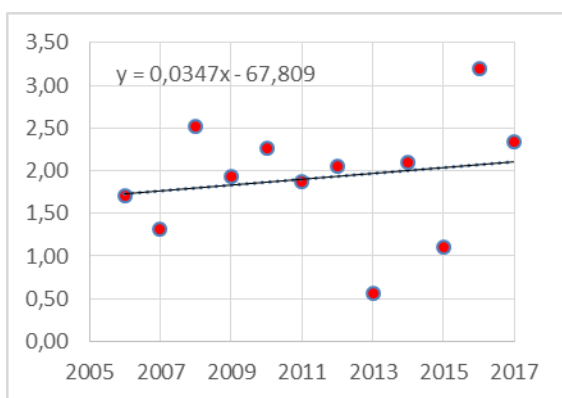


а)

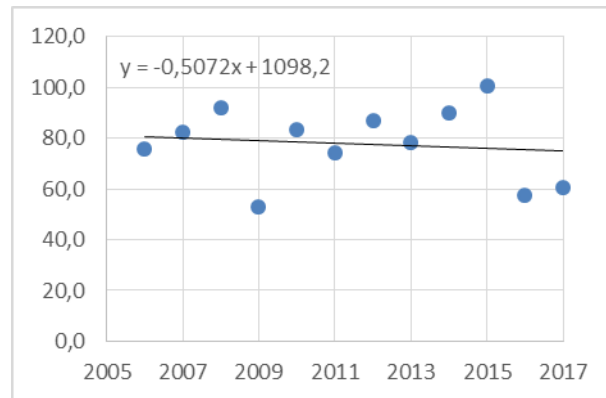


б)

**Рисунок В.1** – Тенденция изменения среднегодовых значений температуры (а) и осадков (б) на станции Сосновка с 1961 по 2005 гг.

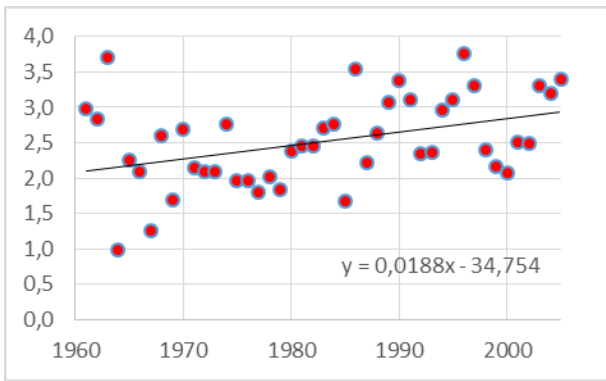


а)

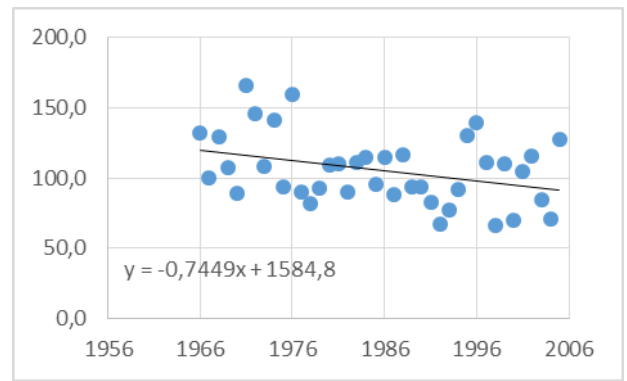


б)

**Рисунок В.2** – Тенденция изменения среднегодовых значений температуры (а) и осадков (б) настанции Сосновка с 2006 по 2017 гг.

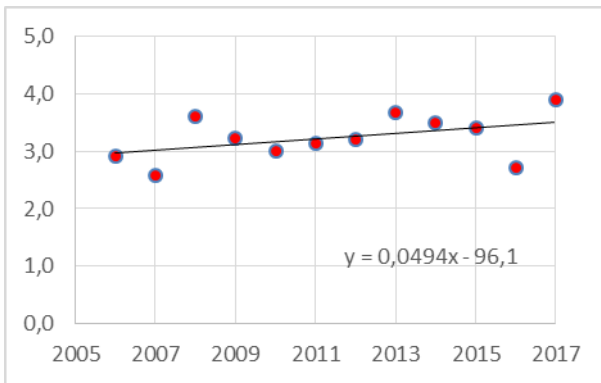


a)

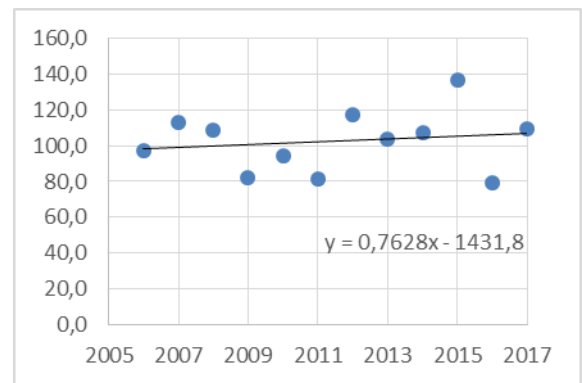


б)

**Рисунок В.3** – Тенденция изменения среднегодовых значений температуры (а) и осадков (б) на станции Петропавловск-Камчатский с 1961 по 2005 гг.

