



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра гидрофизики и гидропрогнозов

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА**  
(магистерская диссертация)

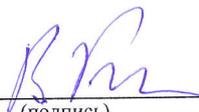
На тему **Влияние продолжительности  
рядов на изменение нормы  
суммарных влагозапасов**

Исполнитель \_\_\_\_\_ Рахимова Валерия Игоревна  
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель \_\_\_\_\_ д.т.н., профессор  
(ученая степень, ученое звание)

\_\_\_\_\_ Коваленко Виктор Васильевич  
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»  
Заведующий кафедрой

\_\_\_\_\_   
(подпись)

\_\_\_\_\_ д.т.н., профессор  
(ученая степень, ученое звание)

\_\_\_\_\_ Коваленко Виктор Васильевич  
(фамилия, имя, отчество)

«07» июня 2016 г.

Санкт-Петербург  
2016



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра гидрофизики и гидропрогнозов

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА**  
(магистерская диссертация)

На тему **Влияние продолжительности  
рядов на изменение нормы  
суммарных влагозапасов**

Исполнитель Рахимова Валерия Игоревна  
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель д.т.н., профессор  
(ученая степень, ученое звание)

Коваленко Виктор Васильевич  
(фамилия, имя, отчество)

**«К защите допускаю»  
Заведующий кафедрой**

(подпись)

(ученая степень, ученое звание)

(фамилия, имя, отчество)

«07» июня 2016 г.

Санкт-Петербург  
2016

## СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
Введение	3
1 Актуальность получения рядов изменения суммарных влагозапасов	5
1.1 Частично инфинитное моделирование	5
1.2 Постановка задачи исследований	11
2 Формирование рядов влагозапасов	15
2.1 Методы получения изменений влагозапасов	15
2.2 Генерирование рядов	20
3 Статистические характеристики рядов изменений суммарных влагозапасов	24
3.1 Европейская территория России	24
3.2 Азиатская территория России	42
4 Влияние продолжительности рядов на изменение нормы суммарных влагозапасов	57
4.1 Европейская территория России	57
4.2 Азиатская территория России	67
Заключение	77
Список использованных источников	79

## ВВЕДЕНИЕ

Уравнения водного баланса речных бассейнов являются основой для дифференциальных и алгебраических моделей формирования речного стока. Считалось, что составляющая уравнения водного баланса (изменение суммарных влагозапасов) для многолетнего формирования речного стока приравнивается к нулю. Это позволяло балансово увязывать между собой сток, осадки испарение, а также строить географические карты распределения многолетней нормы испарения (похожие карты имеются как для территории России, так и для Земного шара). Тем не менее, осуществленная в Российском государственном гидрометеорологическом университете фрактальная диагностика многолетних рядов речного стока в 2007 году выявила, что более 30 % рядов обладают дробной размерностью между 2 и 3. Это свидетельствует о том, что в расходной части балансового уравнения должны наличествовать три фазовые переменные, которые активно участвуют в формировании речного стока. Теоретическое рассмотрение уравнений, которые описывают формирование многомерной плотности вероятности, и которые учитывают сток, испарение и изменение влагозапасов, сделанное на кафедре гидрофизики и гидропрогнозов РГГМУ, показало, что многолетняя норма изменений суммарных влагозапасов не является нулевой. Эмпирическое свидетельство этого обстоятельства потребует исправления карт нормы испарения, которые обширно применяются как в России, так и за рубежом. Также были получены вероятностные оценки многолетних изменений суммарных влагозапасов, распределение географически их норм, и обнаружены районы, в которых они статистически значимо отличаются от нуля.

Вследствие этого острой становится оценка достоверности полученных рядов изменения суммарных влагозапасов, а также определения продолжительности рядов, которая необходима для

достоверной оценки нормы изменения суммарных влагозапасов и ее коэффициентов вариации.

# 1 АКТУАЛЬНОСТЬ ПОЛУЧЕНИЯ РЯДОВ ИЗМЕНЕНИЯ СУММАРНЫХ ВЛАГОЗАПАСОВ

## 1.1 Частично инфинитное моделирование

Ряды многолетнего годового стока ( $Q$ ) формируются при участии климатических величин (осадков  $\dot{X}$  и испарения  $E$ ), а также на них оказывают большое влияние гидрогеологические характеристики речных бассейнов, от которых и зависит изменение суммарных влагозапасов ( $\pm\Delta U$ ):  $\dot{X} = Q + E \pm \Delta U$ . Вследствие этого статистическим описанием реакции бассейна на внешнее воздействие ( $\dot{X}$ ) является трехмерная плотность вероятности  $p(Q, E, \Delta U)$ . Но в инженерной гидрологии пользуются ее проекцией  $p(Q)$ , это из-за того, что, во-первых, существуют проблемы получения рядов  $E$  и  $\Delta U$ , а во-вторых, есть востребованность у отраслей экономики именно в статистически обеспеченных расходах воды. Годовые распределения расходов эмпирически обычно аппроксимируют одномодальными асимметричными распределениями из семейства кривых Пирсона (например, кривой III типа или ее видоизменением – кривой Крицкого–Менкеля). Путем экстраполяции их в область малых обеспеченностей, отыскивают проектные расходы требуемой повторяемости  $Q_{p\%}$ . Похожая методика фиксирована в нормативных документах [1]. Если ее использовать, то могут возникнуть проблемы, которые связаны с неустойчивостью моментов вероятностных распределений. Они могут приводить к «толстым хвостам» и полимодальности [2, 3].

Было выявлено [2], что происхождение этой неустойчивости может быть связано со значительной ролью мультипликативных шумов в стохастической модели формирования многолетнего речного стока

(уравнение ФПК), которыми моделируется воздействие не учитываемых очевидным образом фазовых переменных ( $E$  и  $\Delta U$ ). Неустойчивость значит выход распределений за рамки семейства кривых Пирсона (стационарных решений уравнения ФПК). Была разработана методология [2, 4], которая позволяет вести борьбу с подобной неустойчивостью путем разгрузки мультипликативной части путем расширения фазового пространства, в рассматриваемом процессе формирования речного стока. Одним из главных этапов этой методологии является оценка фрактальной (дробной) размерности стокового ряда изучаемого водосбора. Ближайшее превышающее ее целое число (размерность пространства вложения) показывает, сколькими дифференциальными уравнениями первого порядка нужно потльзоваться для устойчивого моделирования процесса формирования стока.

территория России и Западной Африки была продиагностирована с использованием корреляционной фрактальной размерностью [4] и выявлено, что размерность пространства вложения меняется от 1 до 5 с преобладающими значениями 2 и 3. Наличие речных бассейнов с размерностью более 3-х свидетельствует о том, что некоторые фазовые переменные могут взаимодействовать и нелинейно. Географически районировать фрактальную размерность не вышло, но было установлено, что на определенных широтах у зависимости фрактальной размерности ( $\xi$ ) от климатической нормы приземной температуры воздуха  $T^\circ \text{C}$  существует максимум, то есть имеются области со сложным механизмом формирования многолетнего стока, в которых использование одномерных проекций типа  $p(Q)$  менее всего аргументировано, а значит, сомнительно.

Было обработано 756 рядов среднегодовых расходов воды на речных бассейнах, расположенных в Южном и Северном полушариях. На рисунке 1 показана полученная зависимость  $\xi = f(T)$ . Эта зависимость была построена по осредненным в интервале  $\Delta T = 2^\circ \text{C}$  значениям фрактальной

размерности. На графике видно, что в пределах среднеквадратического отклонения  $\sigma$  существует интервал температур (от 1,6 до 7 °C), в котором с вероятностью 34 % размерность пространства вложения превышает 2.

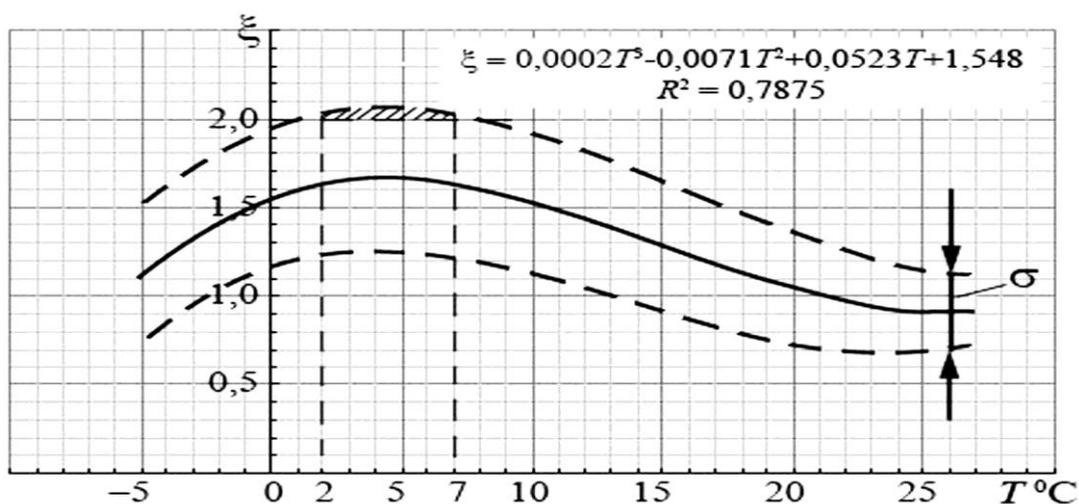


Рисунок 1 – Зависимость фрактальной размерности рядов среднегодового многолетнего стока от климатической нормы приземной температуры воздуха [5].

На рисунке 2 эта полоса показана в глобальном масштабе. Для Северного полушария полоса захватывает преимущественно умеренные географические пояса суши Земли, а в Южном полушарии – умеренный пояс Чили. Карта показывает зоны, в которых формирование речного стока проходит более сложно и менее предпологаемо, в случае если пользоваться одномерными проекциями  $p(Q)$ .

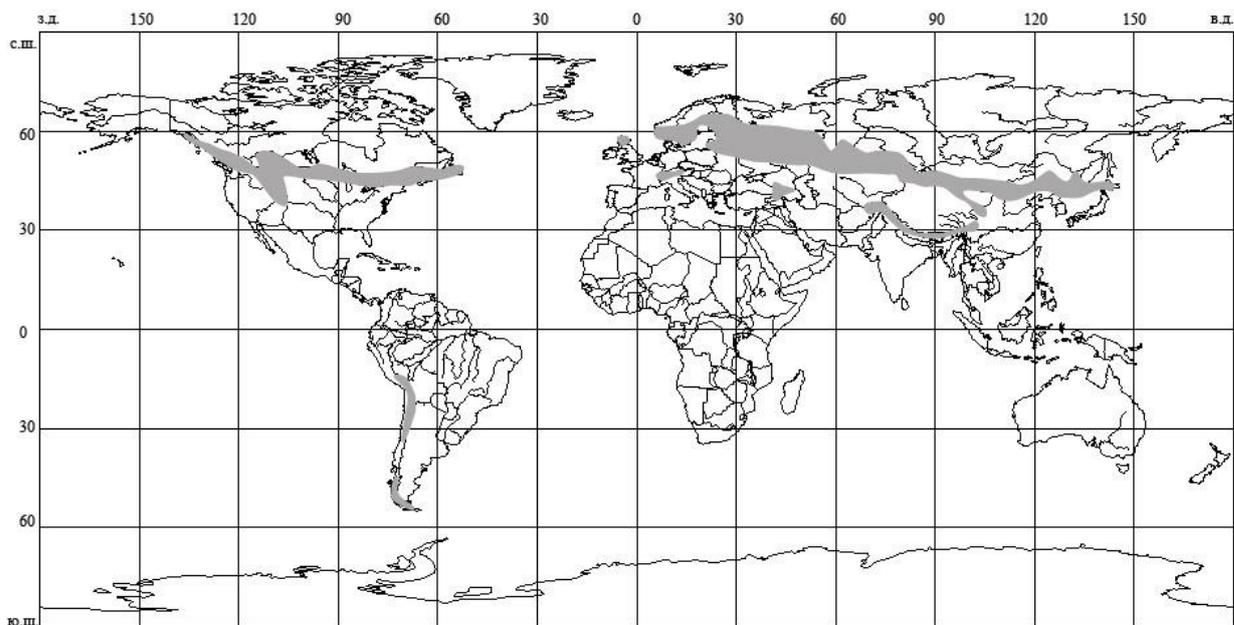


Рисунок 2 – Наиболее вероятные регионы с неустойчивыми моментами одномерных распределений расходов воды [6].

Таким образом, было выявлено, что фрактальная размерность рядов многолетнего стока наиболее часто лежит в интервале 2 – 3 в умеренном климатическом поясе, то есть в его формировании участвуют все три фазовые переменные, которые входят в правую часть формулы  $X = Q + E \pm \Delta U$ , а из модели эволюции плотности вероятности  $p(Q, E, \Delta U)$  нисколько не следует, что  $M[\Delta U] = 0$  [4]. Это было показано на примере стохастического уравнения только для одной фазовой переменной  $\Delta U$  [4]:

$$d(\Delta U) = \{[-(M[c] + c')\text{sgn}(\Delta U) + M[N] + N']/\tau_{\Delta U}\}dt, \quad (1)$$

где  $N = X - Q - E$ ;

$c$  – параметр, который характеризует скорость насыщения (или водоотдачи) почвогрунтов речного бассейна;

$\tau_{\Delta U}$  – время релаксации почвогрунтовой емкости ( $\tau_{\Delta U} = 1$ );

$\text{sgn}(\Delta U)$  – знаковая функция;

$M[N]$ ,  $M[c]$  – математические ожидания;

$N'$  и  $c'$  – белые шумы с интенсивностями  $G_{c'}$ ,  $G_{N'}$  и взаимной интенсивностью  $G_{c'N'}$ .

Уравнением похожего по структуре типа описывается релейная следящая система, которая подробно изучена в различных вариантах академиком В. С Пугачевым и его учениками [7]. Основываясь на их результаты, была показана возможность появления ненулевого среднего значения  $\Delta U$  за многолетний период. «Пусть  $M[N] = 0$ , но интенсивность шумов не равна нулю ( $G_{N'} \neq 0$ ,  $G_{c'} \neq 0$ ,  $G_{c'N'} \neq 0$ ). Производя обычную процедуру перехода от стохастического дифференциального уравнения к статистически эквивалентному ему уравнению Фоккера–Планка–Колмогорова, можно получить выражение для стационарной плотности вероятности

$$p(\Delta U) = k \exp \left\{ - \frac{2M[c]|\Delta U|}{G_{c'} - 2G_{c'N'} \operatorname{sgn} \Delta U + G_{N'}} + \frac{G_{c'N'} \operatorname{sgn} \Delta U}{G_{c'} + G_{N'}} \right\}, \quad (2)$$

где  $k$  – коэффициент, нормирующий на единицу интеграл от плотности вероятности.

При  $G_{c'N'} = 0$  распределение  $p(\Delta U)$  симметрично. При  $G_{c'N'} \neq 0$  возникает асимметрия, знак которой зависит от того, как коррелированы аддитивные ( $N'$ ) и мультипликативные ( $c'$ ) шумы (отрицательно или поожительно). Возникновение  $M[\Delta U]_2 \neq 0$  при нулевом значении математического ожидания входного воздействия  $M[N]$  (но при взаимодействии «внешних»  $N'$  и «внутренних»  $c'$  шумов) называется эффектом детектирования» [4] (рисунок 3).

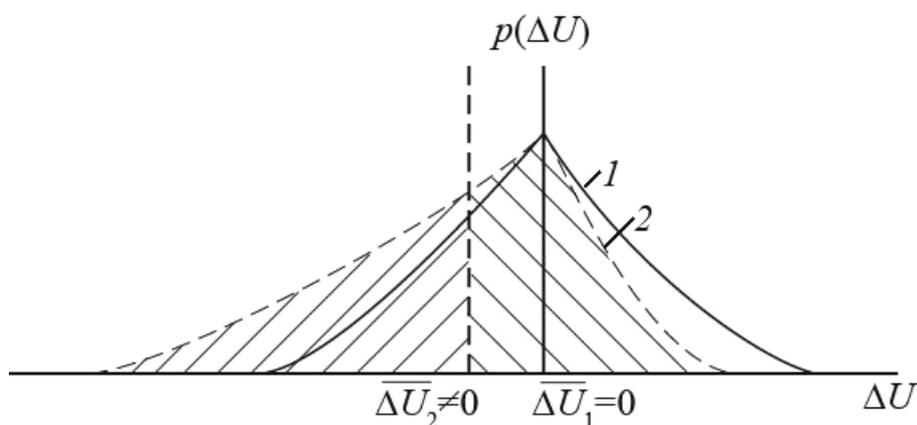


Рисунок 3 – Эффект детектирования при ненулевой корреляции «внешних» ( $\tilde{N}$ ) и «внутренних» ( $\tilde{c}$ ) шумов: 1 – при  $G_{\tilde{c}\tilde{N}} = 0$ ; 2 – при  $G_{\tilde{c}\tilde{N}} \neq 0$ .

Бассейны, которые представляют собой практический интерес это те, у которых  $|\overline{\Delta U}|$  статистически значимы. В работе [4] рассматривается более подробно «печорское пятно» (бассейн реки Печора), в котором среднее по бассейну значение  $\overline{\Delta U}$  равно  $-160$  мм, что составляет 25 % в общем многолетнем водном балансе.

Нужно обратить внимание, что факт ненулевой нормы ( $\overline{\Delta U} \neq 0$ ) совсем не значит, что происходит многолетнее иссушение или увлажнения речных бассейнов. Все дело в том, что  $\overline{\Delta U}$  это не сами влагозапасы, а производная от них по времени, т. е. скорость изменения ( $\Delta U = dW / dt$ ). А из математики известно, что нулевое среднее для функции вовсе не означает, что среднее от ее производной тоже также будет нулевым.

Рисунок 4 приводится в [4] как пример, который проясняет ситуацию. Из него видно, что часто возникают значительные отрицательные выбросы процесса  $\Delta U(t)$ , которые приводят к появлению систематического отрицательного смещения случайного процесса изменения влагозапасов в почвогрунтах  $\overline{\Delta U} = -50$  мм.

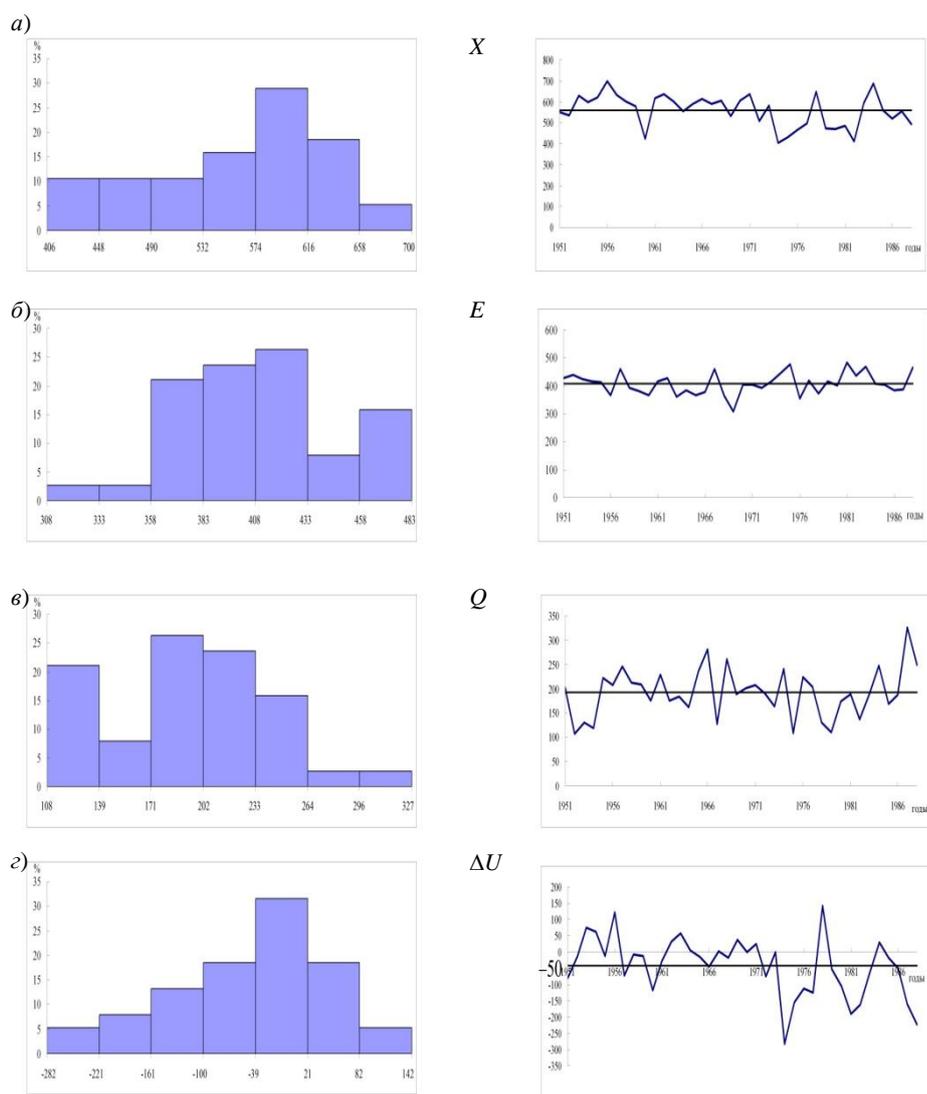


Рисунок 4 – Изменение годовых значений составляющих уравнения водного баланса и их гистограммы, р. Чепца – с. Полом.

## 1.2 Постановка задачи исследований

Изменение водных запасов в почвогрунтах определяется по данным наблюдений за влажностью верхнего слоя почвогрунтов на глубине 1 метр на воднобалансовых и агрометеорологических станциях, а также на пунктах опорной и массовой агроводнобалансовой сети. Ниже метрового

слоя запасы влаги в почвогрунтах в зоне аэрации не измеряются. Наибольший интерес вызывает наблюдения за запасами влаги на участках, которые нужны для расчета водного баланса, где естественные виды ландшафта, например лес, луг или целина. Они характерны для большинства речных бассейнов. Но такие наблюдения проводятся в немногих пунктах, которые находятся в наиболее освоенных сельскохозяйственных районах. Вследствие этого на значительной территории РФ эти наблюдения не ведутся.

Влагозапасы в почве на агрометеорологических станциях измеряются на участках, где произрастают определенные сельскохозяйственные культуры, которым соответствует определенный тип севооборота. Их выращивают в различные годы на различных полях, соответственно из-за этого данные не будут являться однородными из-за разных физических свойств почвогрунтов на совершенно разных сельскохозяйственных полях. Вследствие этого данные не могут быть сравнимыми в многолетнем разрезе.

Из-за недостаточности исходной информации, которая необходима для учета влажности всех типов почвогрунтов (естественных угодий и сельскохозяйственных полей) расчет средних значений не ведется.

Когда составляется текущий водный баланс, то среднее взвешенное значение изменений влагозапасов определяется с учетом разности во влажности почвы для леса, для луга и сельскохозяйственных угодий. Также, когда составляется водных баланс, определяют невязку – остаточный член, который учитывает неучтенные элементы водного баланса, например, изменение запасов воды в биомассе, микропонижениях на поверхности водосбора, так называемые «горизонтальные» осадки, в почвогрунтах верхнего слоя глубиной 1 метр и другое, а также погрешности определений элементов водного баланса. Изменение суммарных влагозапасов различно для речных бассейнов разных

природных зон, для разных месяцев, сезонов (для одного и того же речного бассейна)

В настоящее время большинство гидрологов считает, что изменение суммарных влагозапасов следует учитывать только для расчета водного баланса величиной в год. Но так как на кафедре гидрофизики и гидропрогнозов было установлено, что при многолетнем составлении водного баланса величиной  $\pm \Delta U$  пренебрегать нельзя, то изучение суммарных влагозапасов приобретает очевидную роль. К примеру, это корректировка карт норм многолетнего испарения, а также выявление той продолжительности ряда, при которой можно корректно рассчитать норму изменений суммарных влагозапасов.

За последние десятилетия в мире, в частности, в России происходят изменения климата, которые связаны с ростом среднегодовой температуры приземного слоя атмосферы. В последствие эти изменения могут сказаться на социально-экономическом развитии территории, что также объясняет необходимость изучения нормы изменения суммарных влагозапасов.

Методика исследования включала обобщение и статистический анализ данных гидрологических наблюдений за суммарными влагозапасами.

В виду наличия длинных рядов наблюдений, становится возможным исследовать свойства временных рядов, применяя графические и графоаналитические методы.

Исходной информацией для исследований служили материалы наблюдений для Европейской территорией России (ЕТР) и Азиатской территорией России (АТР).

В связи с поставленной целью необходимо решить следующие задачи:

- изучить методы определения влагозапасов и изменения влагозапасов речных бассейнов;
- статистически обработать ряды изменения влагозапасов;

– обосновать длину ряда для точного нахождения нормы изменения суммарных влагозапасов.

– построить карты изменений суммарных влагозапасов для ЕТР и АТР для районов, где проводились исследования.

## 1.2 Постановка задачи исследований

Изменение водных запасов в почвогрунтах определяется по данным наблюдений за влажностью верхнего слоя почвогрунтов на глубине 1 метр на воднобалансовых и агрометеорологических станциях, а также на пунктах опорной и массовой агроводнобалансовой сети. Ниже метрового слоя запасы влаги в почвогрунтах в зоне аэрации не измеряются. Наибольший интерес вызывает наблюдения за запасами влаги на участках, которые нужны для расчета водного баланса, где естественные виды ландшафта, например лес, луг или целина. Они характерны для большинства речных бассейнов. Но такие наблюдения проводятся в немногих пунктах, которые находятся в наиболее освоенных сельскохозяйственных районах. Вследствие этого на значительной территории РФ эти наблюдения не ведутся.

Влагозапасы в почве на агрометеорологических станциях измеряются на участках, где произрастают определенные сельскохозяйственные культуры, которым соответствует определенный тип севооборота. Их выращивают в различные годы на различных полях, соответственно из-за этого данные не будут являться однородными из-за разных физических свойств почвогрунтов на совершенно разных сельскохозяйственных полях. Вследствие этого данные не могут быть сравнимыми в многолетнем разрезе.

Из-за недостаточности исходной информации, которая необходима для учета влажности всех типов почвогрунтов (естественных угодий и сельскохозяйственных полей) расчет средних значений не ведется.

Когда составляется текущий водный баланс, то среднее взвешенное значение изменений влагозапасов определяется с учетом разности во влажности почвы для леса, для луга и сельскохозяйственных угодий. Также, когда составляется водных баланс, определяют невязку – остаточный член, который учитывает неучтенные элементы водного баланса, например, изменение запасов воды в биомассе, микропонижениях на поверхности водосбора, так называемые «горизонтальные» осадки, в почвогрунтах верхнего слоя глубиной 1 метр и другое, а также погрешности определений элементов водного баланса. Изменение суммарных влагозапасов различно для речных бассейнов разных природных зон, для разных месяцев, сезонов (для одного и того же речного бассейна)

В настоящее время большинство гидрологов считает, что изменение суммарных влагозапасов следует учитывать только для расчета водного баланса величиной в год. Но так как на кафедре гидрофизики и гидропрогнозов было установлено, что при многолетнем составлении водного баланса величиной  $\pm \Delta U$  пренебрегать нельзя, то изучение суммарных влагозапасов приобретает очевидную роль. К примеру, это корректировка карт норм многолетнего испарения, а также выявление той продолжительности ряда, при которой можно корректно рассчитать норму изменений суммарных влагозапасов.

За последние десятилетия в мире, в частности, в России происходят изменения климата, которые связаны с ростом среднегодовой температуры приземного слоя атмосферы. В следствие эти изменения могут сказаться на социально-экономическом развитии территории, что также объясняет необходимость изучения нормы изменения суммарных влагозапасов.

Методика исследования включала обобщение и статистический анализ данных гидрологических наблюдений за суммарными влагозапасами.

В виду наличия длинных рядов наблюдений, становится возможным исследовать свойства временных рядов, применяя графические и графоаналитические методы.

Исходной информацией для исследований служили материалы наблюдений для Европейской территорией России (ЕТР) и Азиатской территорией России (АТР).

В связи с поставленной целью необходимо решить следующие задачи:

- изучить методы определения влагозапасов и изменения влагозапасов речных бассейнов;
- статистически обработать ряды изменения влагозапасов;
- обосновать длину ряда для точного нахождения нормы изменения суммарных влагозапасов.
- построить карты изменений суммарных влагозапасов для ЕТР и АТР для районов, где проводились исследования.

## 2 ФОРМИРОВАНИЕ РЯДОВ ВЛАГОЗАПАСОВ

### 2.1 Методы получения изменений влагозапасов

Большое внимание методам расчета влагозапасов почвогрунтов уделяют агрометеорологи. В каких-то случаях строятся местные эмпирические связи влагозапасов с осадками и температурой воздуха (при учете фазы развития культуры и ее вида), а в каких-то других случаях связи представляют в виде уравнений регрессии, которые дополнительно учитывают механический почвенный состав. Эти уравнения подходят только локально, так как строятся лишь для заданного вида культуры, почвенного типа и фазы развития культуры.

Есть и другие методы определения влагозапасов посвогрунтов. К ним нужно отнести расчеты, в которых использовались данные с метеостанций, путем определения «взвешенных» осадков.

Расчеты влагозапасов на метеостанциях основаны на том же методе, что и расчеты испарения методом Константинова. Было показано, что с совместным попарным значением температуры  $T$  и влажности воздуха  $e$ , тесно взаимодействуют не только теплообмен (турбулентный) и испарение, но и также радиационный баланс, а стало быть и размер испаряемости.

Для средне-многолетних условий с теми же самыми характеристиками оказались связаны еще и величины осадков, а также суммарного стока. Соответственно с этими величинами получились связаны и изменение влагозапасов в почвогрунтах, которые характеризуются разницей между конечным и начальным их значением за период расчета.

Эти связи характерны для поверхности, которая находится непосредственно на метеостанции.

Существуют два принципиально отличных способа (метода) [5] измерения влажности и влагозапасов почвогрунтов:

– способы, позволяющие определить влажность почвы в естественных условиях (без отбора проб) по изменению электрических, тепловых, механических и других свойств почвы с изменением ее влажности;

– методы, предполагающие отбор проб из почвогрунтов с последующим определением влажности в лабораторных условиях.

К первой группе относятся способы, основанные на использовании изменения электропроводности почвы с изменением ее влажности (омический метод), на зависимости диэлектрической проницаемости почвы от ее влажности (диэлектрический), по оценке силы, с которой почва удерживает влагу (тензиометрический), метод адсорбционных блоков, на использовании радиоактивных методов (нейтронный, гамма-лучей) и другие.

Ко второй группе относится наиболее распространенный, достаточно точный, однако очень трудоемкий, термостатно-весовой метод [5,6].

Ниже кратко излагаются основы некоторых из перечисленных методов.

*Омический метод* разработан [5] и широко используется в США. В СССР усовершенствован А. И. Данилиным и И. И. Судницыным. Он заключается в следующем: в почву на глубину, где необходимо измерить ее влажность, закладываются блоки (цилиндрической или прямоугольной формы), изготовленные из тонкопористого материала – гипса, нейлонового или стеклянного волокна. В блок вмонтирована пара электродов; между ними имеется прослойка материала, из которого изготовлен блок.

Поскольку последний сделан из пористого материала, он всасывает некоторое количество влаги из окружающей среды. В дальнейшем влажность блока связана с влажностью окружающей среды и определяется по электропроводности между вмонтированными в него электродами. Имея тарировочную зависимость между влажностью блока и почвы, можно определить влажность почвы.

*Тензиометрический метод* [5]. По мере иссушения почва приобретает способность при соприкосновении с чистой водой поглощать ее или всасывать в себя. Такая способность была впервые установлена Корневым в 1924 г. и получила название «сосущей силы почвы». Корневым был предложен и метод ее определения с помощью тонкостенного сосуда с пористыми стенками, который является датчиком и помещается в почвогрунт. Сосуд заполняется водой, герметически закрывается и соединяется трубкой, тоже заполненной водой, с манометром, который и предназначен для измерения всасывающего давления.

Если влажность почвы меньше полной влагоемкости, то вода высасывается из сосуда до тех пор, пока сосущая сила почвы не уравновесится отрицательным давлением ртутного столба в манометре. Наоборот, если влажность почвы начнет возрастать, то содержащаяся в ней влага будет проникать в сосуд и давление в манометре станет падать до тех пор, пока не установится новое равновесие между ним и сосущей силой почвы. По этим показаниям и судят о всасывающем давлении. Влажность почвы находят по эмпирической тарировочной кривой, показывающей связь между влажностью данной почвы и ее сосущей силой.

*Гаммаскопический метод* [5, 6] основан на ослаблении интенсивности пучка гамма-квантов, проходящего через почву, вызываемом как твердой, так и жидкой ее фазами. Если мощность слоя почвы, для которой определяется ее влажность, остается постоянной, то

изменение интенсивности гамма-квантов зависит только от влагонасыщенности почвы. Измерения производятся следующим путем. В почве на некотором расстоянии друг от друга пробуриваются две вертикальные скважины и оборудуются обсадными трубами. В одну из них вводят контейнер, в который заключен источник гамма-квантов (Co или Cs) с коллиматором. В другую скважину вводят детектор, связанный со счетчиком импульсов. Детектор и источник помещаются на ту глубину, на которой необходимо определить влажность. Затем измеряют интенсивность гамма-излучения, проходящего через почвогрунты, расположенные между скважинами, характеризуемую числом импульсов в единицу времени. Если через некоторый промежуток времени влажность почвы станет иной, то изменится и интенсивность гамма-излучения. По этому изменению можно определить величину пополнения или убыли запасов влаги. Для перехода к абсолютным влагозапасам необходимо каким-либо другим методом (например, весовым) определить первоначальный запас влаги.

*Нейтронный метод* [5] определения влажности почвы основан на следующем принципе. Поместив в почву источник быстрых нейтронов, и, наблюдая за рассеиванием последних, можно обнаружить, что быстрые нейтроны, взаимодействуя с ядрами вещества почвы, теряют присущую им энергию и замедляются. Самым сильным замедлителем быстрых нейтронов являются ядра водорода. Замедляющая способность последних на 1–2 порядка превосходит эту характеристику других элементов, содержащихся в почве. Потеря энергии быстрыми нейтронами происходит в пределах некоторой сферы, центром которой является источник.

Измерение влажности нейтронным методом производится в скважине, в которую помещают одновременно источник нейтронов и детектор. Первый состоит из  $\alpha$ -излучателя и бериллиевой мишени. При облучении  $\alpha$ -частицами ядер бериллия возникают нейтроны и гамма-частицы. Нейтроны проникают в почву и вызывают гамма-излучение,

которое регистрируется счетчиком. С целью усиления захвата тепловых нейтронов счетчики рекомендуется окружать тонким кадмиевым экраном, который является сильным поглотителем медленных нейтронов.

Кроме рассмотренных методов измерения влажности существует ряд других. К ним относятся *рефлектометрический метод*, основанный на измерении интенсивности рассеиваемого поверхностью почвы света при освещении этой поверхности источником постоянной мощности; *метод А. Ф. Чудновского*, применяя который устанавливают зависимости между влажностью почвы, ее теплоемкостью, теплопроводностью и плотностью; *метод В. А. Рымиш*, основанный на измерении влажности путем определения диэлектрической проницаемости и так далее [5, 6].

*Термостатно-весовой метод*. Весовой метод пока остается наиболее точным и единственным прямым методом определения влажности почвы. Сущность его заключается в том, что из почвы с помощью почвенного бура периодически извлекаются послойно образцы почвы, которые помещаются в сушильные стаканчики (бюксы), взвешиваются, высушиваются и вновь взвешиваются. Разность между первым и вторым весами, отнесенная к массе сухого образца почвы и выраженная в процентах от него, и является влажностью почвы.

Если учесть большую изменчивость влагозапасов почвогрунтов и разные виды информации исходных данных, то для получения наиболее достоверных величин влагозапасов почвогрунтов стоит их рассчитывать несколькими способами, хотя бы двумя-тремя независимыми друг от друга.

В данной работе используется метод водного баланса. В нем рассчитываются изменения суммарных влагозапасов. Подробнее об этом написано ниже.

## 2.2 Генерирование рядов

Исходными материалами для расчетов элементов водного баланса речных бассейнов за многолетний период являются наблюдения сети станций за осадками и стоком. Данные указанных наблюдений публикуются в виде гидрологических и метеорологических ежегодников, бюллетеней и других изданий.

Для составления водного баланса за отдельные годы, сезоны, месяцы дополнительно требуются данные об изменении запасов влаги в бассейне. Эти данные определяются по результатам наблюдений за влажностью почвы, за колебаниями уровня воды на озерах, за колебаниями уровня подземных вод в скважинах, по снегомерным съемкам.

Для расчетов водного баланса небольших территорий со специфической структурой баланса (горноледниковых бассейнов, лесных массивов, орошаемых земель и тому подобное) в большинстве случаев необходимо организовать специальные наблюдения по особой программе, например за таянием ледников, перехватом осадков древесной растительностью, влажностью зоны аэрации и так далее.

Для расчета испарения необходимы данные испарительных установок и данные наблюдений метеорологических станций за температурой и влажностью воздуха, скоростью ветра, облачностью и солнечной радиацией.

В гидрологии метод водного баланса позволяет определить по разности между изученными величинами тот из компонентов баланса, который в данных условиях трудно измерить, но он нужен для выявления закономерностей влагооборота в пределах рассматриваемого объекта.

Расчет производится по данным наблюдений на гидрометеорологической сети, к которым относятся метеорологические станции и гидрологические посты. Для больших речных бассейнов требуется несколько пунктов наблюдений.

Уравнение водного баланса:

$$X = E + Q \pm \Delta U, \quad (3)$$

где  $X$  – атмосферные осадки или талая снеговая вода, поступающая на поверхность речного бассейна;

$E$  – суммарное испарение с поверхности бассейна;

$\pm \Delta U$  – изменение запасов влаги в бассейне.

Были отобраны самые длинные ряды по 14 водосборам для ЕТР и по 16 водосборам для АТР, координаты представлены в таблице 1, а местоположение постов показано на рисунке 5. Продолжительность наблюдений составляет в среднем 49 лет.

Таблица 1 – Географические координаты и площади выбранных водосборов

Река – пост	$F$ , км <sup>2</sup>	Координаты пунктов	
		широта	долгота
ЕТР			
Сок – ст. Сургут	4730	54,05	51,76
Самара – с. Елшанка	22800	52,47	53,26
Большой Кинель – п. Тимошево	12000	53,53	52,63
Сызранка – с. Репьевка	4380	53,28	47,49
Сылва – пгт Шамары	3130	57,4	58,63
Белая – д. Сыртланово	10100	53,8	58
Уфа – г. Красноуфимск	14200	56,39	59,14
Ай – с. Лаклы	6440	55,2	59,29
Ай – с. Метели	14200	55,53	58,89
Дема – д. Бочкарева	12500	53,77	54,67
Сюнь – с. Миньярово	4140	55,15	53,9
Ик – с. Нагабайково	12300	54,33	53,55
Чепца – с. Полом	5930	57,64	53,55
Чепца – г. Глазов	9750	57,76	53,36
Быстрица – п. Шипицино	3540	58,11	49,69
АТР			
Лямин – факт. Горшково	12800	62,43	70,06

Река – пост	F, км <sup>2</sup>	Координаты пунктов	
		широта	долгота
Елогуй – г.Келлог	16300	62,71	86,91
Кас – пос. Александровский шлюз	7640	59,11	89,63
Абакан – г. Абаза	14400	52,01	89,09
Мана – пос. Манский	9080	55,11	93,73
Амыл – с.Качулька	9450	53,31	93,71
Кан – г.Канск	23000	55,06	95,71
Нижняя Тунгуска – с.Подволошино	8270	58,1	107,22
Ингода – с.Дешулан	6130	50,49	111,42
Онон – с.Бытэв	49500	50,63	114,32
Унда – с.Новоиваново	7650	51,46	117,29
Черная – с.Сбега	10300	53,35	118,43
Ивановка – с.Ивановка	2710	50,22	127,74
Ток – пр-к Николаевский	3820	48,88	131,33
Амгунь – с.Гуга	41000	51,97	135,62
Нимелен – г. Тимченко	9950	52,85	136,32

Посты на Европейской территории находятся на сравнительно небольшом расстоянии друг от друга на юго-востоке (см. рисунок 5) и с различными площадями водосборов, как с большими, так и с малыми (см. таблицу 5), для Азиатской территории России были отобраны посты на большом расстоянии друг от друга (см. рисунок 5), то есть находятся в разных природных зонах, площади водосборов так же сильно варьируются, как и на ЕТР.

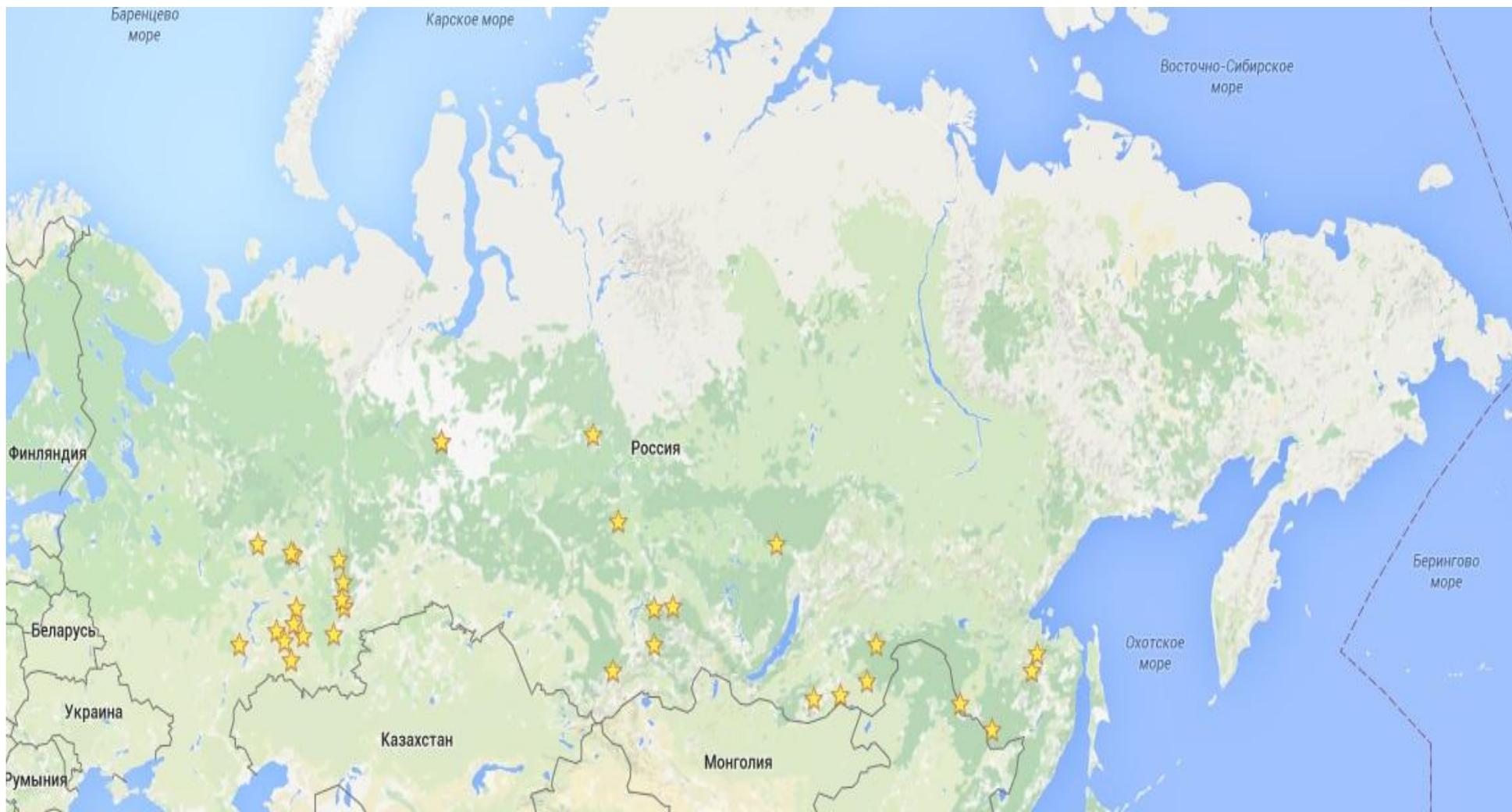


Рисунок 5 – Местоположение выбранных постов.

### 3 СТАТИСТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РЯДОВ ИЗМЕНЕНИЙ СУММАРНЫХ ВЛАГОЗАПАСОВ

#### 3.1 Европейская территория России

Анализ многолетних изменений суммарных влагозапасов включал в себя проверку на однородность при помощи критериев Фишера и Стьюдента. Вывод о неслучайном изменении или нарушении однородности рядов делался на уровне значимости  $\alpha=2, 5, 10 \%$  в случае, когда расчетная статистика превышала соответствующее критическое значение.

Статистические характеристики находились методом наибольшего правдоподобия по формулам:

– норма:

$$\Delta\bar{U} = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta U_i}{n}, \quad (4)$$

где  $\Delta\bar{U}$  – норма изменений суммарных влагозапасов;

$\Delta U_i$  – изменения суммарных влагозапасов за  $i$ -ый год.

– коэффициенты вариации:

$$C_v = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (k_i - 1)^2}}{n - 1}, \quad (5)$$

где  $C_v$  – коэффициент вариации;

$k_i$  – модульный коэффициент, определяемый по формуле:

$$k_i = \frac{\Delta U_i}{\Delta\bar{U}}, \quad (6)$$

– коэффициент асимметрии:

$$C_s = \frac{n \sum_{i=1}^n (k_i - 1)^3}{(n-1)(n-2)C_v^3}, \quad (7)$$

где  $C_s$  – коэффициент асимметрии;

$k_i$  – модульный коэффициент.

– коэффициент автокорреляции:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n [(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})]}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}, \quad (8)$$

где  $r$  – коэффициент автокорреляции;

$\bar{x}$  и  $\bar{y}$  – средние значения соответственно для выборок  $x$  и  $y$ .

Статистические характеристики рядов изменения суммарных влагозапасов речных бассейнов представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Статистические характеристики рядов изменения суммарных влагозапасов речных бассейнов ЕТР

Река–пост	$\Delta\bar{U}$	$C_v$	$C_s$	$C_s/C_v$	$r(1)$
Сок – ст.Сургут	-102	-1,22	-0,43	0,35	0,08
Самара – с.Елшанка	-141	-0,88	-0,37	0,43	-0,01
Большой Кинель – п.Тимошево	-76	-1,67	-0,3	0,18	0,09
Сызранка – с.Репьевка	-115	-0,97	-0,35	0,35	-0,04
Белая – д.Сыртланово	-204	-0,48	-0,78	1,64	0,01
Уфа – г.Красноуфимск	-51	1,79	-0,07	0,041	-0,01
Ай – с.Лаклы	-24	-3,24	0,008	-0,0026	-0,06
Ай – с.Метели	57	1,62	0,024	0,015	0,05
Дема – д.Бочкарева	-28	-4,69	0,036	-0,008	0,23
Сюнь – с.Миньярово	-27	-1,22	-0,78	0,47	0,23
Ик – с.Нагабайково	-62	-2	-0,503	0,25	0,14
Чепца – с.Полом	-62	-1,48	-0,17	0,12	0,4
Чепца – г.Глазов	-75	-1,27	-0,52	0,4	0,51
Быстрица – п. Шипицино	-18	-5,3	0,27	-0,05	-0,08

Из таблицы 2 видно, что средний коэффициент вариации равняется – 1,55, средний коэффициент асимметрии равняется –0,28, средний коэффициент асимметрии 0,11.

Для расчета определения погрешностей использовались следующие формулы:

$$\sigma_{Cv} = Cv \sqrt{\frac{1 + Cv}{2n}} \quad (9)$$

$$\sigma_{Cs} = \sqrt{(6/n)(1 + 6Cv^2 + 5Cv^4)}, \quad (10)$$

где  $\sigma_{Cv}$  и  $\sigma_{Cs}$  – абсолютная погрешность коэффициента вариации ( $Cv$ ) и коэффициента асимметрии ( $Cs$ );

$n$  – длина ряда.