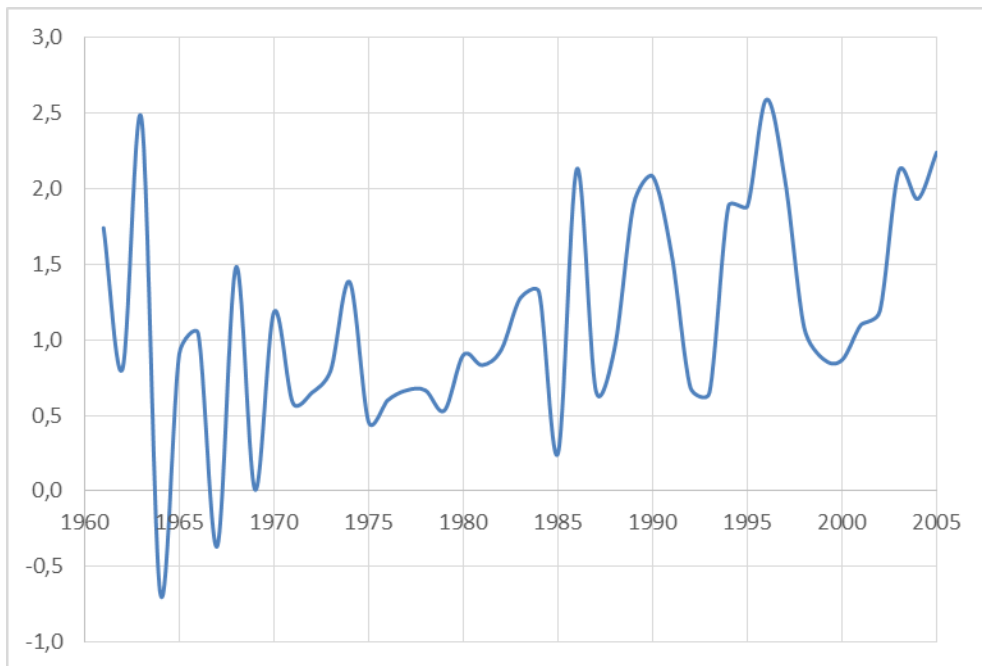


a)

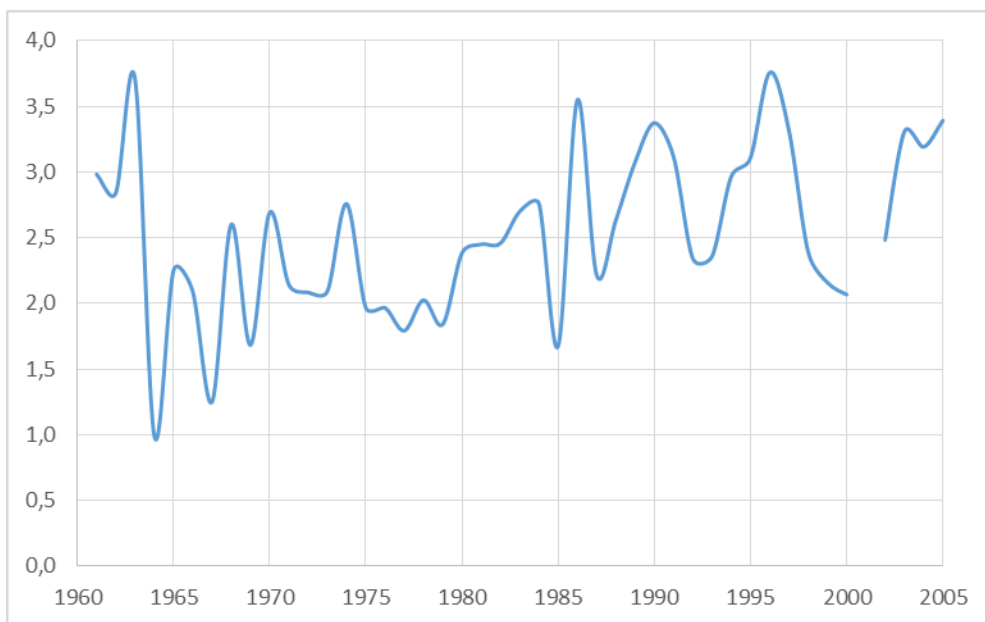


б)

**Рисунок В.4** – Тенденция изменения среднегодовых значений температуры (а) и осадков (б) на станции Петропавловск-Камчатский с 2006 по 2017 гг.

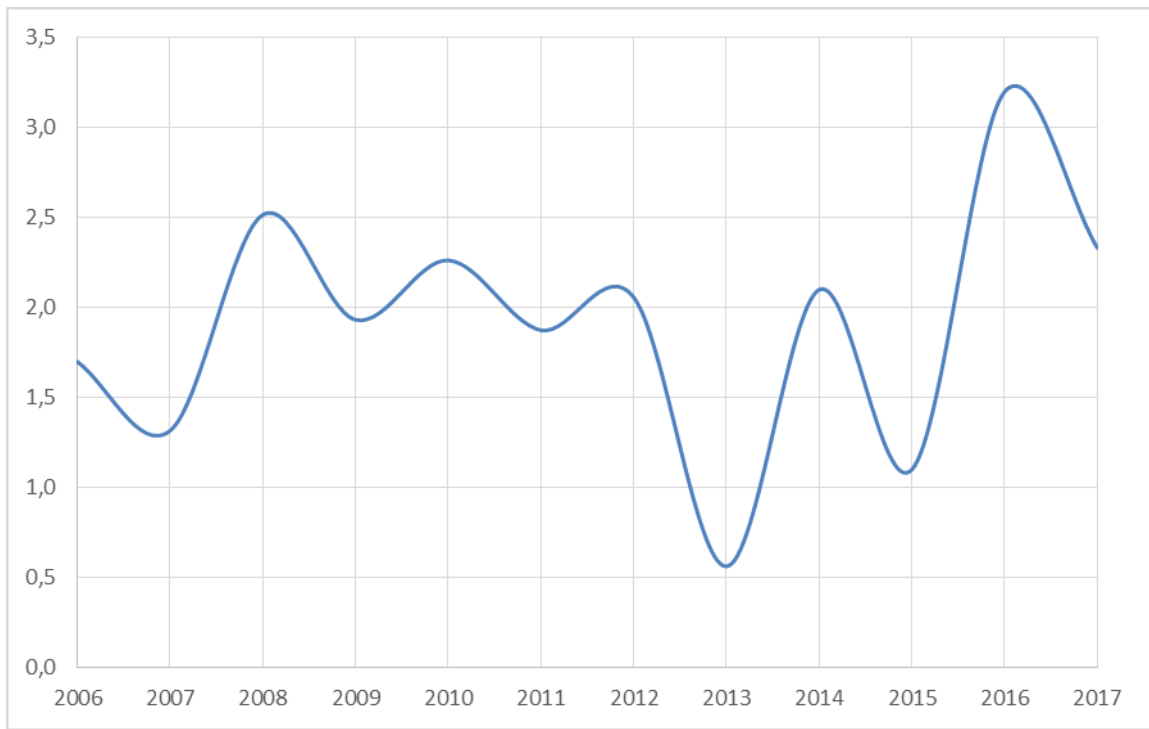


а)

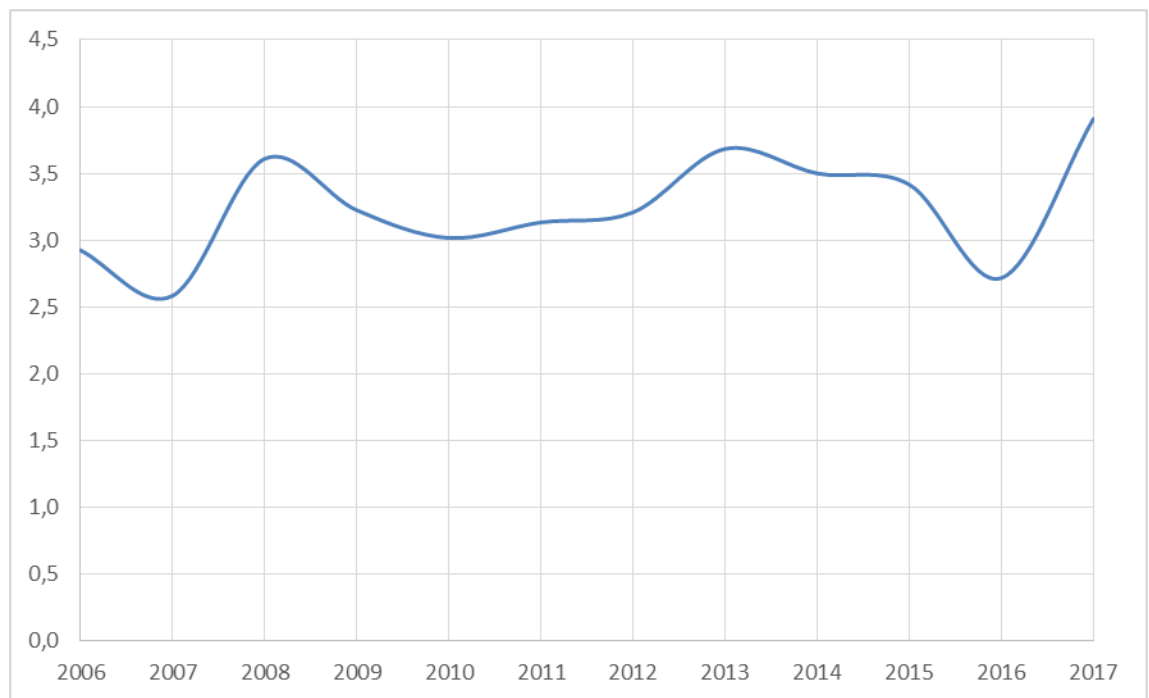


б)

**Рисунок В.5** – Хронологическое распределение данных температур на станциях Сосновка (а) и Петропавловск-Камчатский (б) с 1961 по 2005 гг.

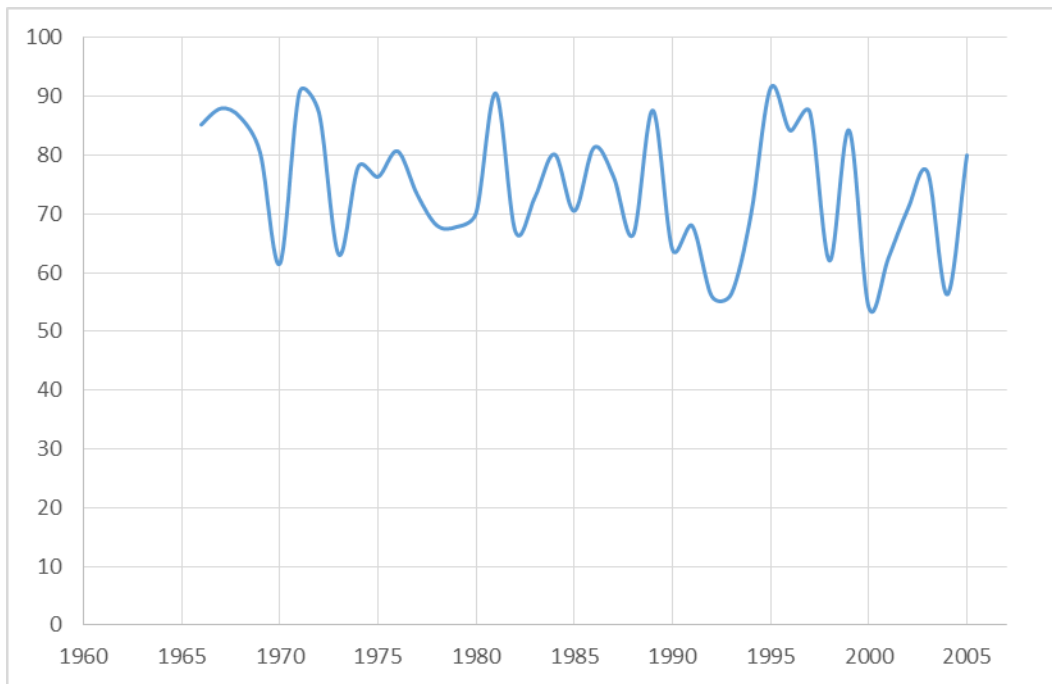


а)