Погрешности статистических характеристик представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Погрешности статистических характеристик ЕТР

Река – Пункт	$\sigma(\Delta U)$	$\sigma(Cv)$	$\sigma(Cs)$
Сок – ст.Сургут	–	–0,17	1,61
Самара – с.Елшанка	–	–0,11	1,03
Большой Кинель – п.Тимошево	–	–0,27	2,65
Сызранка – с.Репьевка	–	–0,12	1,17
Белая –д.Сыртланово	–	–0,05	0,57
Уфа – г.Красноуфимск	–	–0,29	2,97
Ай – с.Лаклы	–	–0,6	–
Ай – с.Метели	–	0,26	2,52
Дема – д.Бочкарева	–	–0,81	–
Сюнь – с.Миньярово	–	–0,17	1,61
Ик – с.Нагабайково	–	–0,34	3,61

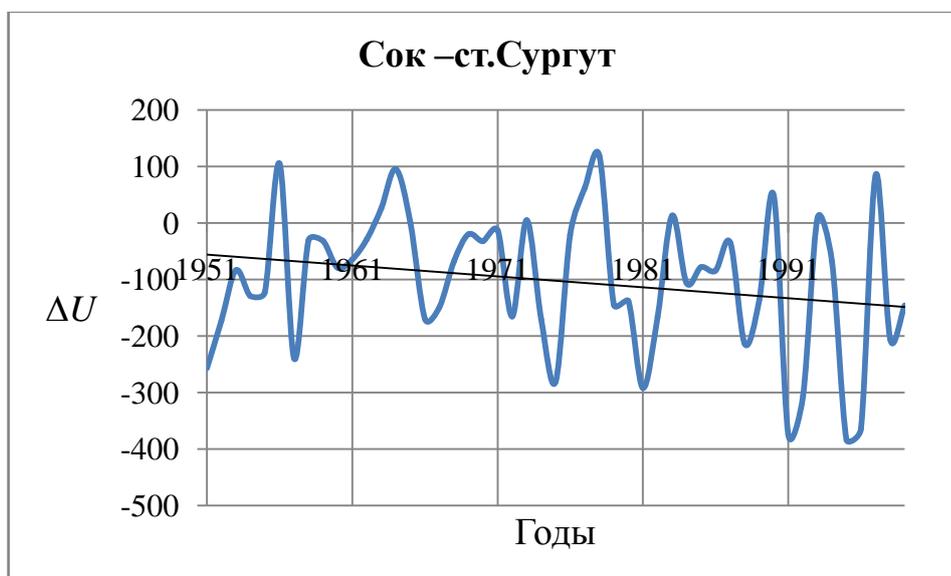
Река – Пункт	$\sigma(\Delta U)$	$\sigma(Cv)$	$\sigma(Cs)$
Чепца – с.Полом	–	–0,23	2,16
Чепца – г.Глазов	–	–0,18	1,72
Быстрица – п. Шипицино	–	–0,88	–
Сылва – пгт Шамары	–	1,23	–

Прочерки в таблице 3 появились из-за того, что значения нормы суммарных влагозапасов имеют отрицательные значения, а при расчете погрешности нельзя извлечь корень из отрицательного числа, то же самое происходило при расчете коэффициента асимметрии.

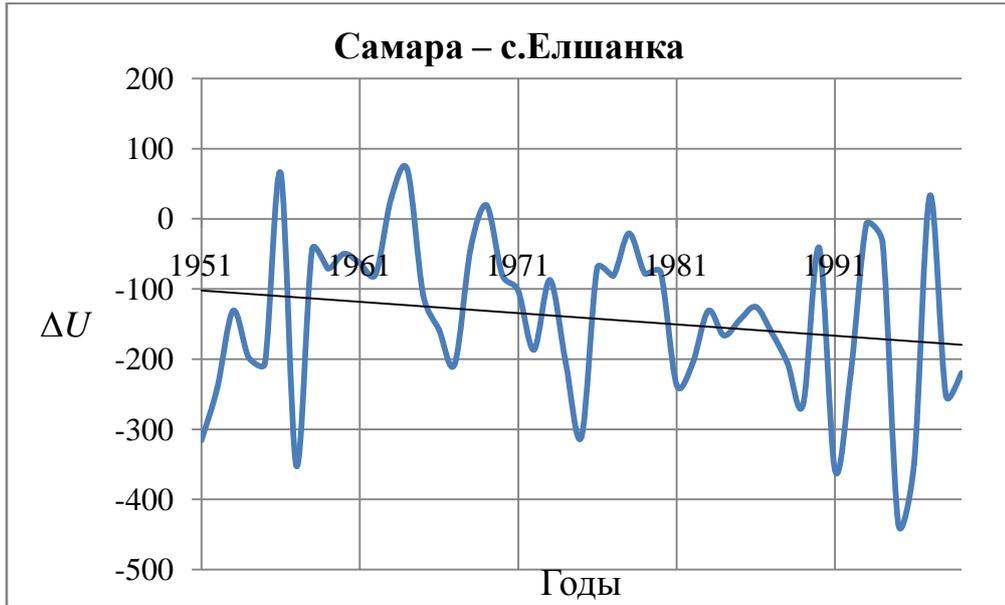
#### *Хронологические графики*

Для отслеживания временного хода колебаний нормы суммарных влагозапасов ( $\Delta U$ ) были построены хронологические графики, для примера некоторые из них показаны на рисунке 6, остальные графики в Приложении А.

a)



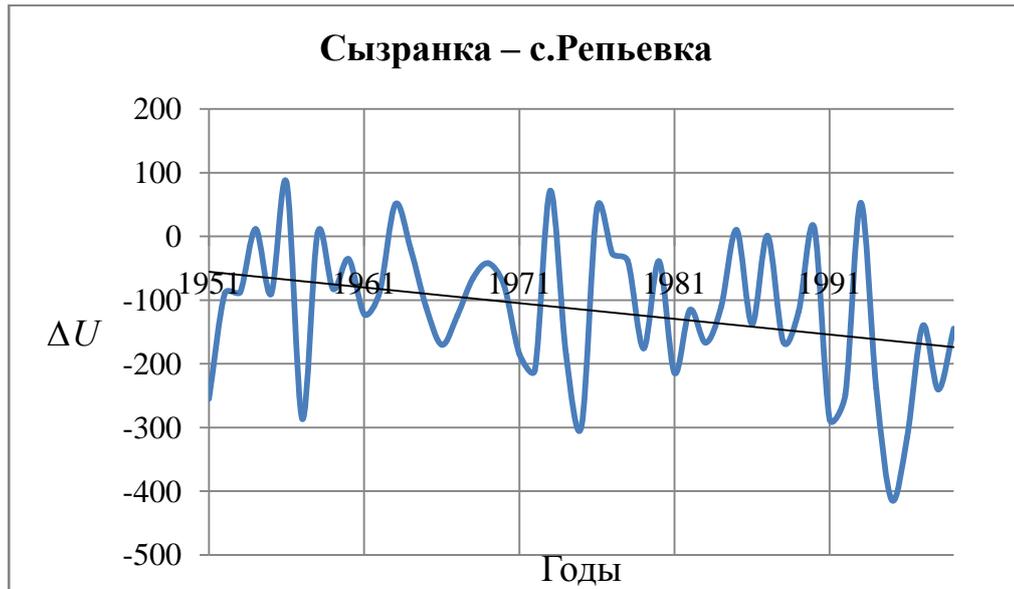
б)



в)



з)



д)



Рисунок 6 – Хронологические графики  $\Delta U$ : по оси  $y$  – значения  $\Delta U$ , по оси  $x$  – года.

На рисунке 6 видно, что если для рядов построить линию тренда, то большинство рядов будут иметь отрицательные значения, но судя по тому, как происходят изменения с 1980 года, то можно сказать, что суммарные влагозапасы будут расти.

### *Разностно-интегральные кривые*

Графически отобразить колебания интересующих величин возможно, если применять разностную интегральную кривую (РИК). Как правило, РИК строятся в относительных величинах – модульных коэффициентах ( $k_i$ ), определяемых по формуле:

$$k_i = \frac{U_i}{U_{\text{ср}}},$$

где  $U_i$  – значение исследуемого ряда в  $i$ -ом году наблюдений;

$U_{\text{ср}}$  – среднее многолетнее значение характеристики за весь период наблюдений.

Таким образом, разностная интегральная кривая представляет собой нарастающую сумму отклонений модульных коэффициентов от среднемноголетнего значения ряда для каждого года.

Наклон разностной интегральной кривой вверх относительно горизонтальной линии обусловлен положительными значениями отклонений модульных коэффициентов, наклон кривой вниз – отрицательными.

На рисунке 7 показаны РИК для рассматриваемых в исследовании рядов изменения суммарных влагозапасов речных бассейнов. (Приложение Б).

a)



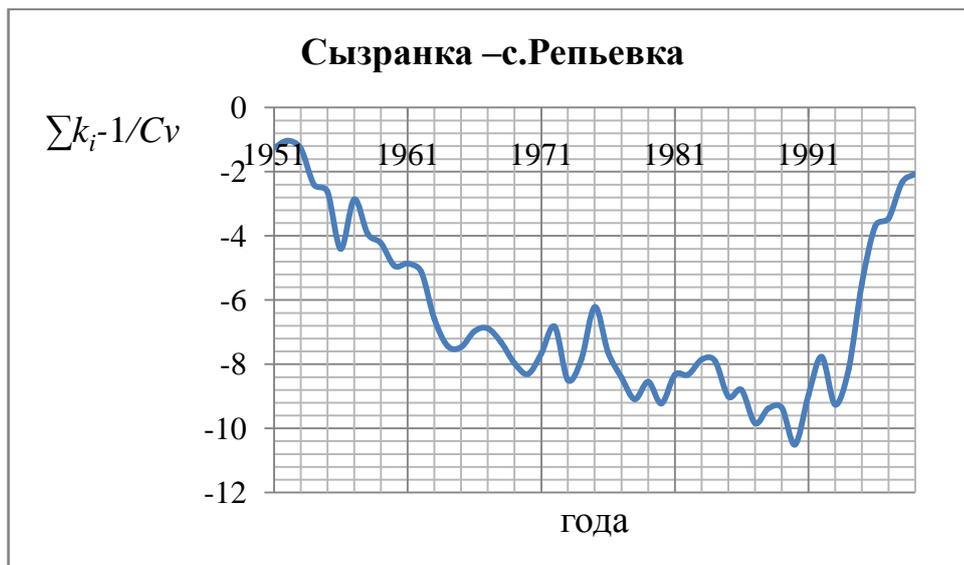
б)



в)



г)



д)



Рисунок 7 – Разностно-интегральные кривые: по оси  $x$  – годы.

Как следует из анализа рисунка 7, значения суммарных влагозапасов претерпевали значительные колебания. Примерно с 1940-ых годов происходило снижение исследуемой величины, после 1970-ых годов происходило повышение. То есть примерно 10 – 20 лет наблюдался повышенный цикл водности.

#### *Проверка на однородность*

Проверка на однородность рядов изменений суммарных влагозапасов (таблица 4).

Таблица 4 – Результаты проверки на однородность на различных уровнях значимости (у. з.)

Река – пост	по Стьюденту			по Фишеру		
	2 % у.з.	5 % у.з.	10 % у.з.	2 % у.з.	5 % у.з.	10 % у.з.
Сок – ст.Сургут	+	+	+	+	+	+
Самара – с.Елшанка	+	+	+	+	+	+
Большой Кинель – п.Тимошево	+	+	+	+	+	+
Сызранка – с.Репьевка	–	+	+	–	+	+
Белая – д.Сыртланово	+	+	+	+	+	+
Уфа – г.Красноуфимск	+	+	+	+	+	+
Ай – с.Лаклы	+	+	+	+	+	+
Ай – с.Метели	+	+	+	+	+	+
Дема – д.Бочкарева	+	+	+	+	+	+
Сюнь – с.Миньярово	+	+	+	+	+	+
Ик – с.Нагабайково	+	+	+	+	+	+
Чепца – с.Полом	+	+	+	+	+	+
Чепца – г.Глазов	+	+	+	+	+	+
Быстрица – п. Шипицино	–	–	+	–	+	+
Сылва – пгт Самары	–	–	+	–	–	+

Вывод о неслучайном изменении или нарушении однородности рядов делался при уровне значимости 2, 5, 10 %.

Анализ однородности рядов суммарных влагозапасов проводился при помощи критериев Фишера и Стьюдента. Он показал, что все ряды однородны при 10 % уровне значимости.

На рисунках 8, 9 10 показаны распределения нормы, коэффициента вариации, коэффициента асимметрии суммарных влагозапасов.

Таким образом, мы видим, что суммарные влагозапасы на территории ЕТР распределены неравномерно.

Также была построена корреляционная функция, по связи которой можно было судить о том, можно ли строить карту норм изменения суммарных влагозапасов(рисунок 8).

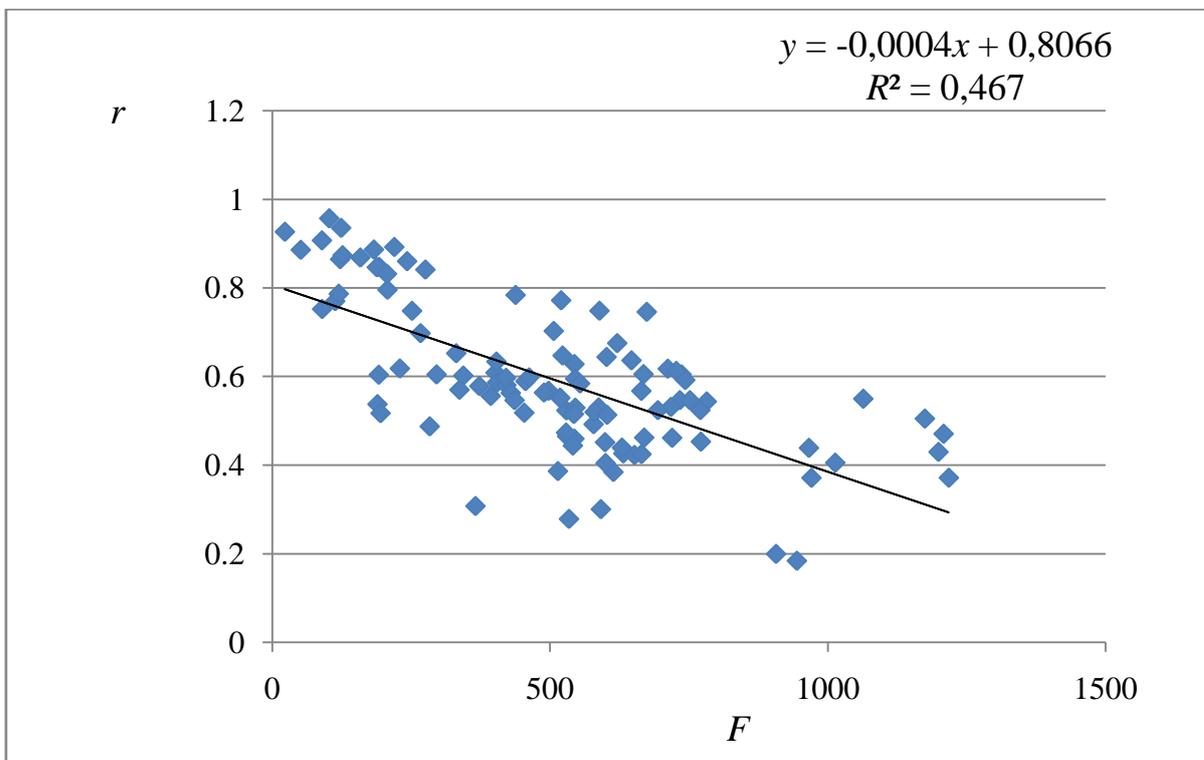


Рисунок 8 – Корреляционная функция для ЕТР: по оси  $x$  – площади, по оси  $y$  – коэффициент корреляции.

Как видно на рисунке 8, связь между станциями достаточная для того, чтобы можно было строить карту. Руководствуясь этим, была построена карта-схема распределений изменений норм и суммарных влагозапасов и распределение коэффициента вариации нормы изменения суммарных влагозапасов речных бассейнов для Европейской территории России (рисунки 9, 10).

Карта-схема была построена при помощи программного продукта *Surfer 8*.

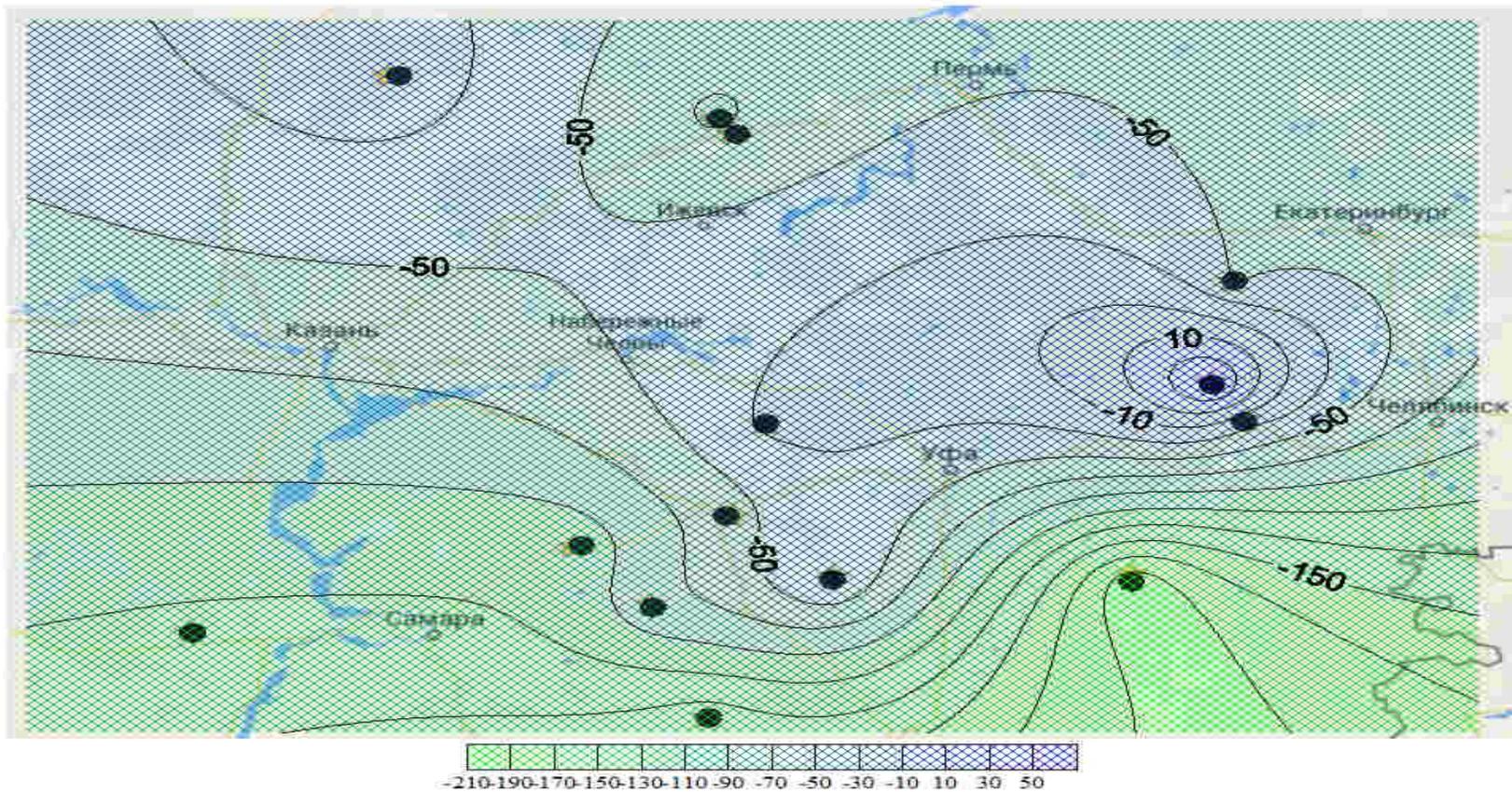


Рисунок 9 – Карта-схема распределения нормы суммарных влагозапасов для ЕТР.

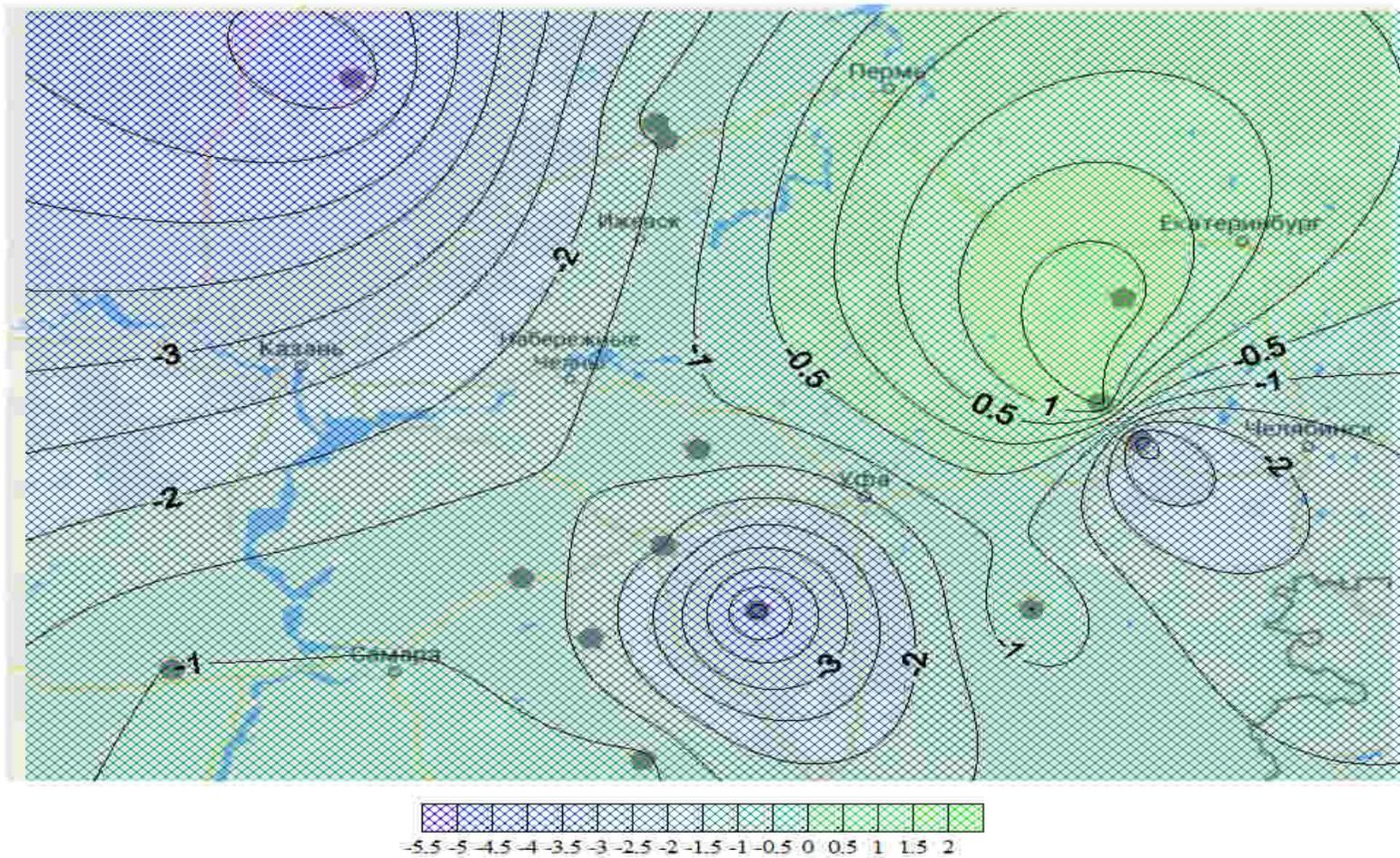


Рисунок 10 – Карта-схема распределения коэффициента вариации нормы изменения суммарных влагозапасов для ЕТР.

При рассмотрении карты-схемы распределения нормы суммарных влагозапасов (см. рис. 9) можно увидеть, что происходит «стягивание» в трех точках (Ай – с.Лаклы, Ай – с.Метели и Белая – д.Сыртланово) это связано с тем, что между ними большая разница значения нормы суммарных влагозапасов.

На карте-схеме распределения коэффициента вариации (см.рис.10) похожая ситуация, сгущение изолиний происходит в том же районе. Следовательно, на территории ЕТР прослеживается определенное районирование нормы суммарных влагозапасов и коэффициента вариации.