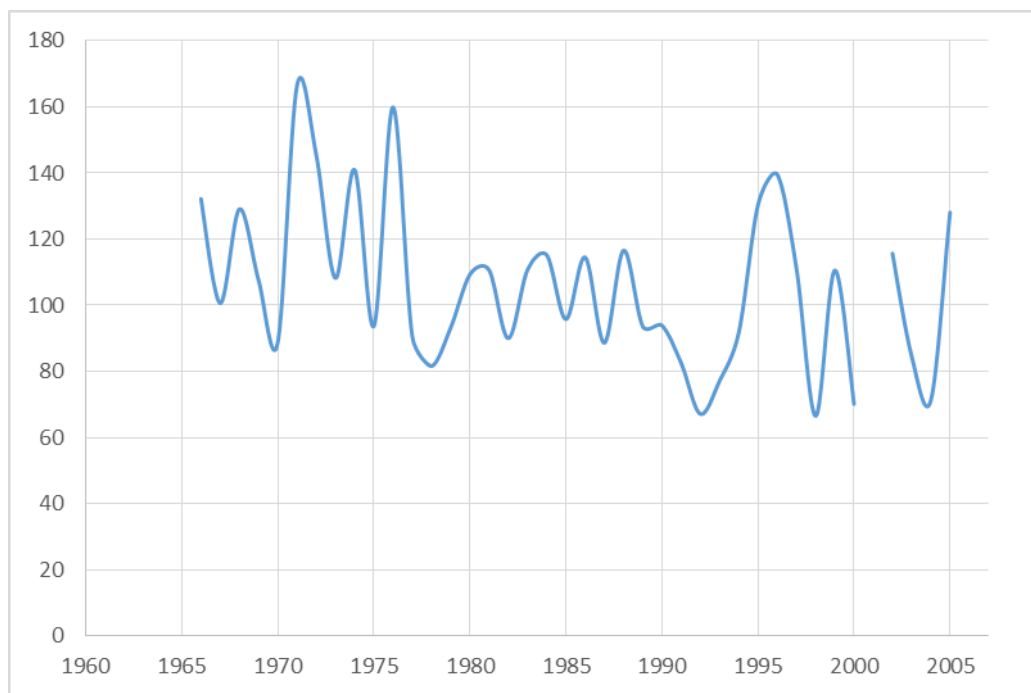


б)

**Рисунок В.6** – Хронологическое распределение данных температур на станциях Сосновка (а) и Петропавловск-Камчатский (б) с 2006 по 2017 гг.

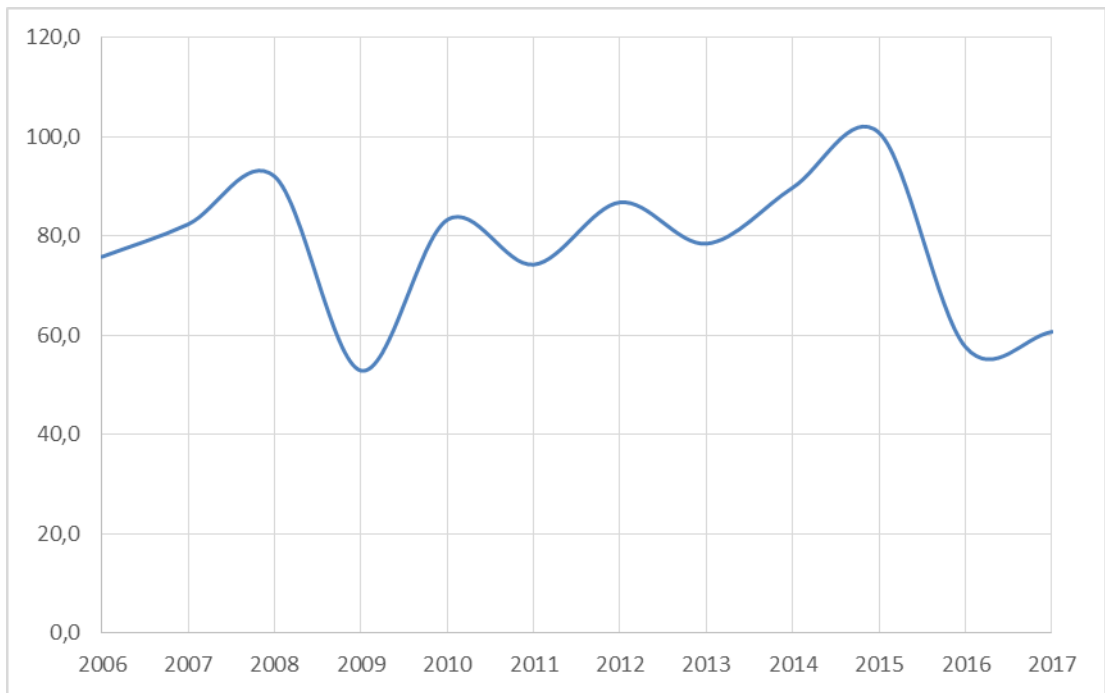


а)

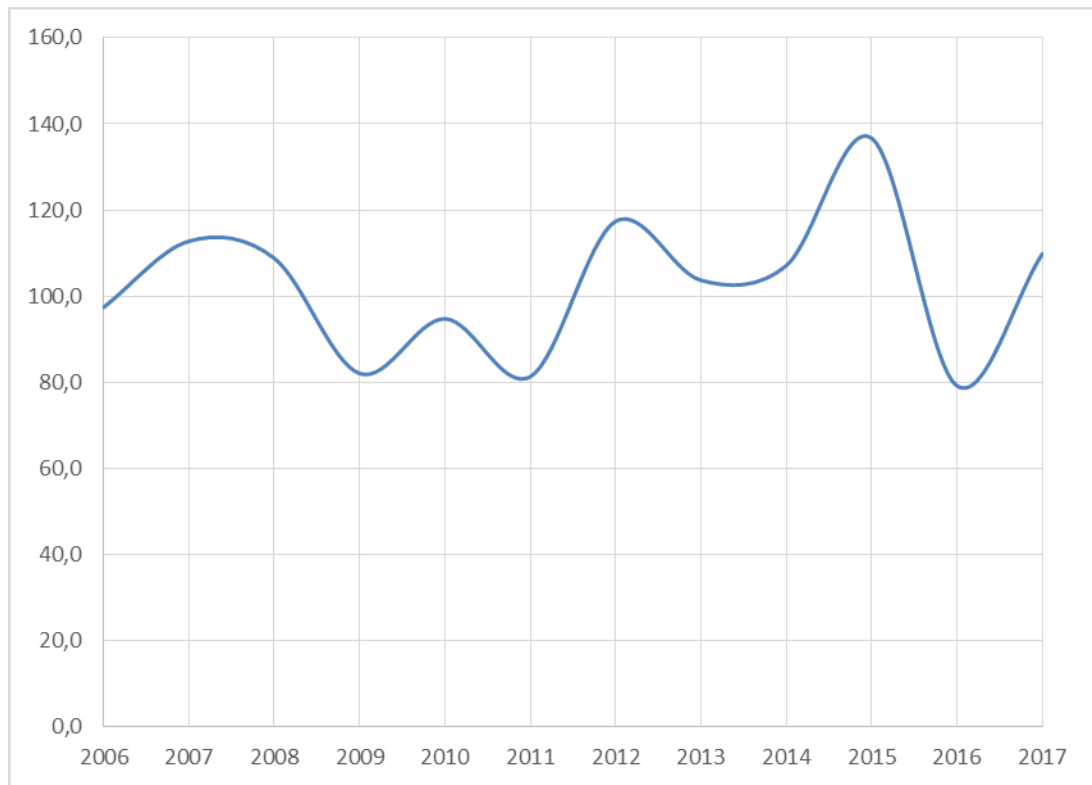


б)

**Рисунок В.7** – Хронологическое распределение данных осадков на станциях Сосновка (а) и Петропавловск-Камчатский (б) с 1961 по 2005 гг.



а)



б)

**Рисунок В.8** – Хронологическое распределение данных осадков на станциях Сосновка (а) и Петропавловск-Камчатский (б) с 2006 по 2017 гг.

## Приложение Г

### Извержения вулканов

**Таблица Г.1** – Извержения вулканов Ключевской группы (1950-2010-15 гг.). Составлено автором на основе данных [28],[38]

№	Название	Крупные извержения в 1950-2015 гг.
1	Ключевской	<p><b>Вершинные извержения:</b></p> <p>1944-45 гг. – извержение сопровождалось мощным пеплопадом (объем выпавшего пепла был близок к 0,6 км<sup>3</sup>; по Крестовскому жёлобу излился лавовый поток).</p> <p><b>1978-80 гг.</b> – эксплозивно-эффузивное извержение - лавы некоторое время изливались по Крестовскому желобу на склон вулкана.</p> <p><b>1984-87 гг.</b> – преимущественно эффузивное извержение. В периоды усиления эксплозивно-эффузивной деятельности грязевые потоки, пропиливая глубокие каньоны в ледниках, растекались более чем на 30 км от подножия вулкана. Еще одной особенностью этого извержения было образование раскаленных лавин.</p> <p><b>1993 г.</b> – сформировавшийся в Крестовском жёлобе (северный и северо-западный склоны) мощный лавовый поток в процессе движения интенсивно взаимодействовал с ледником Эрмана и со клоновыми льдами Ключевского вулкана, что привело к образованию лахар.</p> <p><b>1994 г.</b> - является одним из наиболее ярких и мощных проявлений эруптивной активности Ключевского вулкана в историческое время. Лавовые потоки активно взаимодействовали со льдом, происходили фреатомагматические взрывы. На юго-восток простирался густой темный шлейф, нагруженный продуктами вулканизма. Фиксировалось прохождение мощных грязевых потоков, достигавших р. Камчатки.</p> <p><b>Побочные извержения:</b></p> <p><b>1951 г.</b> – извержение конуса Былинкиной (восточный склон).</p> <p>Из двух эруптивных центров на высоте 950 м с разрушением шлакового конуса сложного строения и изливанием короткого крупноглыбового лавового потока большой мощности (до 40 м); высота лавовых фонтанов достигала 300-400 м, тучи газов и пепла – до 1800 м; в первые дни извержения сформирован поток лавы длиной 0,5 км, быстро прекратил свое движение.</p> <p><b>1953 г.</b> – извержение им. Белянкина на высоте 1300 м по трещине из трех эруптивных центров с образованием небольшого шлакового конуса, из которого несколькими рукавами произошло изливание шлакоглыбовой лавы.</p> <p><b>1956 г.</b> – кратковременное извержение им. Вернадского и им. Крыжановского (восточный склон) – по трещине из двух эруптивных центров 5 дней</p>



		<p>происходило излияние небольших глыбовых лавовых потоков.</p> <p><b>1966 г.</b> – извержение кратеров Пийпа (восточный склон) произошло выше 1300 м, продолжалось три месяца. Верхние кратеры – эксплозивные, из нижних вытекал глыбовый лавовый поток.</p> <p><b>1974 г.</b> – извержение им. IV Всесоюзного вулканологического совещания (юго-западный склон). Два кратера – эксплозивный на высоте 3600 м и эффузивный (3400 м). Образование глыбового лавового потока.</p> <p><b>1980 г.</b> – извержение им. 8 Марта на высоте 1800 м. Носило чисто эффузивный характер с излиянием маломощных шлакоглыбовых лавовых потоков.</p> <p><b>1983 г.</b> – прорыв «Предсказанный» на высоте 2875 м, продолжалось 112 дней. Эффузивное извержение.</p> <p><b>1987 г.</b> – извержение «Предвиденное» (юго-восточный склон) - спокойное кратковременное излияние небольшой порции лавы; затем трещина открылась чуть ниже по склону, и в леднике Шмидта появилась ещё одна порция лавы.</p> <p><b>1988 г.</b> – извержение XXV-летия Института вулканологии (южный склон).</p>
2	Плоский Дальний (Ушковский)	-
3	Плоский Ближний (Крестовский)	-
4	Безымянный	<p><b>1955-56 гг.</b> – катастрофическое извержение, с которого начался новый цикл эруптивной деятельности вулкана. Извержение началось сильными эксплозиями с большим количеством пепла. Затем на вулкане произошел направленный взрыв, уничтоживший вершину и восточный склон. Началась плининская деятельность, одновременно с которой - извержение пирокластических потоков, заполнивших долины рек подножия вулкана. По долине р. Сухой Хапицы поток прошел на расстояние 18 км.</p> <p><b>1956-66 гг.</b> – непрерывное выжимание жестких блоков купола, активность вулкана уменьшалась. Формировались раскаленные лавины.</p> <p><b>1966-76 гг.</b> – преимущественно слабые извержения</p> <p><b>1985 г.</b> – самое сильное извержение после 1956 г., произошел обвал восточного склона растущего купола. Взрыв сопровождавший данный процесс был направлен на северо-восток и уничтожил домик вулканологов в 3,5 км от купола, а также сформировал специфические пирокластические отложения. В пароксизмальную стадию произошли мощные эксплозии, сформировавшие серию ювенильных пирокластических потоков длиной до 12 км. Извержение завершилось излиянием лавового потока.</p>