На рисунках 11–13 показаны карты-схемы с нанесенными пунктами со значениями нормы, коэффициентов вариации и асимметрии соответственно.

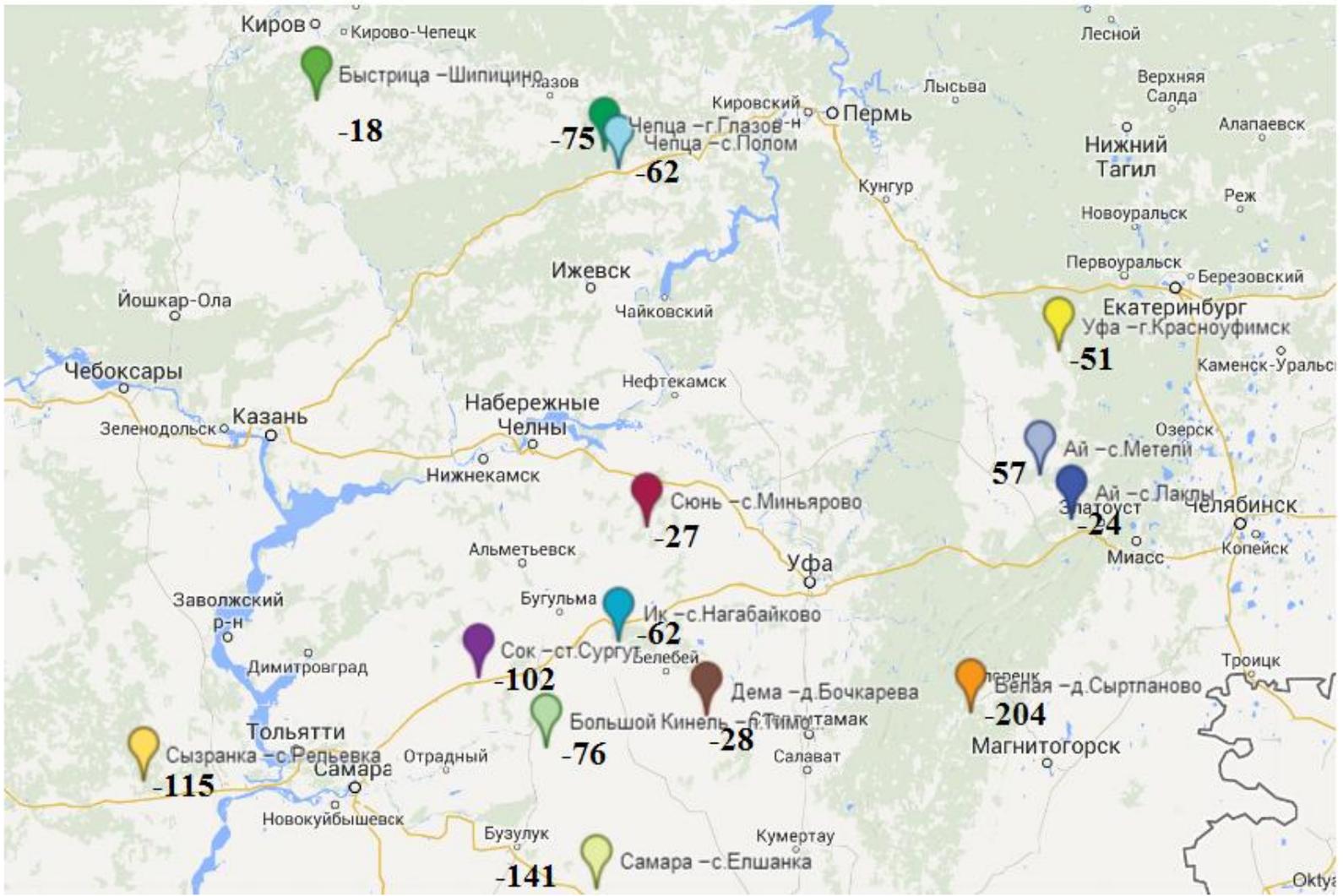


Рисунок 11 – Распределение нормы суммарных влагозапасов на территории ЕТР

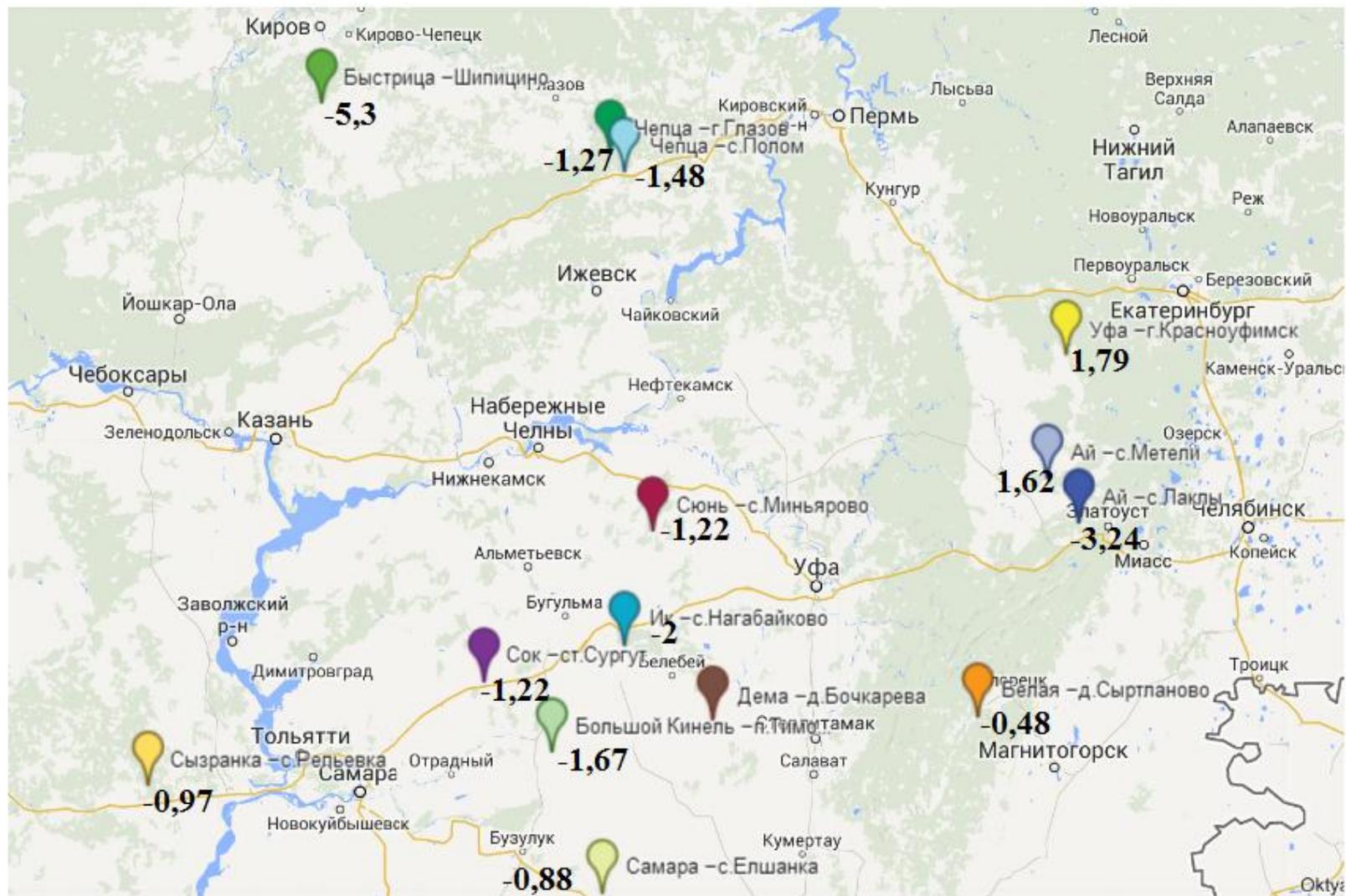


Рисунок 12 – Распределение коэффициента вариации на территории ЕТР

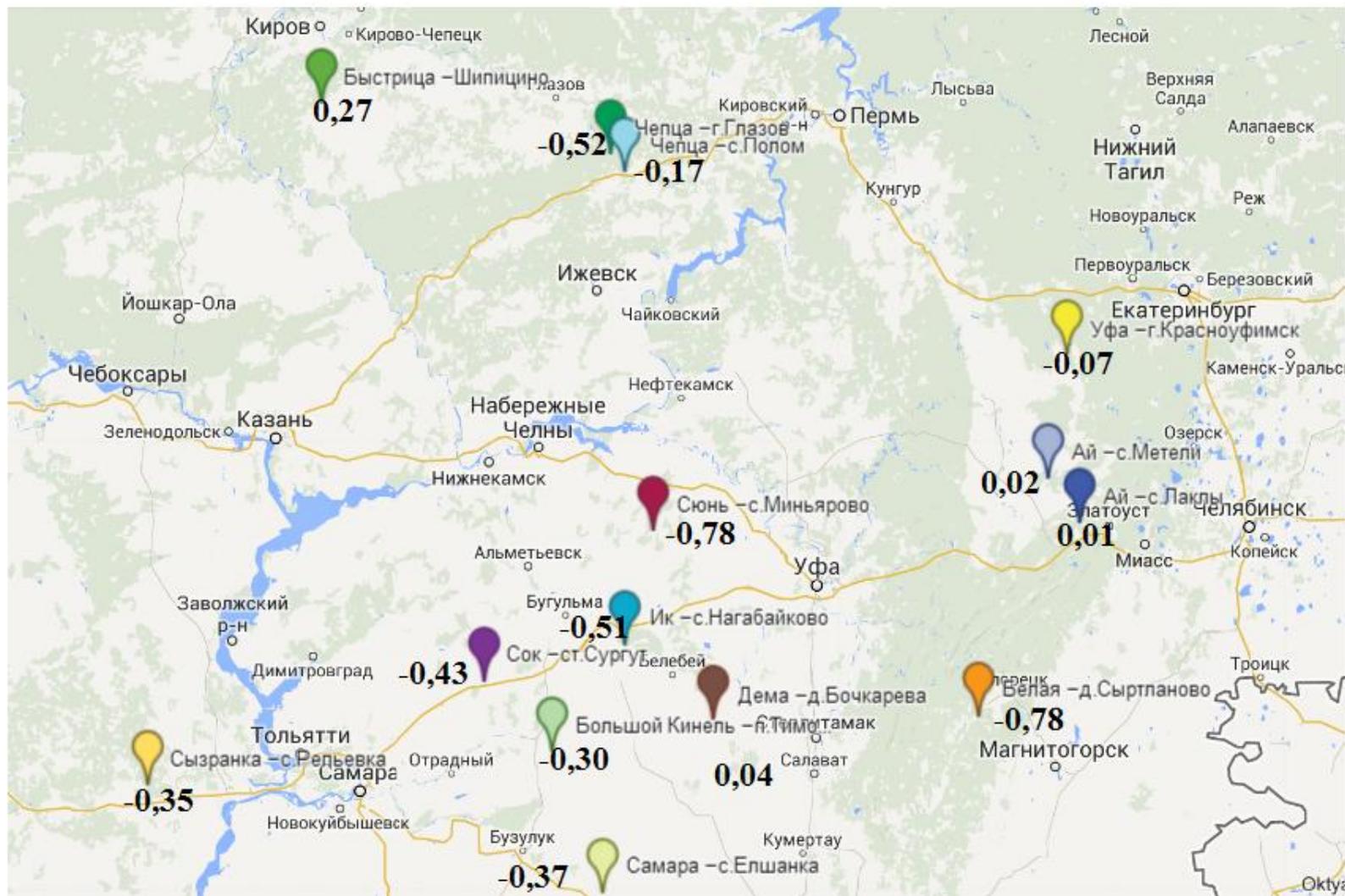


Рисунок 13 – Распределение коэффициента асимметрии на территории ЕТР

### 3.2 Азиатская территория России

При производстве гидрологических расчетов большое значение имеют характеристики точности расчета статистических параметров распределений изучаемого элемента – его нормы, коэффициента вариации ( $C_v$ ) и коэффициента асимметрии ( $C_s$ ). Стандартные ошибки расчета этих параметров существенно зависят от длины ряда, коэффициентов корреляции, от полученных оценок изменчивости и асимметрии распределения.

Анализ многолетних изменений суммарных влагозапасов включал в себя проверку на однородность, так же как и для территории ЕТР, при помощи критериев Фишера и Стьюдента. Вывод о неслучайном изменении или нарушении однородности рядов делался на уровне значимости  $\alpha = 2, 5, 10\%$  в случае, когда расчетная статистика превышала соответствующее критическое значение.

Статистические характеристики находились по методу наибольшего правдоподобия такие, как:

- норма ( $\pm\Delta\bar{U}$ , мм),
- коэффициенты вариации ( $C_v$ ),
- коэффициенты асимметрии ( $C_s$ ),
- коэффициент автокорреляции ( $r$ ),

которые рассчитывались по формулам (4), (5), (7), (8).

Статистические характеристики рядов изменения суммарных влагозапасов речных бассейнов представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Статистические характеристики рядов изменения суммарных влагозапасов речных бассейнов АТР

Река – Пост	$\Delta U$	$C_v$	$C_s$	$C_s/C_v$	$r(1)$
Лямин – факт.Горшково	61	1,35	-0,06	-0,05	0,40
Елогуй – г.Келлог	110	0,88	0,12	0,13	0,08

Река – Пост	$\Delta U$	$C_v$	$C_s$	$C_s/C_v$	$r(1)$
Кас – пос. Александровский шлюз	72	0,99	-0,13	-0,13	-0,15
Абакан – г. Абаза	-297	-0,45	0,21	-0,46	-0,01
Мана – пос. Манский	-93	-0,88	0,03	-0,03	-0,21
Амыл – с. Качулька	67	3,15	0,02	0,01	0,27
Кан – г. Канск	-134	-0,52	-0,20	0,38	-0,26
Нижняя Тунгуска – с. Подволошино	82	0,15	0,15	0,19	0,08
Ингода – с. Дешулан	-79	-0,84	-0,26	0,31	0,48
Онон – с. Бытэв	-2	-44,05	-0,03	0,00	0,17
Унда – с. Новоиваново	-13	-4,72	-0,23	0,05	0,30
Черная – с. Сбега	53	1,63	-1,20	0,74	0,39
Ивановка – с. Ивановка	198	0,41	0,35	0,86	-0,10
Ток – пр-к Николаевский	-112	-1,56	-0,17	0,11	0,01
Амгунь – с. Гуга	-6	-17,7	1,07	-0,06	0,02
Нимелен – г. Тимченко	-4	-20,31	-0,26	0,01	-0,17

Из таблицы 5 видно, что средний коэффициент вариации равняется – 6, средний коэффициент асимметрии равняется –0,03. Такое большое значение коэффициента вариации можно объяснить следующим: норма изменений суммарных влагозапасов стремиться к нулю, а коэффициент вариации мы находим через среднеквадратическое отклонение и среднее значение, то в связи с этим  $C_v$  получается большим.

Для расчета определения погрешностей использовались формулы (9), (10).

Погрешности статистических характеристик представлены в таблице 6.

Таблица 6 – Погрешности статистических характеристик (АТР)

Река–пост	$\delta(\Delta U)$	$\delta(Cv)$	$\delta(Cs)$
Лямин – факт.Горшково	1,69	0,18	1,87
Елогуй – г.Келлог	1,99	0,11	1,03
Кас – пос. Александровский шлюз	1,45	0,13	1,19
Абакан – г. Абаза	2,71	-0,03	0,54
Мана – пос. Манский	1,91	-0,03	1,09
Амыл – с.Качулька	4,32	0,36	8,20
Кан – г.Канск	1,41	-0,03	0,60
Нижняя Тунгуска –с.Подволошино	1,36	0,11	0,94
Ингода – с.Дешулан	1,36	-0,03	0,97
Онон – с.Бытэв	1,49	–	–
Унда – с.Новоиваново	1,23	–	17,88
Черная – с.Сбега	1,76	0,21	2,53
Ивановка – с.Ивановка	1,9	0,05	0,54
Ток – пр-к Николаевский	4,07	–	2,50
Амгунь – с.Гуга	2,29	–	–
Нимелен – г. Тимченко	1,99	–	–

Прочерки в таблице 6 появились, из-за отрицательных значений нормы и коэффициента асимметрии, так как по аналогии с расчетом погрешностей для ЕТР мы не можем взять корень из отрицательного числа.

#### *Хронологические графики*

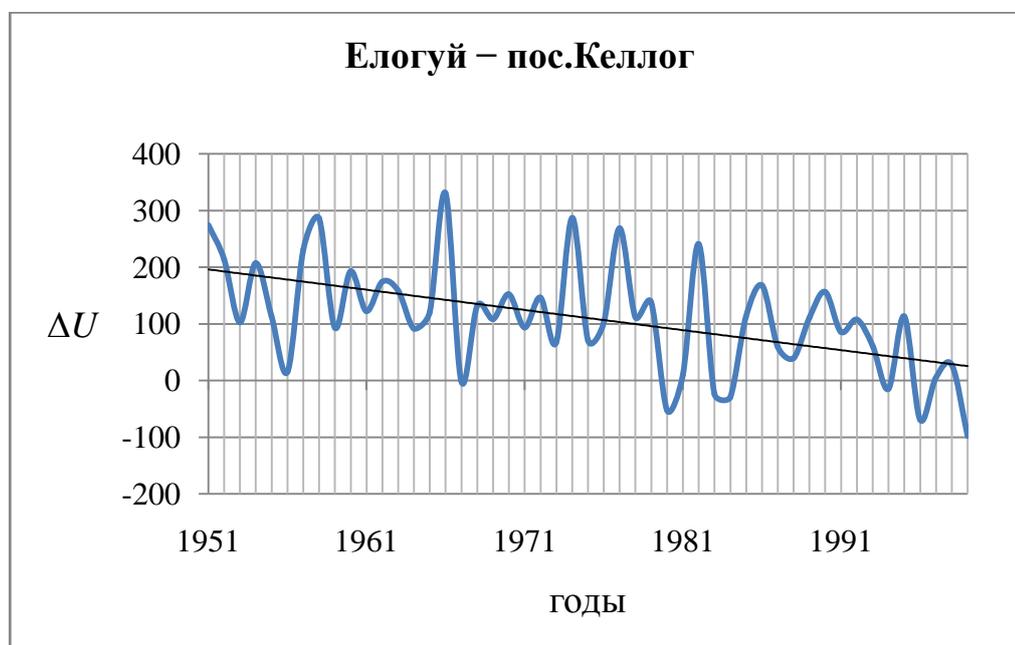
Анализ временного хода исследуемой переменной, а именно изменение нормы суммарных влагозапасов и проверка однородности ряда должна предшествовать расчету обеспеченных характеристик. Для графического представления изменения нормы суммарных влагозапасов во времени были построены хронологические графики (рисунок 14, Приложение А).

Например, если для Елогуй-пос. Келлог (рисунок 14, а) на графике построить линию тренда, то видно, что изменение суммарных

влагозапасов будет уменьшаться. Но это лишь в некоторых случаях. Для других постов наблюдается совершенно другая ситуация, как, например, для Кас – пос. Александровский шлюз на рисунке 14, б.

На рисунке 14, б видно, что при построении линии тренда получается прямая линия. Это происходит по следующим причинам: сначала происходит повышение изменения суммарных влагозапасов примерно до 1974 года, затем идет понижение до 1982 года, а затем снова повышение. Наблюдается многоводный и маловодный периоды.

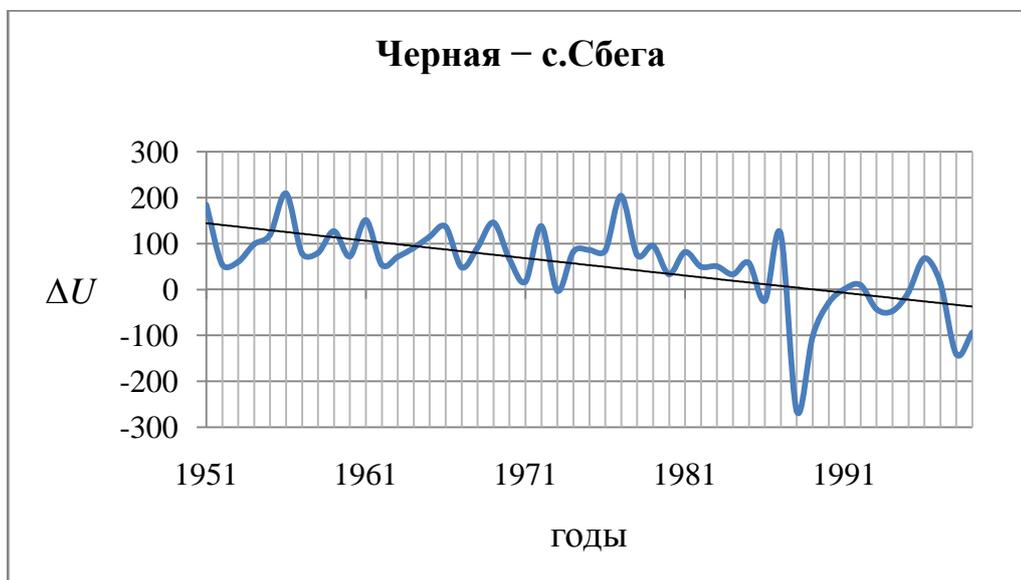
а)



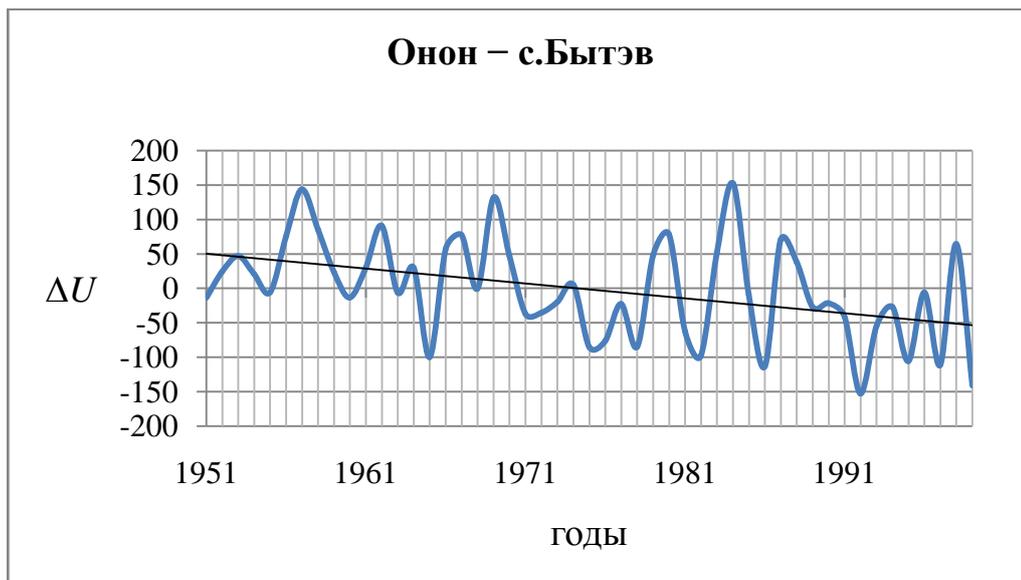
б)



в)



з)



д)

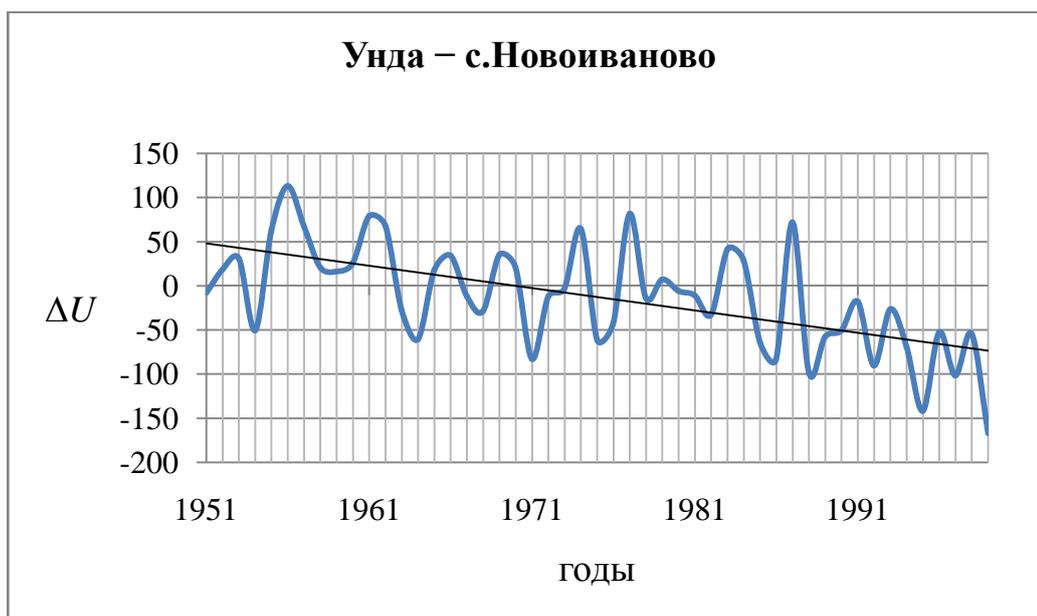


Рисунок 14 – Хронологические графики  $\Delta U$ : по оси  $y$  – значения  $\Delta U$ , по оси  $x$  – года.