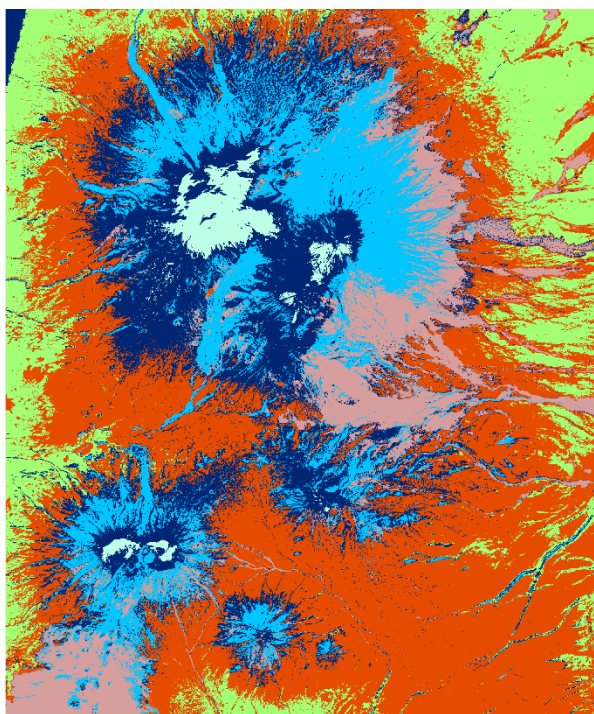
		<p><b>Последние несколько лет</b> слабые эксплозивные извержения происходили каждый год, продолжаясь 1-2 дня, и завершались подвижками блоков купола и излиянием вязких лавовых потоков.</p>
5	Группа Зиминых Сопок	-
6	Острый Толбачик	-
7	Плоский Толбачик	<p>6 июля 1975 г. – 10 декабря 1976 г. – <b>Большое трещинное Толбачинское извержение.</b></p> <p>Северные и южные прорывы возникли в 18 км и в 28 км юго-западнее кратера вулкана Плоский Толбачик.</p> <p>Является крупнейшим из известных базальтовых извержений в Курило-Камчатском вулканическом поясе и одно из шести наиболее мощных трещинных извержений на Земле в историческое время.</p> <p>Начало извержения характеризуется выносом огромного количества газов, пепла, шлаков и бомб. Затем извержение приобрело эксплозивно-эффузивный характер.</p> <p>В августе 1975 года впервые во время извержения началось излияние жидкой лавы.</p> <p>Особенность Южного прорыва по сравнению с Северным – резко выраженный эффузивный характер первого.</p> <p>Извержение Южного прорыва отличалось также перемещением потоков лавы по лавоводам, или лавовым тоннелям. Здесь отмечалось образование многих морфологических типов базальтовых лав.</p> <p>Во время БТТИ тонкая пирокластика распространилась на расстояние, превышающее 1000 км, а на площади, превышающей 400 км<sup>2</sup> была уничтожена вся растительность.</p>

**Таблица Г.2 – Извержения вулканов Авачинской группы 1961-2010-25 гг. Составлено автором на основе данных [28],[38]**

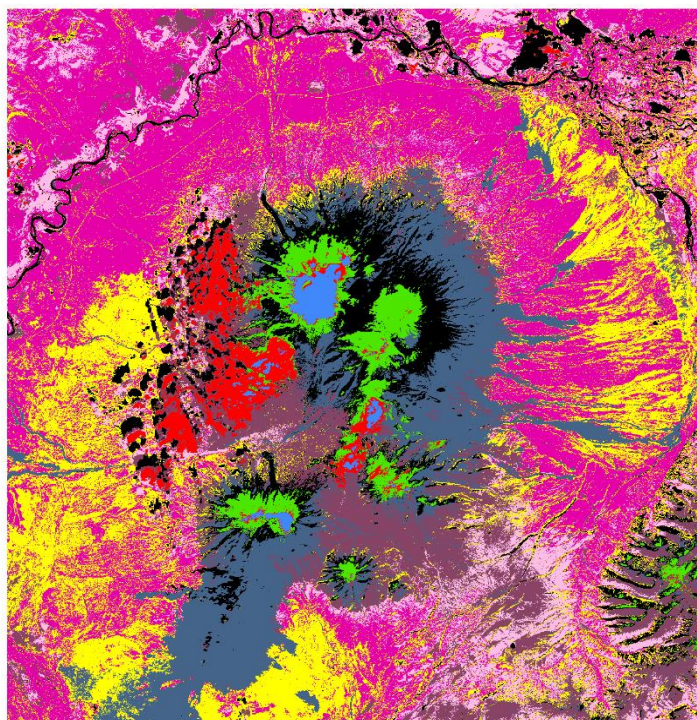
№	Название	Крупные извержения в 1950-2010 гг.
1	Арик	-
2	Ааг	-
3	Корякский	<p><b>1956-57 гг.</b> – слабое, чисто эксплозивное извержение, в ходе которого на северо-западном склоне на высоте около 3000-3100 м образовалась субтерминальная трещина. Из неё, как и из кратера, происходили неоднократные газопепловые выбросы, интенсивное выделение газов. Выпадение пепла фиксировалось на расстоянии до 18 км. Площадь покрытия пеплом небольшая – не более 4 км<sup>2</sup>.</p> <p><b>2009 г.</b> – во время извержения фиксировались пепловые шлейфы, которые протягивались на десятки и сотни километров (до 400 и более) (<b>риа новости</b>); отмечалось также, что ежесекундный объем выбрасываемого пепла составлял 200 тонн. По сравнению с предыдущим данное извержение началось более мощно и стремительно.</p> <p>Отмечался сход мощного селя в 30 км от Петропавловска-Камчатского (по руслу р. Дремучий).</p>
4	Авачинский	<p><b>1991 г.</b> – эффузивно-эксплозивное извержение. Объем изверженного материала – 13 млн. м<sup>3</sup>. Само извержение считается незначительным по мощности, но в ходе его развития наблюдались, пусть и в слабой форме, все основные виды опасных вулканических процессов: пеплопады, лахары, раскаленные лавины, лавовые потоки.</p> <p>В результате данного извержения кратер был запечатан так называемой «лавовой пробкой».</p> <p><b>2001 г.</b> – отмечена активизация. Зафиксирован небольшой пепловой выброс. Отмечается нарушение «лавовой пробки» сквозной трещиной северо-западного простирания.</p>
5	Козельский	-

## Приложение Д

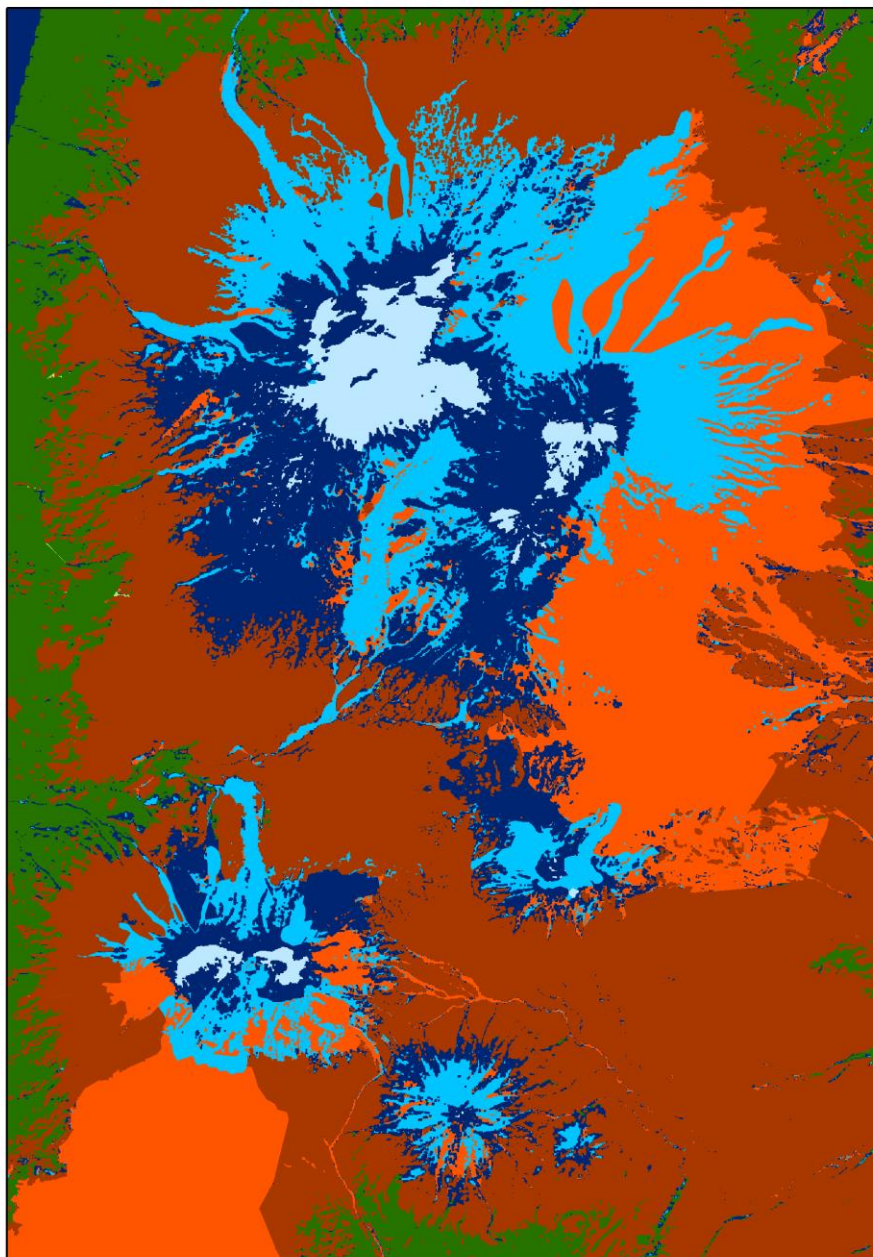
Дистанционные исследования территории Ключевской группы вулканов



**Рисунок Д.1** – Результат неконтролируемой классификации снимка за 2000 год.



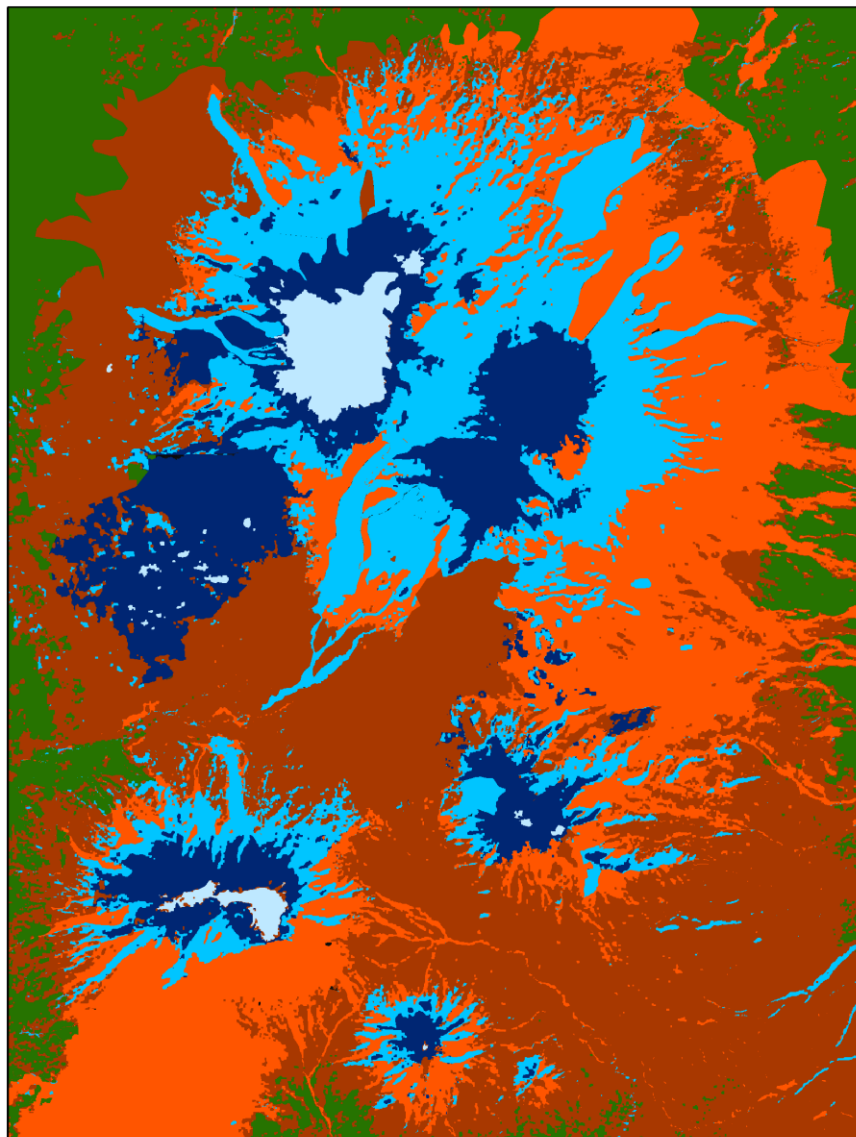
**Рисунок Д.2** – Результат неконтролируемой классификации снимка за 2014 год.