На некоторых графиках видно, что изменения суммарных влагозапасов претерпевают значительные колебания. К примеру, на рисунке 14, *в* можно заметить, что в 1989 году произошел довольно-таки значительный скачок в отрицательную область, и линия тренда так же как и на рисунке 14, *а* идет вниз.

#### *Разностно-интегральные кривые*

Любую неоднородность ряда данных можно отметить в форме разностно-интегральной кривой, а также графически отобразить колебания интересующих величин (в данном случае изменение суммарных влагозапасов).

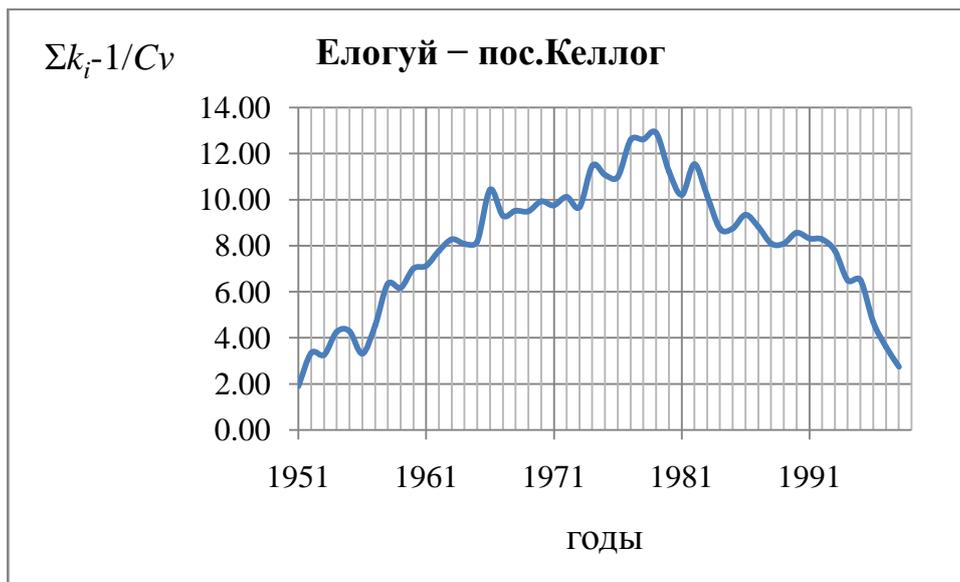
Как правило, РИК строятся в относительных величинах – модульных коэффициентах ( $k_i$ ), определяемых по формуле (6):

Таким образом, разностная интегральная кривая представляет собой нарастающую сумму отклонений модульных коэффициентов от среднемноголетнего значения ряда для каждого года.

В интегрально-разностном ряду его закономерная структура проявляется наиболее явно, нежели в исходном, поэтому можно наиболее четко определить многоводные и маловодные периоды.

На рисунке 15 показаны некоторые графики РИК, остальные – в Приложении Б.

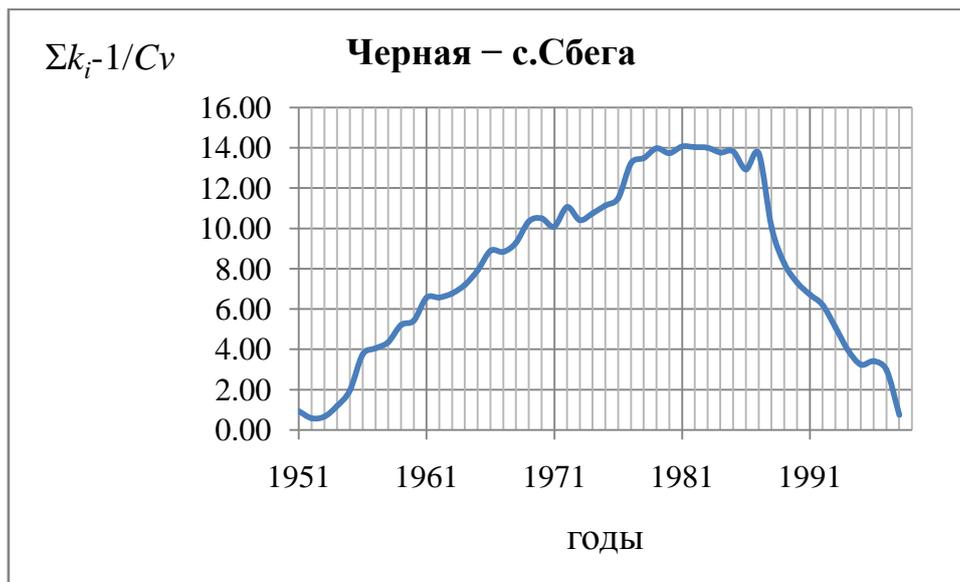
a)



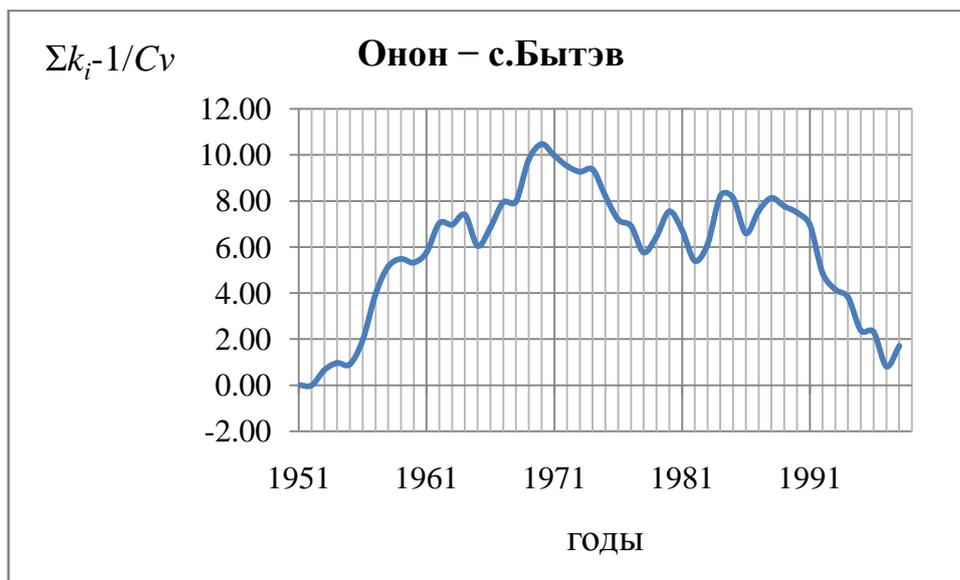
б)



в)



г)



д)



Рисунок 15 – Разностно-интегральные кривые (АТР).

Как видно на рисунке 15 значения суммарных влагозапасов претерпевали значительные колебания. Также, практически на всех постах, можно заметить общую тенденцию многоводного и маловодного циклов. Многоводный цикл продолжался примерно 15–20 лет, маловодный – примерно 10 лет.

*Проверка на однородность.*

Проверка однородности ряда изменений суммарных влагозапасов проводилась по критериям Стьюдента и Фишера. Эти критерии относятся к наиболее широко применяемым.

В таблице 7 приведены результаты проверки на уровнях значимости (у.з.) 2, 5, 10%.

Таблица 7 – Результаты проверки на однородность на различных уровнях значимости (АТР)

Река - пост	по Стьюденту			по Фишеру		
	2 %	5 %	10 %	2 %	5 %	10 %
Лямин – факт. Горшково	–	+	+	+	+	+
Елогуй—г.Келлог	–	+	+	+	+	+
Кас – пос. Александровский	+	+	+	+	+	+
Абакан – г. Абаза	–	+	+	–	+	+
Мана – пос. Манский	+	+	+	+	+	+
Амыл – с.Качулька	+	+	+	+	+	+
Кан – г.Канск	+	+	+	+	+	+
Нижняя Тунгуска –с. Подволошино	–	–	–	–	–	–
Ингода – с.Дешулан	–	–	–	–	–	–
Онон – с.Бытэв	–	–	–	–	–	–
Унда – с.Новоиваново	–	–	–	–	–	–
Черная – с.Сбега	+	+	+	–	+	+
Ивановка – с.Ивановка	+	+	+	+	+	+
Ток – пр-к Николаевский	+	+	+	+	+	+
Амгунь – с.Гуга	+	+	+	+	–	+
Нимелен – г. Тимченко	+	+	+	+	+	+

Анализ однородности показал, что в большей части ряды однородны, однако встречаются ряды, в которых опровергаются обе гипотезы: Нижняя Тунгуска – с.Подволошино, Ингода – с.Дешулан, Онон – с.Бытэв, Унда – с.Новоиваново. Они были так же использованы в исследовании, так как неоднородность характерна для изменений суммарных влагозапасов.

Для анализа возможности построения карты норм изменения суммарных влагозапасов была построена, также как и для Европейской территории, корреляционная функция, которая изображена на рисунке 16.

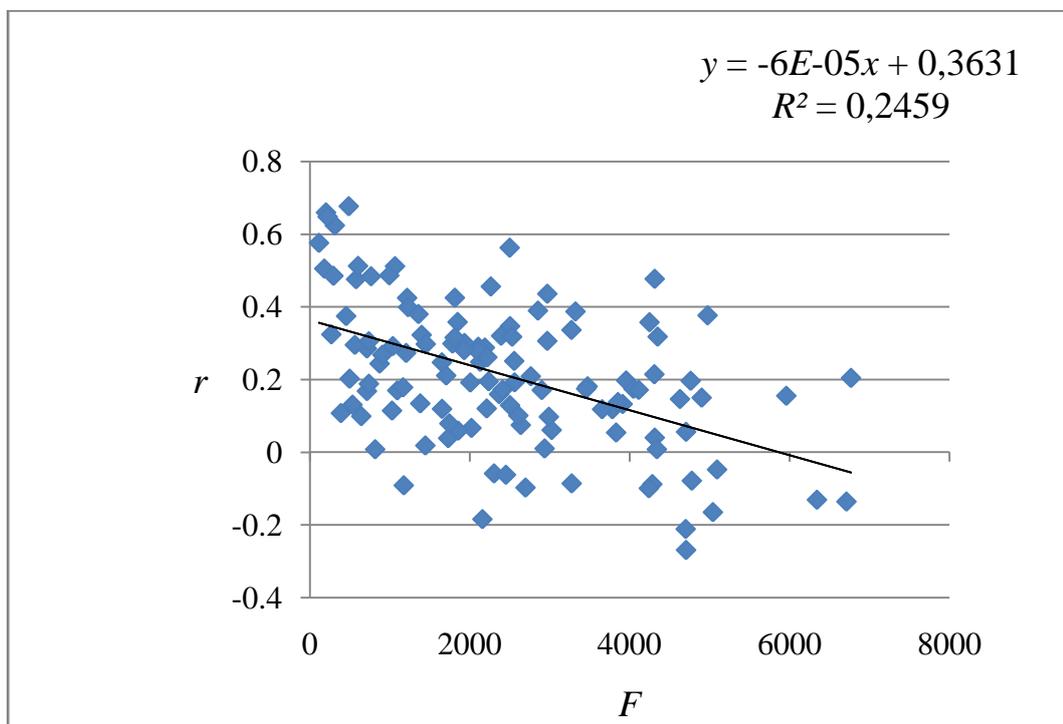


Рисунок 16 – Корреляционная функция для АТР: по оси  $x$  – площади, по оси  $y$  – корреляционный радиус.

Проанализировав рисунок 16 можно сказать, что связь между станциями хуже, чем для территории ЕТР, связано это с тем, что некоторые станции находятся далеко друг от друга, вследствие этого корреляционная связь слабеет.

Для построения карт-схем использовался коммерческий программный продукт *Surfer 8*.

На рисунках 17, 18 показаны распределения нормы и коэффициента вариации для АТР.

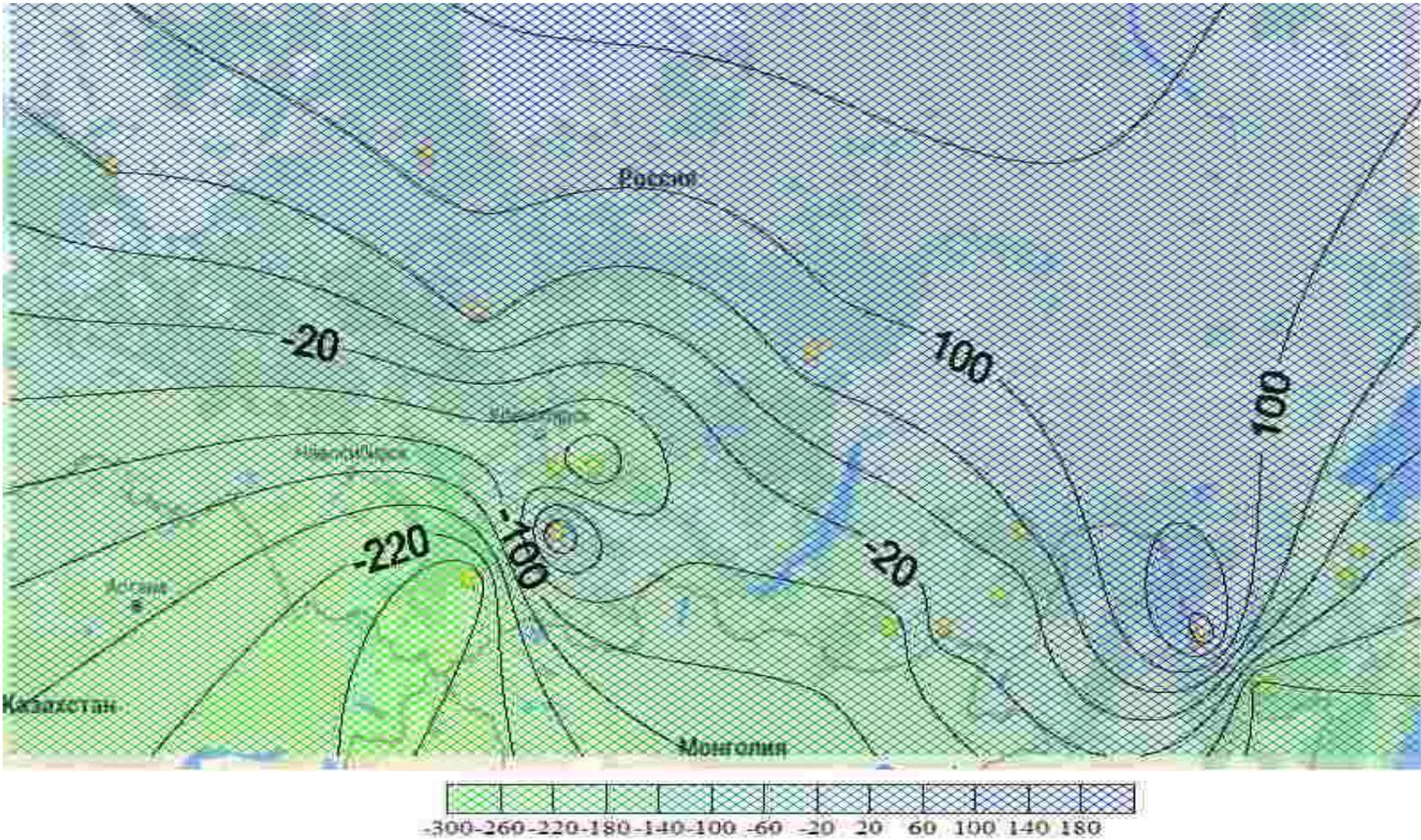


Рисунок 17 – Карта-схема распределения нормы суммарных влагозапасов речных бассейнов для АТР.

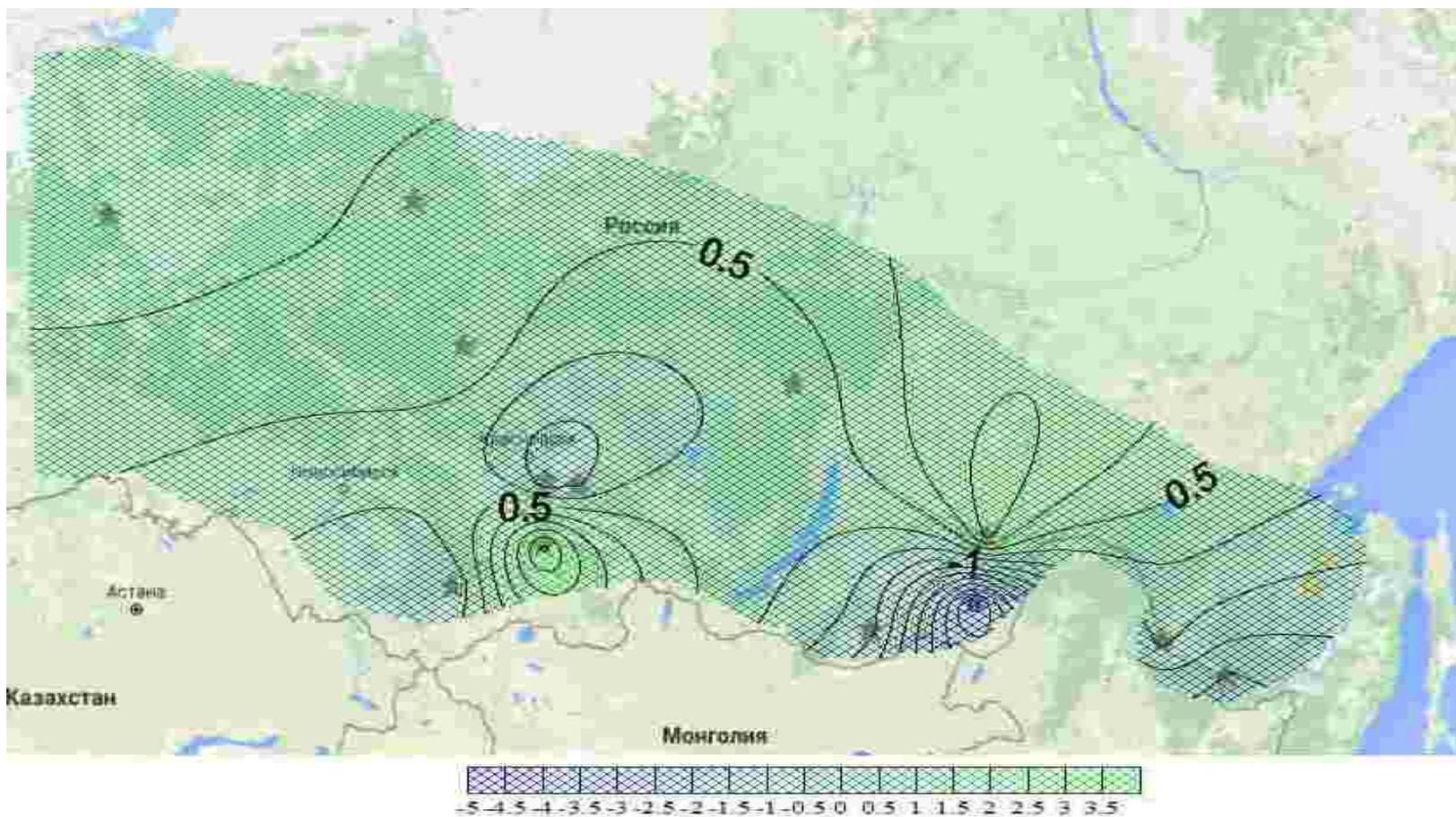


Рисунок 18 – Карта-схема распределения коэффициента вариации нормы суммарных влагозапасов для АТР.

При построении карты-схемы очень важно учитывать значения, так как масштаб влияния на эти значения в определенных районах может быть очень большим. В некоторых районах, а именно на станциях Онон – с.Бытэв, Амгунь – с. Гуга и Нимелен – г. Тимченко значения коэффициентов сильно отличаются от наиболее часто встречаемых, это связано с выбросами из-за которых при расчете среднего коэффициента вариации получается большое значение. Включение этих данных в интерполяцию наравне с остальными может привести к ложным результатам, неправильному представлению о реальной картине, потому что узлокальное изменение значения коэффициента вариации будет распространяться на несравнимо большую область. То есть происходит искажение картины распределения коэффициента вариации на территории. В следствии этого значения на этих станциях не учитывались.

Визуально оценив карту-схему распределения нормы суммарных влагозапасов (см.рис. 17) можно отметить определенное районирование. На станциях Ток – пгт Николаевский и Ивановка – с. Ивановка можно заметить, что изолинии к ним стягиваются.

На карте-схеме распределения коэффициента вариации (см. рис. 18) «стягивание» происходит в совершенно другом районе(Черная – с.Сбега). Скорее всего, это связано с тем, что коэффициент вариации и норма изменения суммарных влагозапасов на этой территории нестабильны.

## 4 ВЛИЯНИЕ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ РЯДОВ НА НОРМУ ИЗМЕНЕНИЙ СУММАРНЫХ ВЛАГОЗАПАСОВ

### 4.1 Европейская территория России

Основной расчет сводился к вычислению среднего и коэффициента вариации по мере удлинения ряда на 1 год. Результаты представлены в таблице 8. Через несколько десятилетий кривые зависимости расчетных характеристик от нарастающей длины ряда практически стабилизировались, испытывая относительно небольшие флуктуации (см. рисунок 19). Не все ряды статистически стабилизировались, что говорит об их неоднородности. При малой продолжительности имеются выбросы значений (рисунок 19, б). Для стабилизированных участков вычислялись значения коэффициентов вариации, характеризующих погрешность получаемых оценок (см. рисунок 20). Проанализировав рисунки, можно сказать, что зависимость среднего значения и коэффициента вариации от продолжительности ряда имеет сильные скачки в течение примерно 30 лет, затем резких скачков нет, следовательно, величины стабилизируются. Стабилизация происходит примерно с 1988 года.

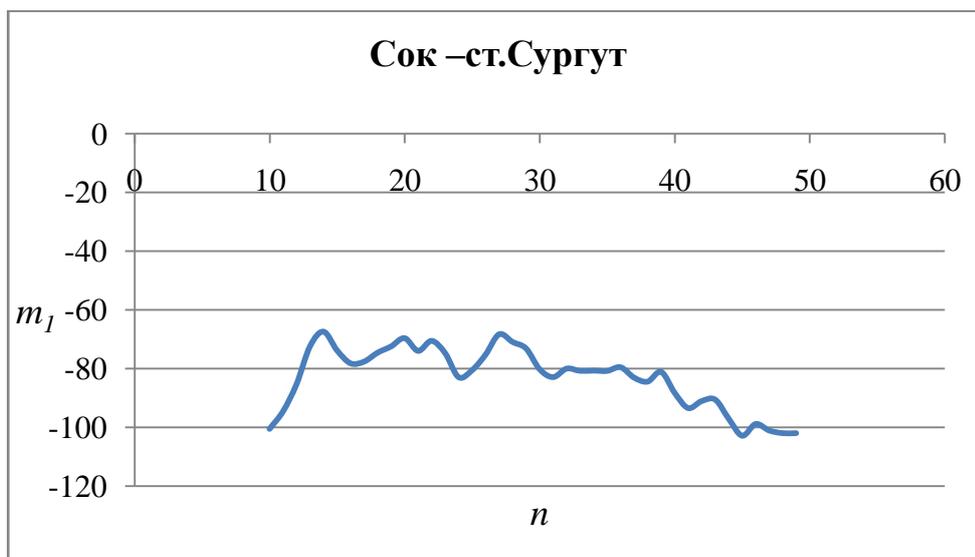
Таблица 8 – Результаты вычисления коэффициентов вариации для стабилизированных участков графиков – рисунок 19

Река-пост	Значение с начала	$Cv(m_1)$	$Cv(Cv)$	Значение с конца	$Cv(m_1)$	$Cv(Cv)$
Сок – ст. Сургут	с 1951 по 1980 гг	-0,11	-0,11	с 1981 по 1999 гг	-0,09	0,03
Самара – с. Елшанка	с 1951 по 1980 гг	-0,11	-0,09	с 1981 по 1999 гг	-0,06	-0,05
Большой Кинель – п. Тимошево	стабилизации не произошло			–	–	–
Сызранка – с. Репьевка	с 1951 по 1974 гг	-0,06	-0,09	с 1975 по 1999 гг	-0,08	-0,03
Белая – д. Сыртланово	с 1951 по 1980 гг	-0,06	-0,08	с 1981 по 1999 гг	-0,02	-0,03
Уфа –г. Красноуфимск	с 1951 по 1980 гг	-0,13	-0,13	с 1981 по 1999 гг	-0,07	-0,06
Ай – с.Л аклы	с 1951 по 1980 гг	-0,41	-0,45	с 1981 по 1999 гг	-0,12	-0,10
Ай – с. Метели	с 1951 по 1980 гг	0,18	0,15	с 1981 по 1999 гг	0,09	0,12
Дема – д. Бочкарева	с 1951 по 1980 гг	-0,11	-0,09	с 1981 по 1999 гг	-0,07	-0,05
Сюнь –с. Миньярово	стабилизации не произошло	–	–	–	–	–
Ик – с. Нагабайково	стабилизации не произошло	–	–	–	–	–
Чепца – с. Полом	стабилизации не произошло	–	–	–	–	–
Чепца – г. Глазов	стабилизации не произошло	–	–	–	–	–
Быстрица – ст. Шипицино	стабилизации не произошло	–	–	–	–	–
Сылва – пгт Самары	стабилизации не произошло	–	–	–	–	–

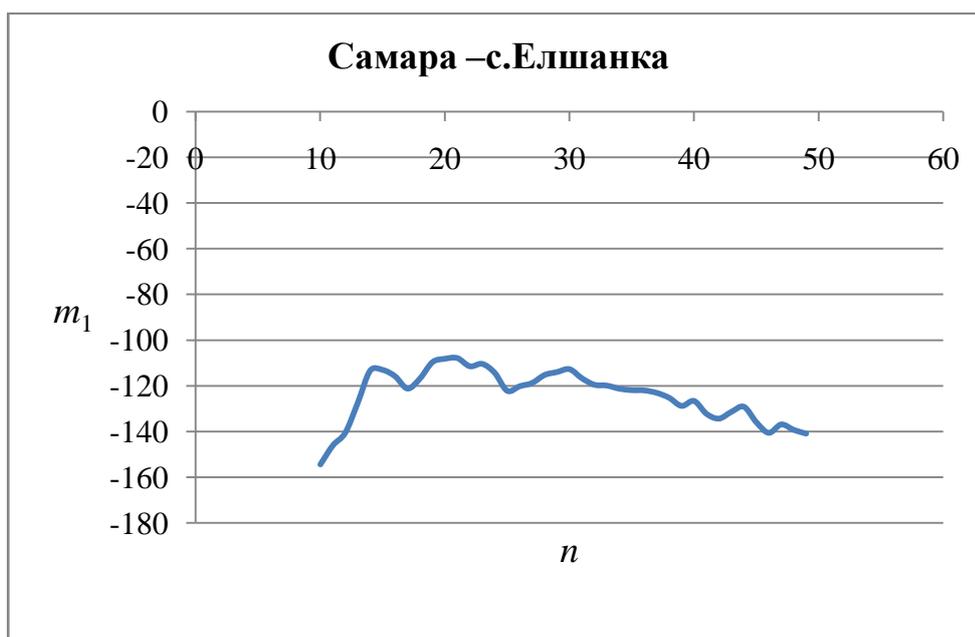
Для визуальной оценки стабилизации суммарных влагозапасов строились графики зависимости среднего значения, коэффициента вариации от продолжительности ряда ( $n$ ).

На рисунке 19, для примера, изображена зависимость среднего значения от продолжительности ряда и коэффициента вариации от продолжительности ряда для нескольких станций, остальные графики в Приложении В.

а)



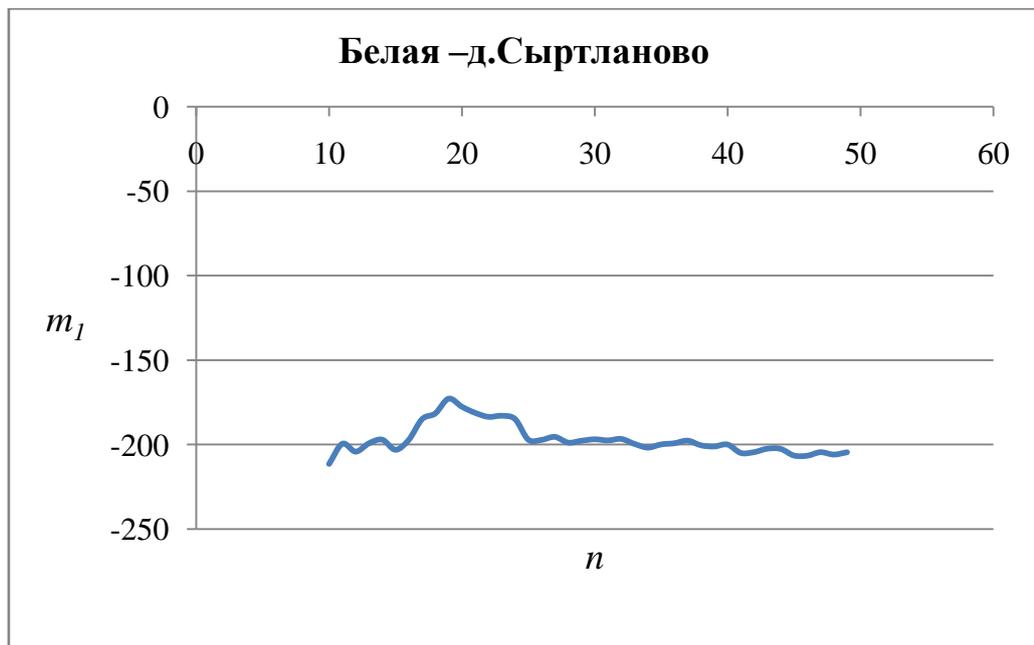
б)



б)



в)

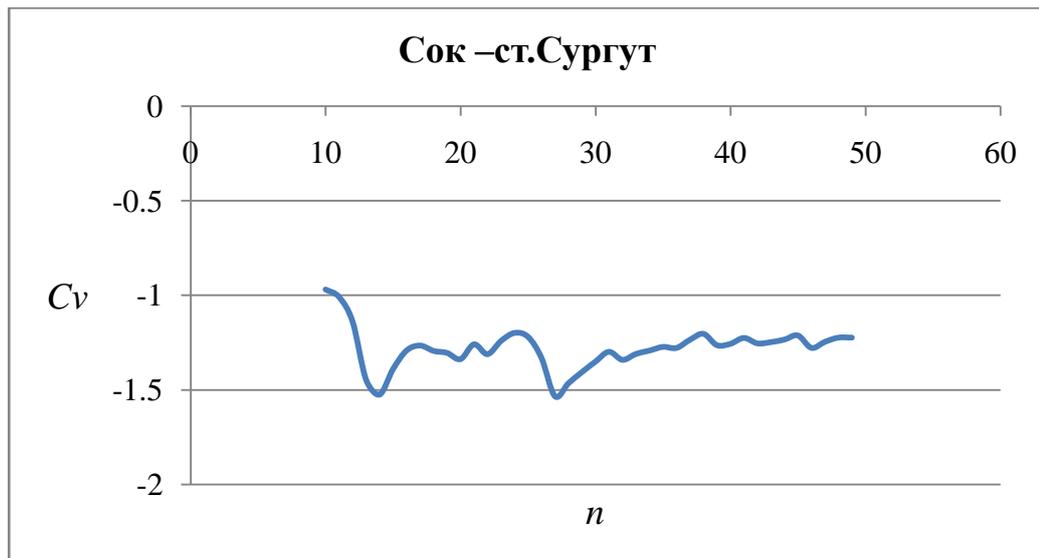


д)

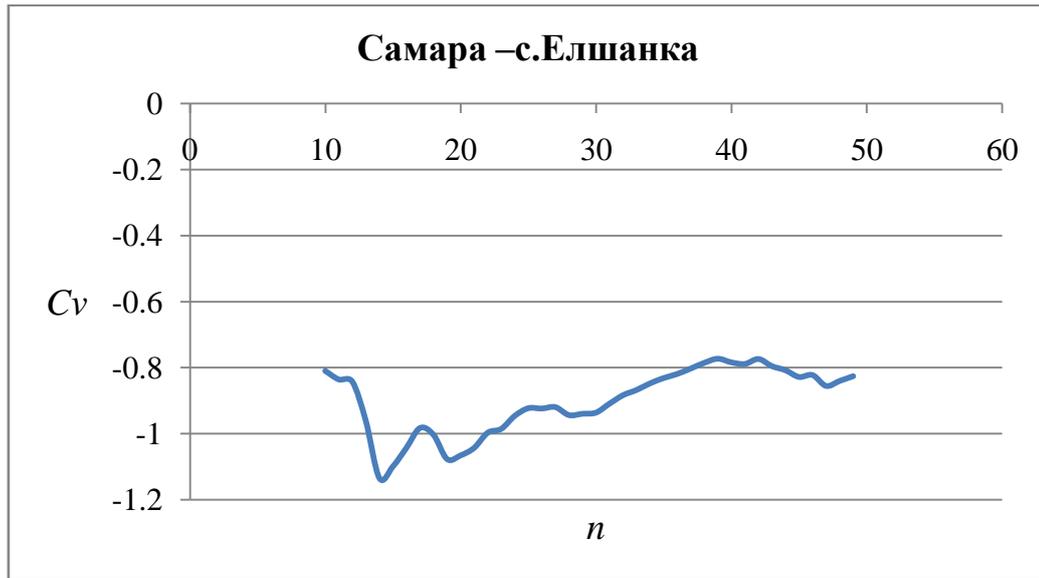


Рисунок 19 – Зависимость среднего значения  $m_1$  от продолжительности ряда  $n$ .

а)



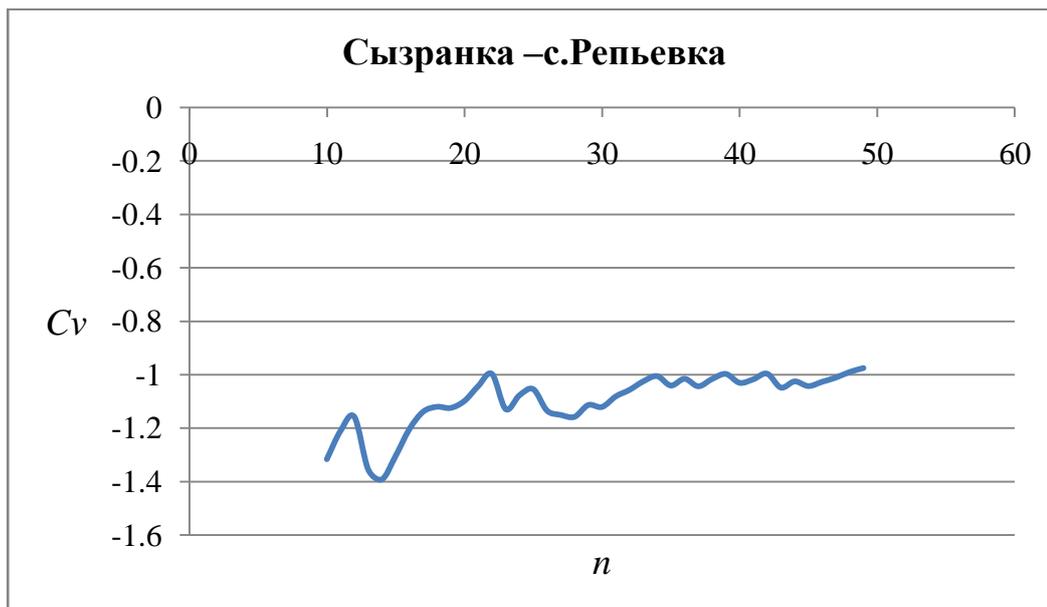
б)



в)



з)



д)

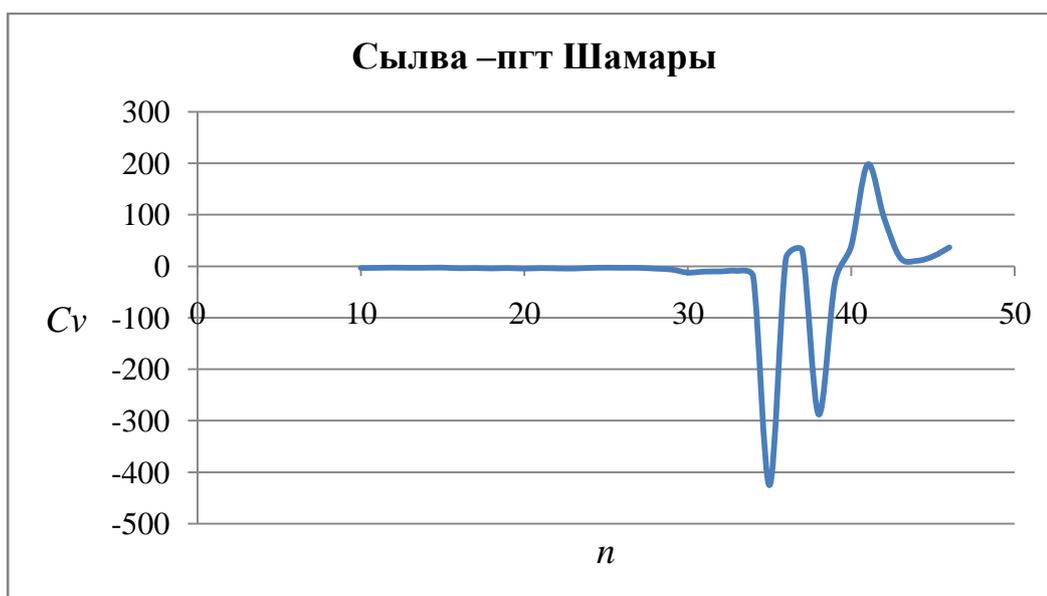


Рисунок 20 – Зависимость коэффициента вариации  $C_v$  от продолжительности ряда  $n$ .

Проанализировав рисунок 19 и 20, можно сказать, что зависимость среднего значения и коэффициента вариации от продолжительности ряда имеет сильные скачки в течение примерно 40 лет, затем резких скачков нет, следовательно, величины стабилизируются. Скачки образуются из-за того, что норма при коротких рядах при увеличении на  $n+1$  будет сильно отличаться от предыдущей. Чем длиннее длина ряда, тем стабильнее становится норма, следовательно, скачки не будут наблюдаться.

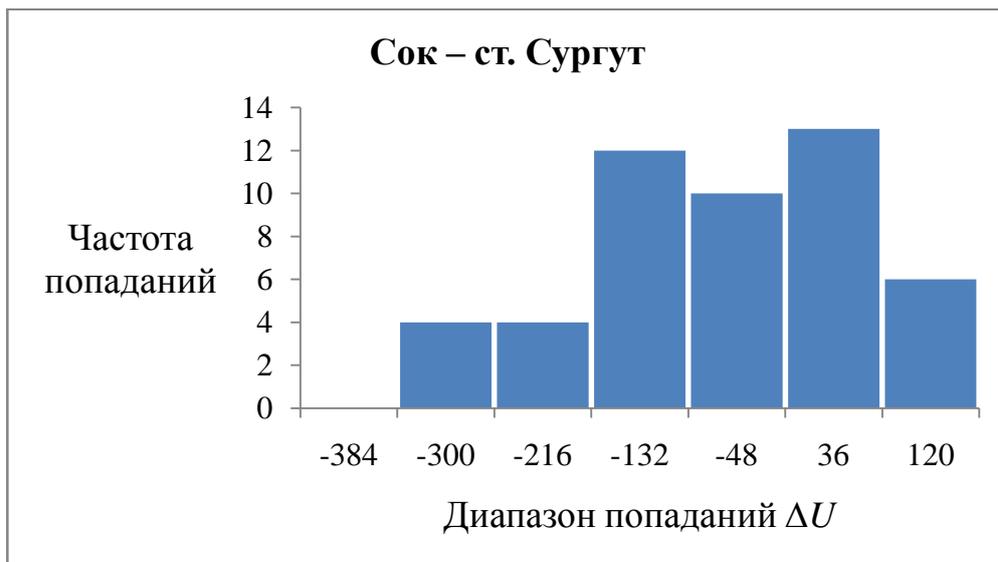
### *Гистограммы распределения нормы суммарных влагозапасов*

Гистограмма – это способ представления статистических данных в графическом виде – в виде столбчатой диаграммы. Она отображает распределение отдельных измерений параметров. Иногда ее называют частотным распределением, так как гистограмма показывает частоту появления измеренных значений параметров объекта.

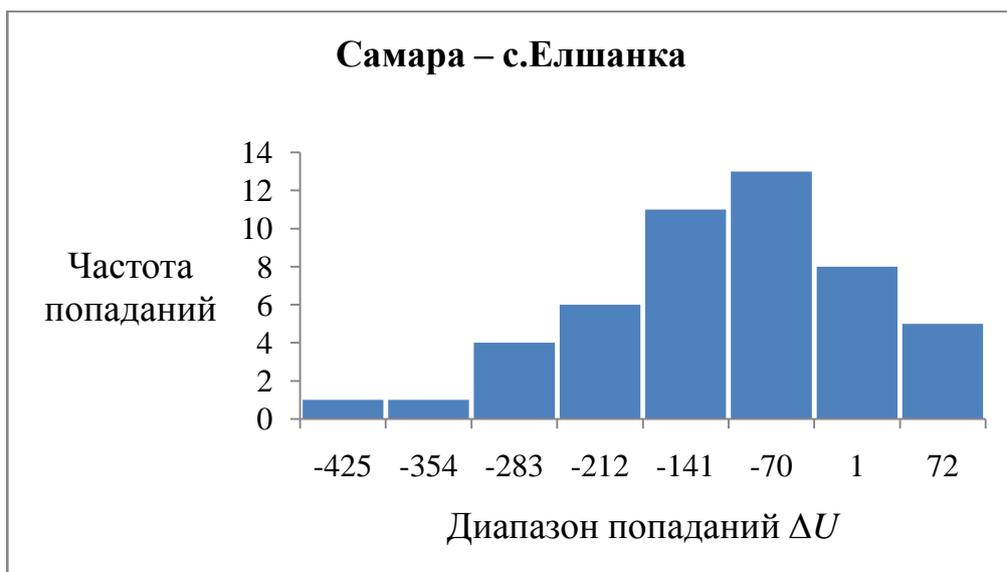
Высота каждого столбца указывает на частоту появления значений параметров в выбранном диапазоне, а количество столбцов – на число выбранных диапазонов.

Основное преимущество гистограммы заключено в том, что она позволяет наглядно представить тенденции изменения измеряемых параметров качества объекта и зрительно оценить закон их распределения. Кроме этого, гистограмма дает возможность быстро определить центр, разброс и форму распределения случайной величины. Строится гистограмма, обычно, для интервального изменения значений измеряемого параметра. На рисунке 21 изображены гистограммы распределения суммарных влагозапасов ( $\Delta U$ ) для некоторых станций, остальные – в Приложении Г.

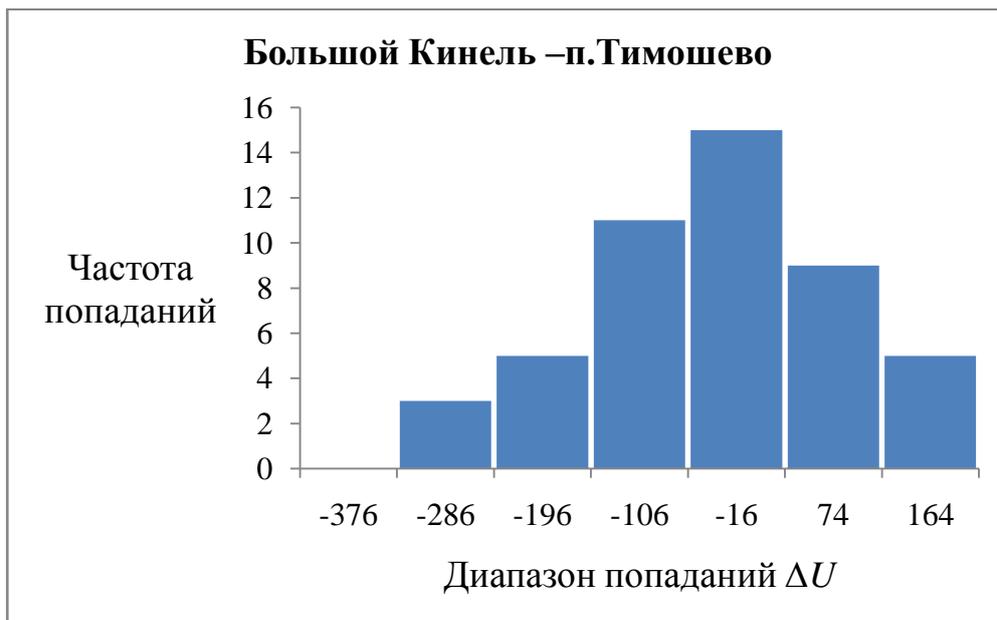
а)



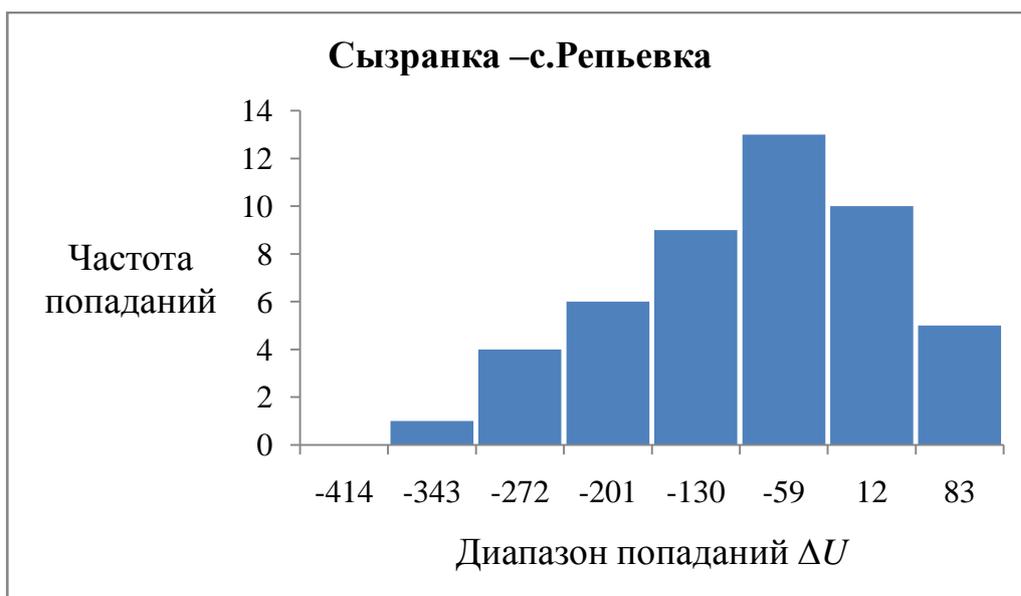
б)



в)



г)



д)

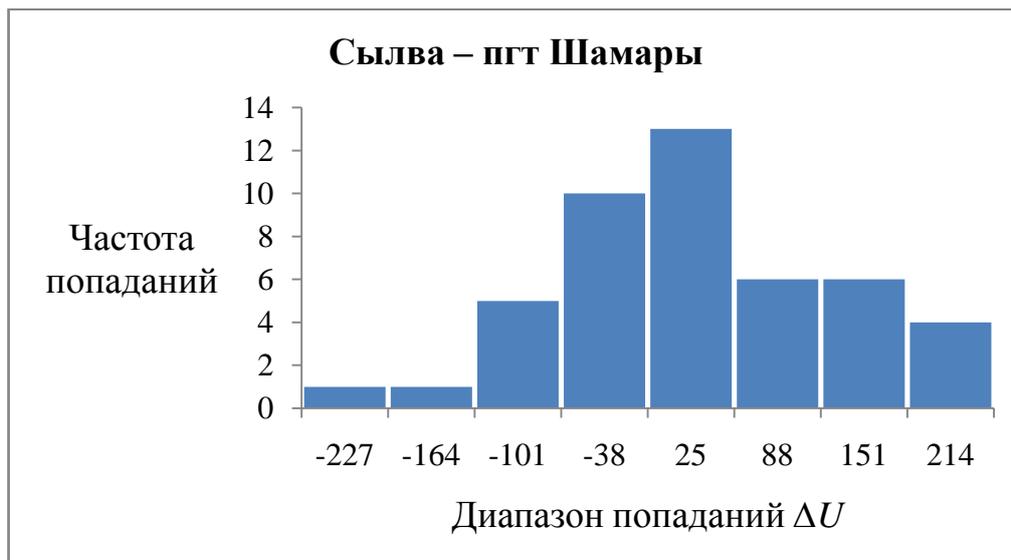


Рисунок 21 – Гистограммы распределения  $\Delta U$  (ETP).