**Условные обозначения**

- Ледники
- Вершины вулканических построек, закрытые снежными шапками
- Крутые склоны действующих и потухших четвертичных вулканов, лишенные растительности, нередко расчлененные барранкосами.
- Пологие и средней крутизны склоны преимущественно подножий крупных четвертичных вулканов со следами четвертичных лавовых потоков.
- Глыбовые полого-наклонные поверхности четвертичных лавовых потоков. Лишены растительности.
- Поверхности четвертичных лавовых потоков и участки аллювиально-пролювиальных конусов выноса и шлейфов, покрытые растительностью.

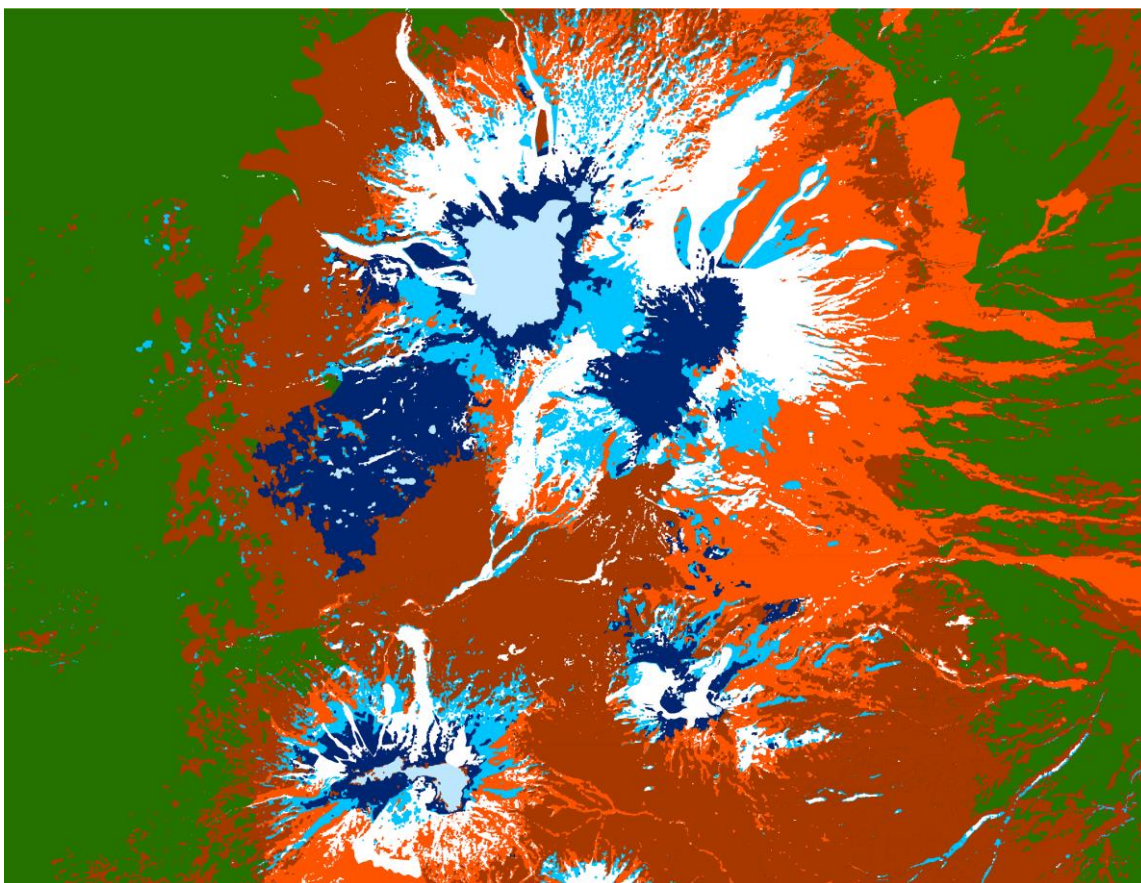
**Рисунок Д.3** – Геоморфологическая схема, составленная по результатам контролируемой классификация снимка за 2000 год.



**Условные обозначения**

- Ледники
- Вершины вулканических построек, закрытые снежными шапками.
- Крутые склоны действующих и потухших четвертичных вулканов, лишённые растительности, нередко расчленённые барранкосами.
- Пологие и средней крутизны склоны преимущественно подножий крупных четвертичных вулканов со следами четвертичных лавовых потоков.
- Глыбовые полого-наклонные поверхности четвертичных лавовых потоков. Лишены растительности.
- Поверхности четвертичных лавовых потоков и участки аллювиально-пролювиальных конусов выноса и шлейфов, покрытые растительностью.

**Рисунок Д.4** – Геоморфологическая схема, составленная по результатам контролируемой классификация снимка за 2014 год.



**Рисунок Д.5** – Изображение, полученное в результате наложения двух схем (2000 и 2014 гг.) Белый цвет – границы ледников на схеме 2000 г., голубой – 2014 г.