Из анализа рисунка 21 следует, что гистограммы имеют несимметричную форму. Среднее значение гистограммы располагается либо правее, либо левее середины «разбега» данных, происходит резкое уменьшение частоты с одного края.

#### 4.2 Азиатская территория России

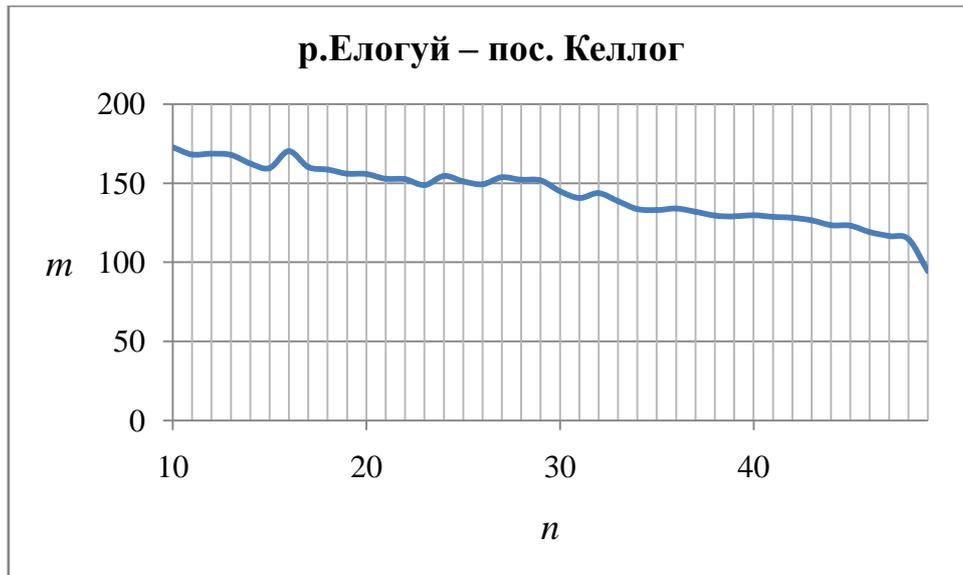
В таблице 9 показаны результаты статистической оценки стабилизации среднего значения суммарных влагозапасов и среднего значения коэффициента вариации для рядов бассейнов АТР. Как видно из этой таблицы, не все ряды стабилизировались. В 43% случаев, что говорит об их неоднородности. Для визуальной оценки стабилизации суммарных влагозапасов строились графики зависимости среднего значения, коэффициента вариации от продолжительности ряда  $n$ .

На рисунке 22 и 23 изображены зависимости среднего значения и коэффициента вариации от продолжительности ряда для некоторых станций, остальные графики в Приложении В.

Таблица 9 – Результаты статистической оценки среднего значения  $\Delta U$  и среднего значения  $Cv$  для рядов бассейнов АТР

Река – пост	Значение с начала	$Cv(m_1)$	$Cv(Cv)$	Значение с конца	$Cv(m_1)$	$Cv(Cv)$
Лямин – факт.Горшково	стабилизации не произошло					
Елогуй – г.Келлог	с 1951 по 1980 гг	0,05	0,07	с 1981 по 1999 гг	0,08	0,11
Кас – пос. Александровский шлюз	с 1951 по 1980 гг	0,07	0,11	с 1981 по 1999 гг	0,04	0,04
Абакан – г. Абаза	с 1951 по 1980 гг	-0,03	-0,16	с 1981 по 1999 гг	-0,07	-0,03
Мана – пос. Манский	с 1951 по 1980 гг	-0,09	-0,23	с 1981 по 1999 гг	-0,03	-0,04
Амыл – с.Качулька	стабилизации не произошло					
Кан – г.Канск	с 1951 по 1980 гг	-0,04	-0,07	с 1981 по 1999 гг	-0,02	-0,02
Нижняя Тунгуска – с.Подволошино	с 1951 по 1980 гг	0,05	0,12	с 1981 по 1999 гг	0,09	0,12
Ингода – с.Дешулан	с 1951 по 1980 гг	-0,1	-0,1	с 1981 по 1999 гг	-0,16	-0,09
Онон – с.Бытэв	стабилизации не произошло					
Унда – с.Новоиваново	стабилизации не произошло					
Черная – с.Сбега	стабилизации не произошло					
Ивановка – с.Ивановка	с 1951 по 1980 гг	0,05	0,07	с 1981 по 1999 гг	0,03	0,05
Ток – пр-к Николаевский	с 1951 по 1980 гг	-0,25	-0,29	с 1981 по 1999 гг	-0,06	-0,08
Амгунь – с.Гуга	стабилизации не произошло					
Нимелен – г. Тимченко	стабилизации не произошло					

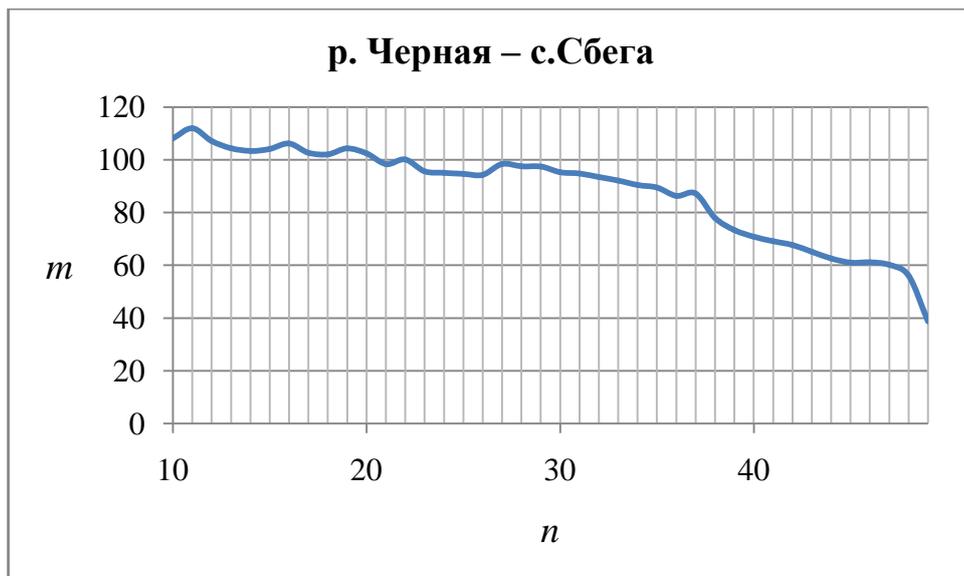
a)



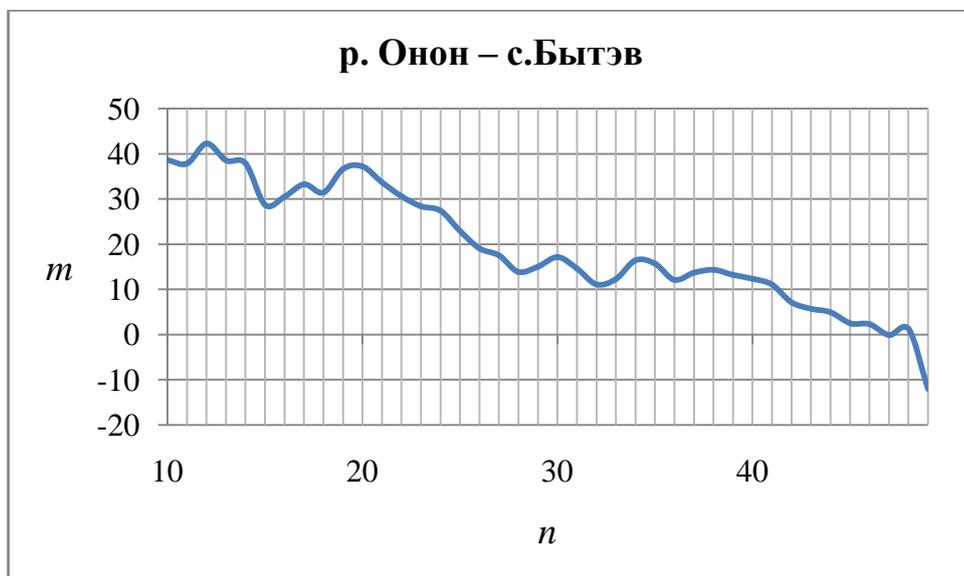
б)



в)



г)



д)

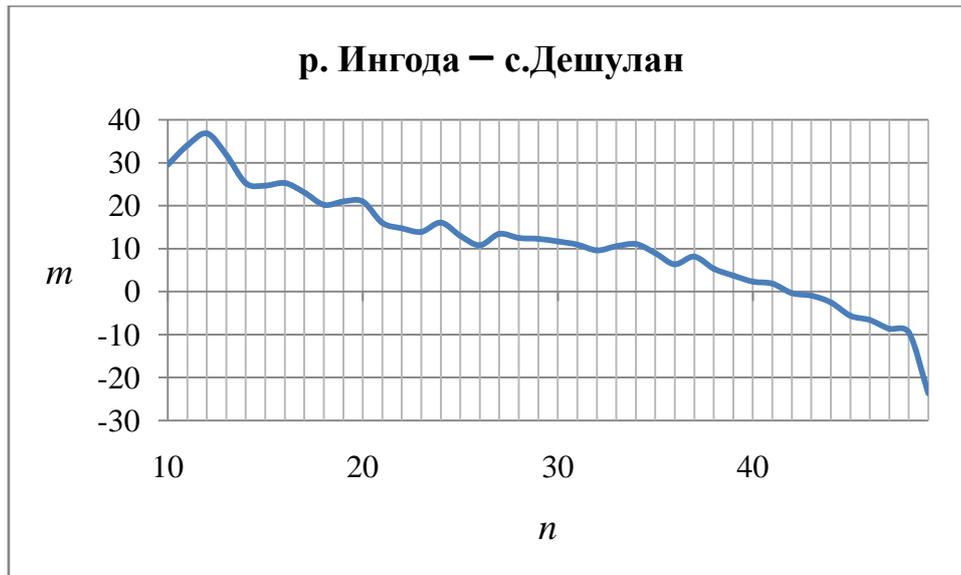
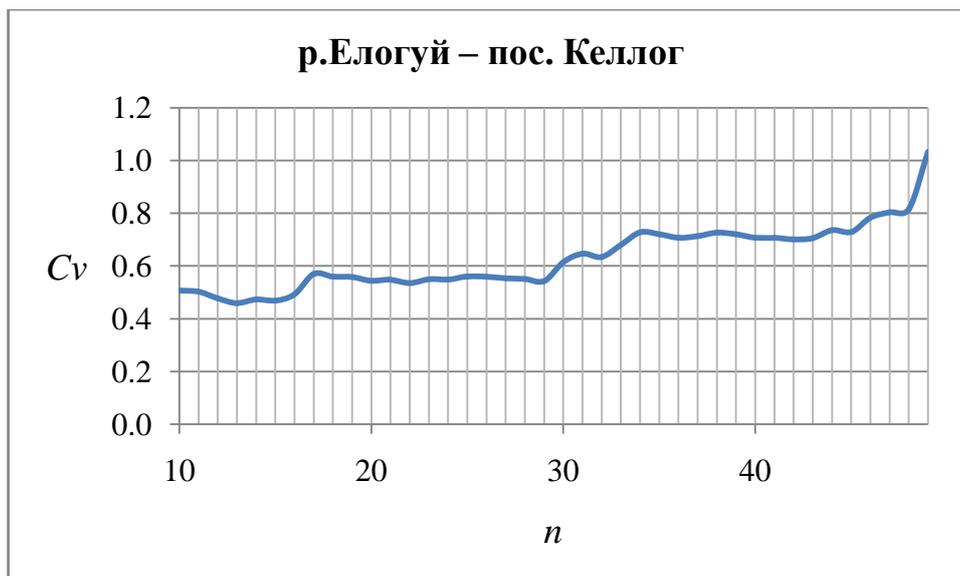


Рисунок 22 – Зависимость среднего значения  $m_1$  от продолжительности ряда  $n$ .

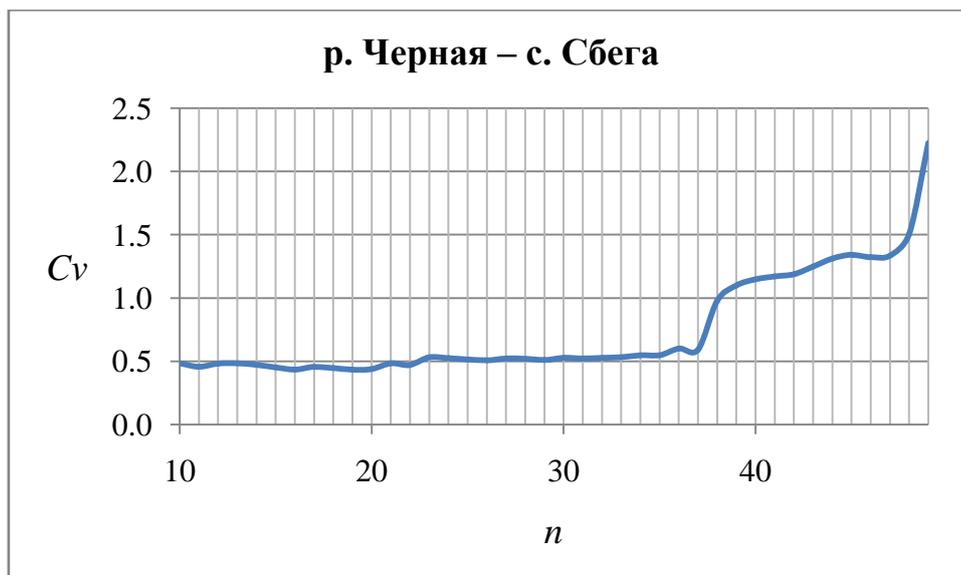
а)



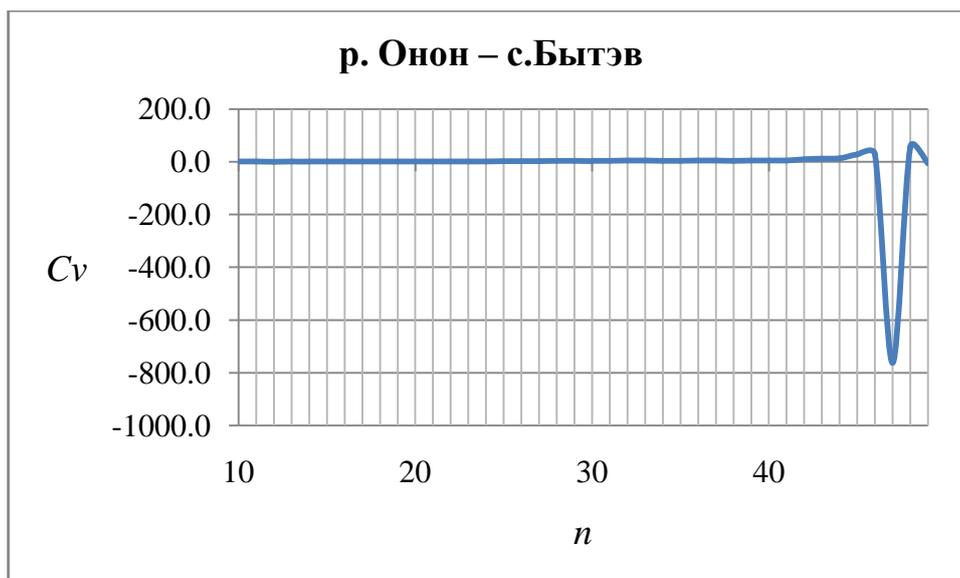
б)



в)



з)



д)

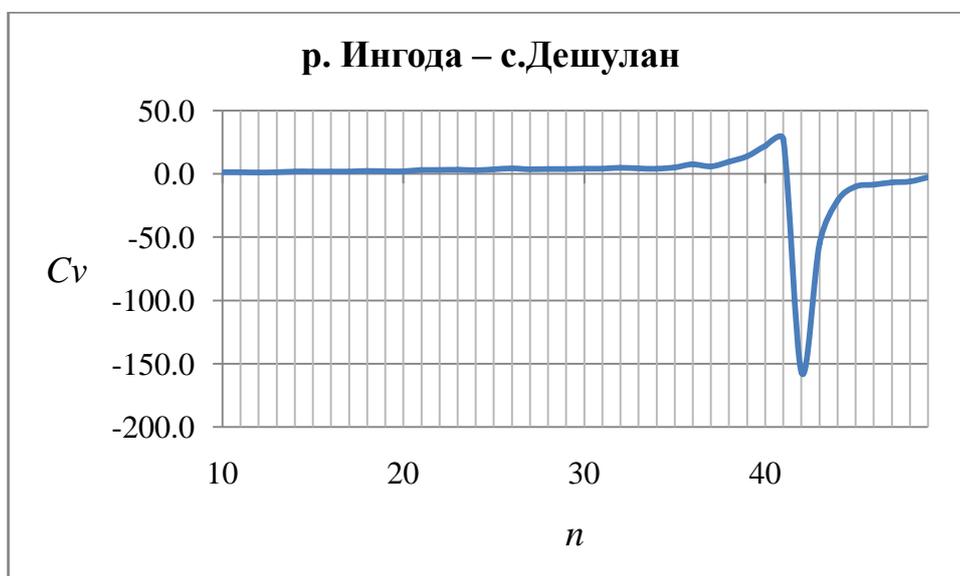


Рисунок 23 – Зависимость коэффициента вариации  $Cv$  от продолжительности ряда  $n$ .

Проанализировав графики, можно заметить, что для многих рядов наступила стабилизация (рисунки 22, 23). По визуальной оценке можно определить, что для определения нормы изменения суммарных влагозапасов достаточно 25–30 лет.

В некоторых случаях, как видно на рисунке 22 з, д происходили резкие выбросы значений коэффициента вариации. Это происходит потому, что

значения изменения суммарных влагозапасов стремятся к нулю, а коэффициент вариации – это отношения среднеквадратического отклонения к среднему значению, в следствии этого значения  $Cv$  получаются большими.

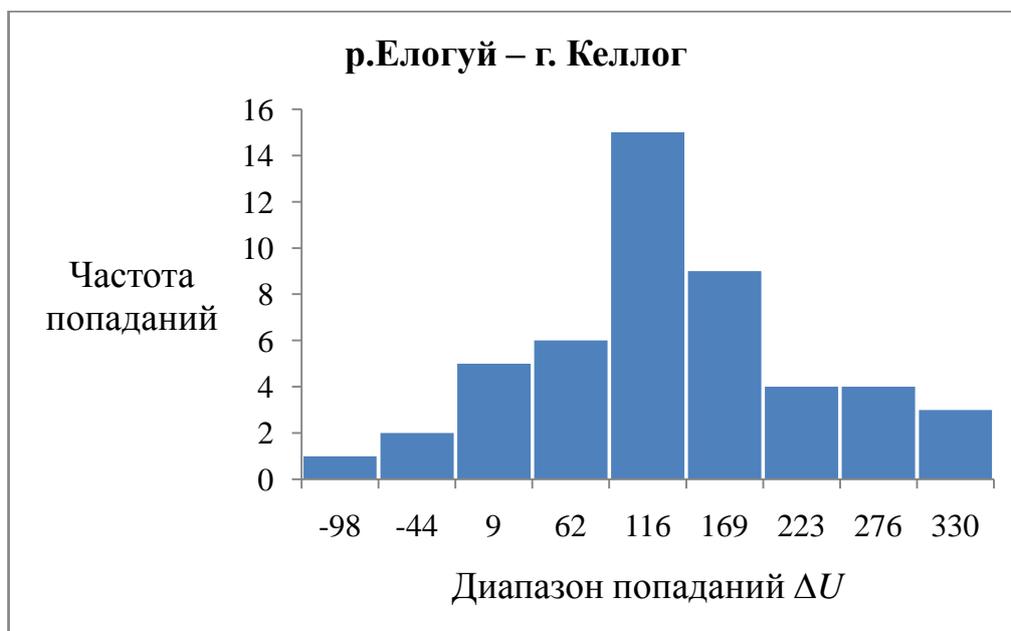
### *Гистограммы распределения нормы суммарных влагозапасов*

Гистограмма – это способ представления статистических данных в графическом виде – в виде столбчатой диаграммы.

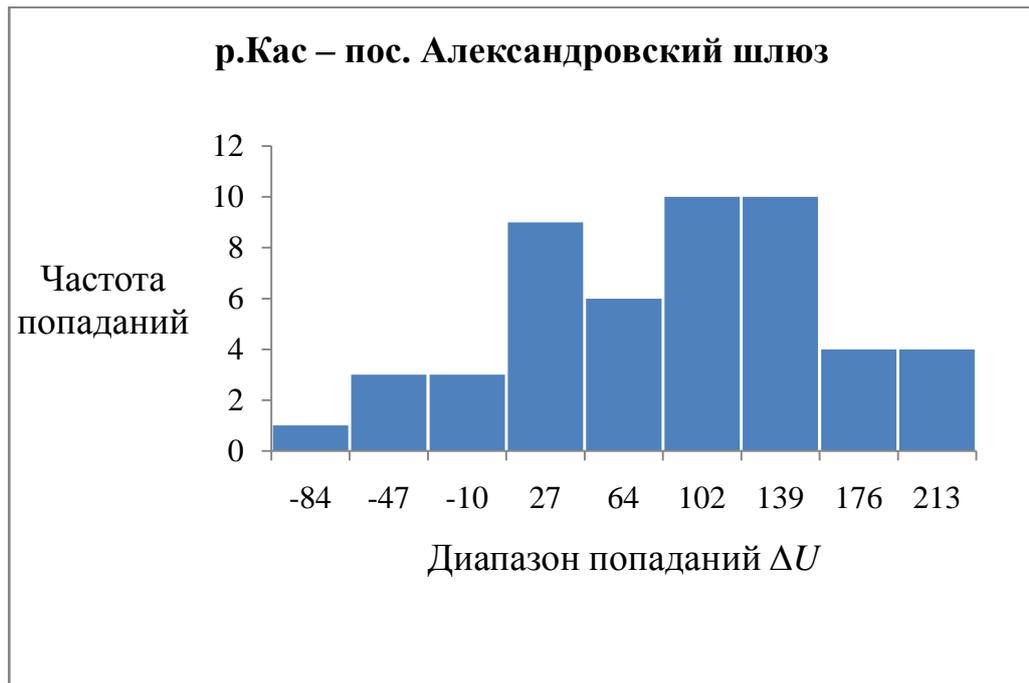
Графически гистограмма строится следующим образом. Сначала множество значений, которое может принимать элемент выборки, разбивается на несколько одинаковых интервалов, в данном случае на 8. Эти интервалы откладываются по оси  $x$ , потом над каждым рисуется прямоугольник, характеризующий частоту попаданий. Так как интервалы были одинаковыми, то высота каждого прямоугольника пропорциональна числу элементов выборки, попадающих в соответствующий интервал.

В данном случае мы рассматриваем частоту попадания  $\Delta U$  в определенные диапазоны (рисунок 24, Приложение Г).

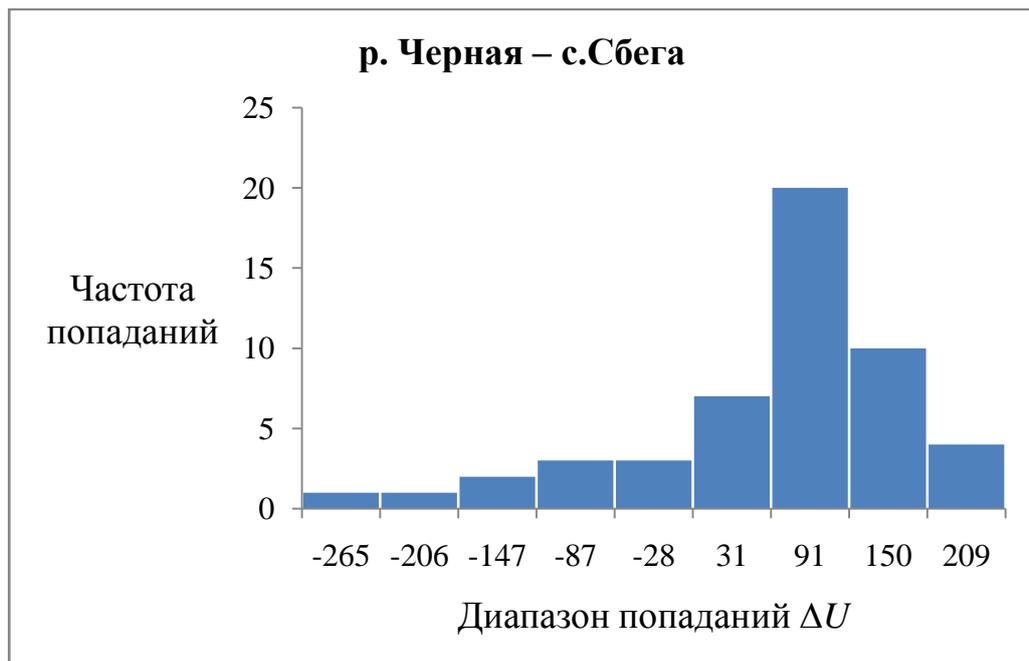
а)



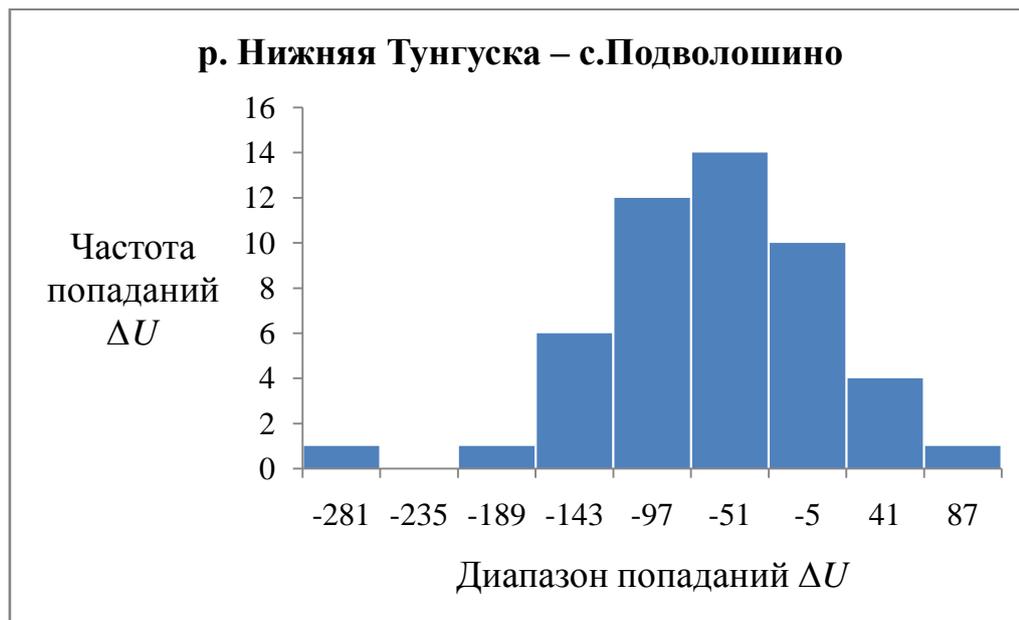
б)



в)



з)



д)

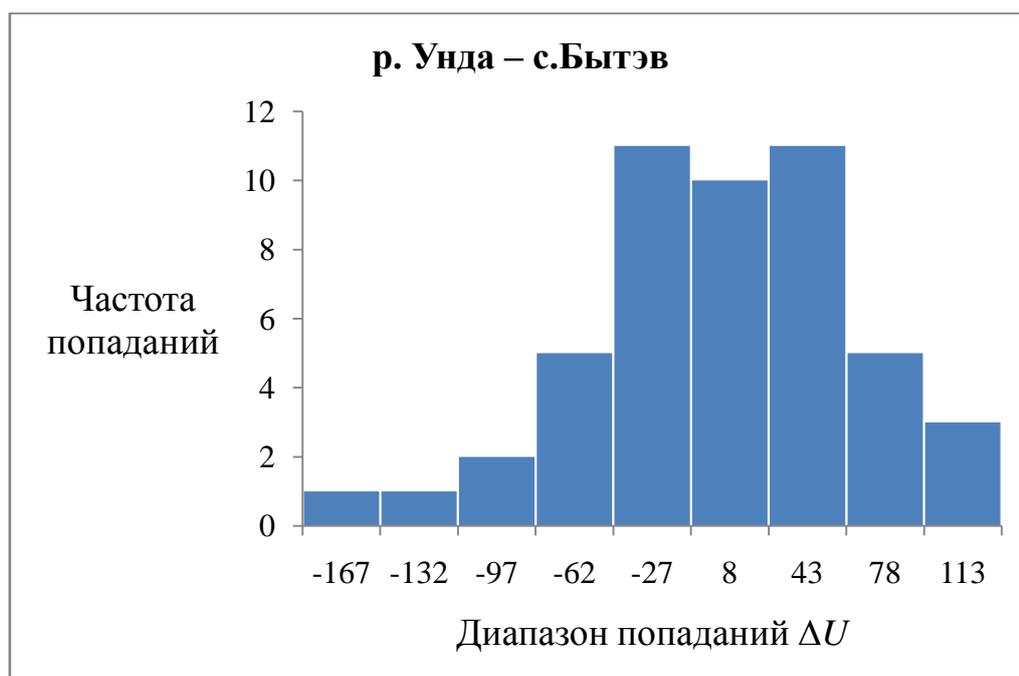


Рисунок 24 – Гистограммы распределения  $\Delta U$  (АТР).

Из анализа рисунка 24 следует, что гистограммы имеют несимметричную форму. В некоторых случаях встречается двухмодальное распределение, например, на рисунке 24, б.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выполнен анализ рядов изменения суммарных влагозапасов речных бассейнов Европейской и Азиатской территории России по 30 постам за период наблюдения с 1951 по 1999 гг. Временной ход колебаний суммарных влагозапасов отслеживался с помощью хронологических графиков и разностно-интегральных кривых. С 1972 года происходит резкое понижение влагозапасов, с 1976 по 1999 год начинается постепенное их повышение. Анализ изменения суммарных влагозапасов показывает, что изменения происходили на всей Европейской территории России, где отмечался значительный рост влагозапасов почв, на территории республики Башкортостан и Удмуртии рост влагозапасов почв также за последние несколько лет так же был существенным. На Азиатской территории наблюдалось как понижение, так и повышение суммарных влагозапасов. Понижение наблюдалось в Красноярском и Забайкальском краях. Выполненная работа позволила установить пространственно-временные закономерности изменения влагозапасов почв Европейской и Азиатской территории России за последние 4–5 десятилетий и описать их с помощью различных статистических приемов. Анализ однородности рядом суммарных влагозапасов проводился при помощи критериев Фишера и Стьюдента при различных уровнях значимости (2, 5, 10 %). Он показал, что на большей территории ряды однородны.

Для определения статистической оценки стабилизации суммарных влагозапасов строили графики зависимости среднего значения, коэффициента вариации от продолжительности ряда. Можно сказать, что зависимость среднего значения и коэффициента вариации от продолжительности ряда имеет сильные скачки в течение примерно 30 лет для Европейской территории России и 25 лет для Азиатской территории,

затем резких скачков нет, следовательно, величины стабилизируются примерно с 1980 и с 1975 года.

Так же были построены карты-схемы распределений нормы суммарных влагозапасов для Европейской и Азиатской территории России.

На них видно, что как норма, так и коэффициент вариации для Европейской и Азиатской территории сильно изменяются. На Азиатской территории норма изменений суммарных влагозапасов как отрицательная, так и положительная. Сказывается климатическое влияние с океана. На Европейскую территорию большое влияние оказывается со стороны Атлантики.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Определение основных расчетных гидрологических характеристик. СП 33-101-2003. – М.: ФГУПЦПП, 2004. –70 с.
- 2 Коваленко, В. В. Частично инфинитная гидрология Текст. / В. В. Коваленко. – СПб.: Изд. РГГМУ, 2007. –230 с.
- 3 Коваленко, В. В. Частично инфинитное моделирование и прогнозирование процессов развития Текст. / В.В. Коваленко – СПб.: Изд. РГГМУ, 1998. –113 с.
4. Коваленко, В. В. Моделирование гидрологических процессов. Изд. 2-е, испр. и доп. Учебник. Текст. / В. В. Коваленко, Н. В. Викторова, Е. В. Гайдукова. – СПб.: Изд. РГГМУ, 2006.–559 с.
5. Коваленко, В. В. Гидрологическое обеспечение надежности строительных проектов при неустановившемся климате Текст. / В. В. Коваленко. – СПб.: Изд. РГГМУ, 2009.–101 с.
6. Коваленко, В. В. Частично инфинитная гидрология Текст. /В. В. Коваленко. –СПб.: Изд. РГГМУ, 2007.–230 с.
7. Коваленко, В.В. Нелинейные аспекты частично инфинитного моделирования в эволюционной гидрометеоэкологии Текст. / В.В. Коваленко. – СПб.: Изд. РГГМУ, 2002.–158 с.
8. Коваленко, В. В. Частично инфинитное моделирование и прогнозирование процесса формирования речного стока Текст. /В. В. Коваленко. – СПб.: Изд. РГГМУ, 2004.-198 с.
9. Методы статистической обработки гидрометеорологической информации. Учебник. Текст.: Специальность «Гидрология» направления подготовки «Гидрометеорология». – СПб.: Изд. РГГМУ. 2007. – 279 с.
10. Мелешко, В.П. Изменения Климата в России в XXI веке Текст. / В. П. Мелешко, В.М. Катцов и др.-М.: Наука, 2006.–С.174 213

11.Клибашев, К. П. Гидрологические расчеты. Учебное пособие Текст. / К. П. Клибашев, И. Ф. Горошков. – JL: Гидрометеиздат, 1970.–460 с.

12 Израэль, Ю. А. Исследования влияния изменения климата Текст. / Ю. А. Израэль // Метеорология и гидрология. – 1991.–№ 4. – С.29 38

13 Шикломанов, И. А. Влияние изменения климата на гидрологию и водное хозяйство Текст. / И. А. Шикломанов, Г. Линз // Метеорология и гидрология, 1991. – № 4.

14 Методы расчета водных балансов. Международное руководство по исследованиям и практике Текст. /А. А. Соколов и Т. Г. Чапмен. – Гидрометеиздат, 1976. –56 с.

## Приложение А – Хронологические графики

### Европейская территория России

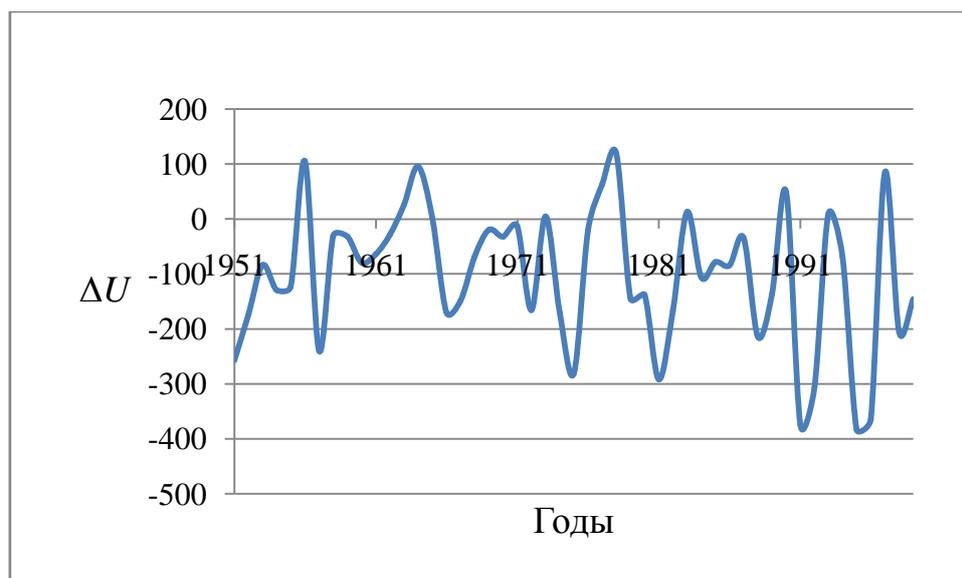


Рисунок А.1 – Хронологический график для станции Сок –ст.Сургут

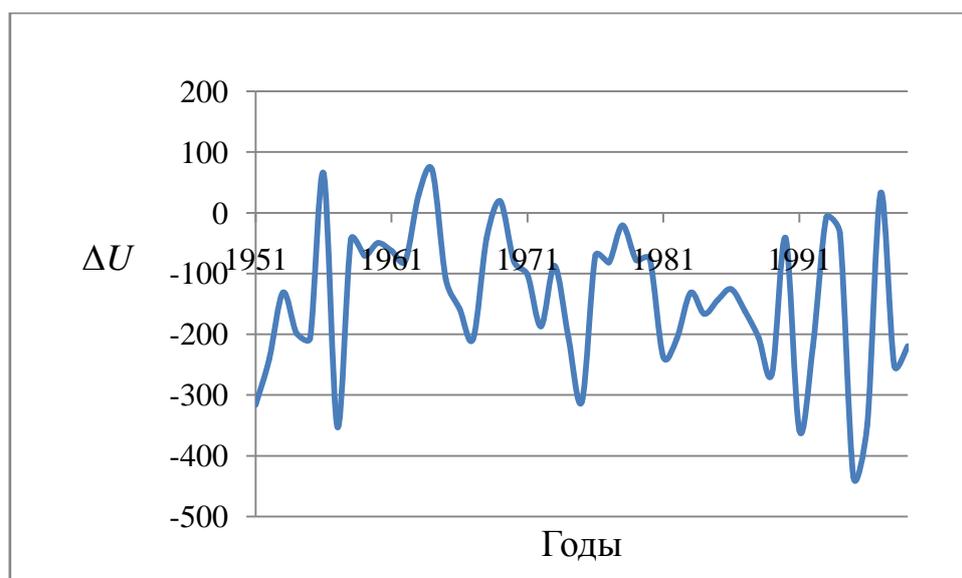


Рисунок А.2 – Хронологический график для станции  
Самара –с.Елшанка

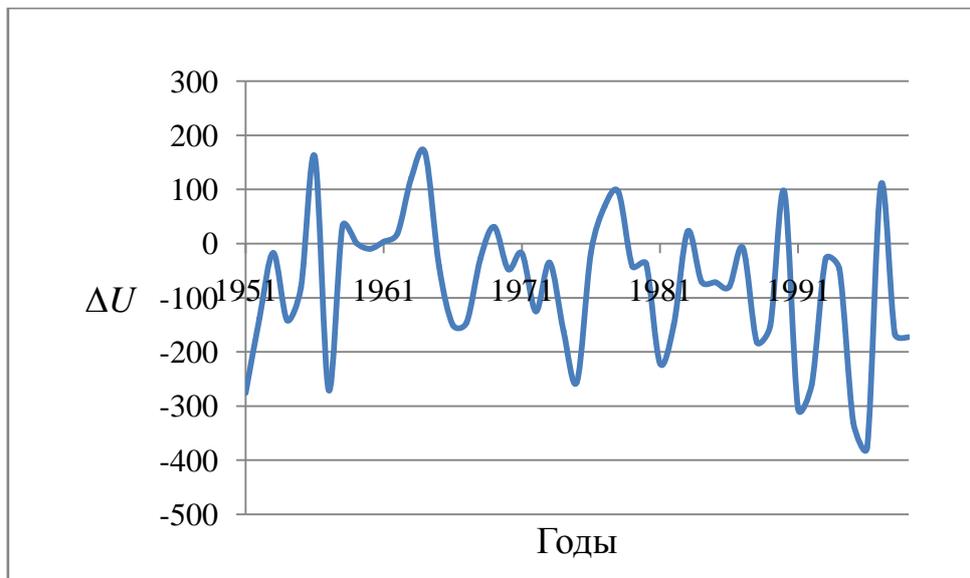


Рисунок А.3 – Хронологический график для станции  
Большой Кинель –п.Тимошево

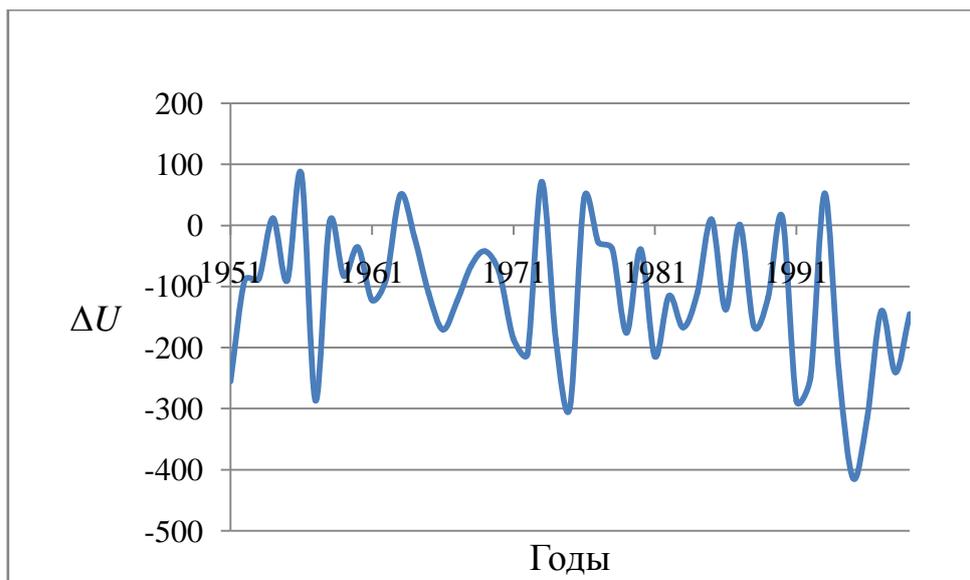


Рисунок А.4 – Хронологический график для станции  
Сызранка –с.Репьевка

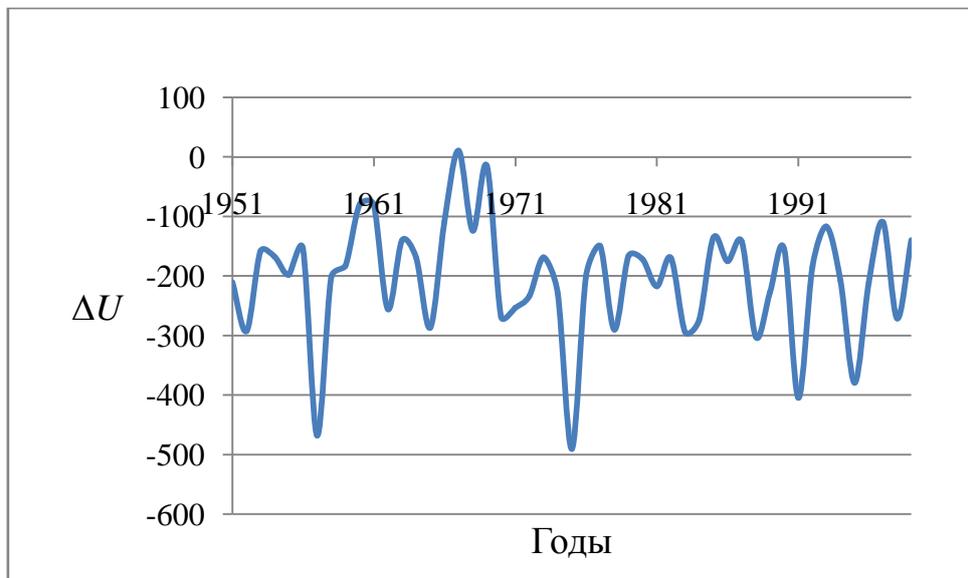


Рисунок А.5 – Хронологический график для станции  
Беляя –д.Сыртланово

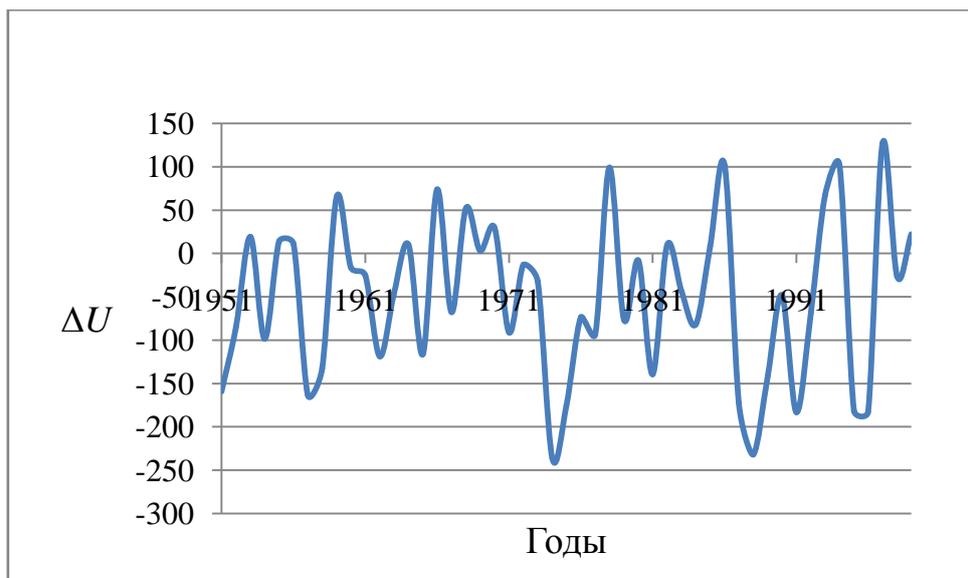


Рисунок А.6 – Хронологический график для станции  
Уфа –г.Красноуфимск

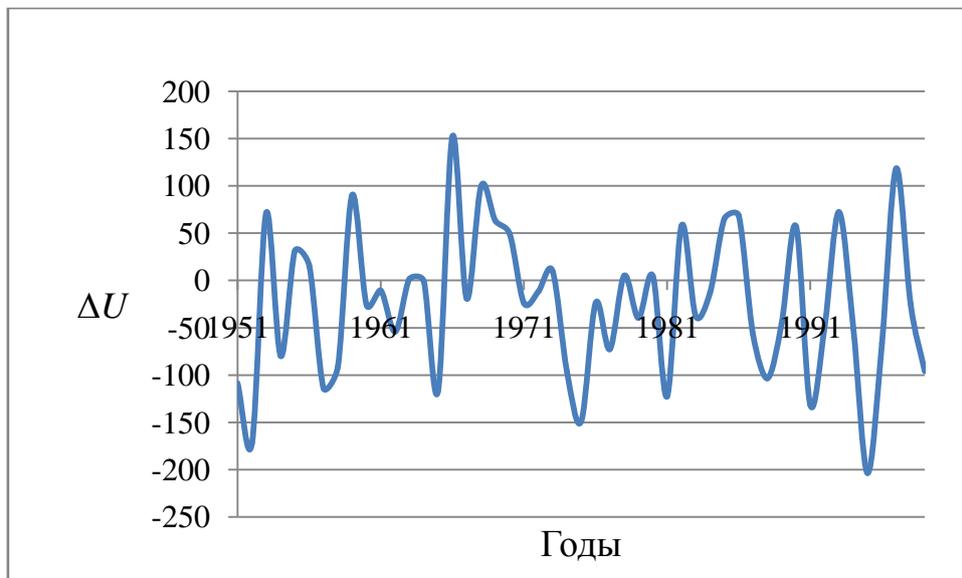


Рисунок А.7 – Хронологический график для станции Ай –с.Лаклы

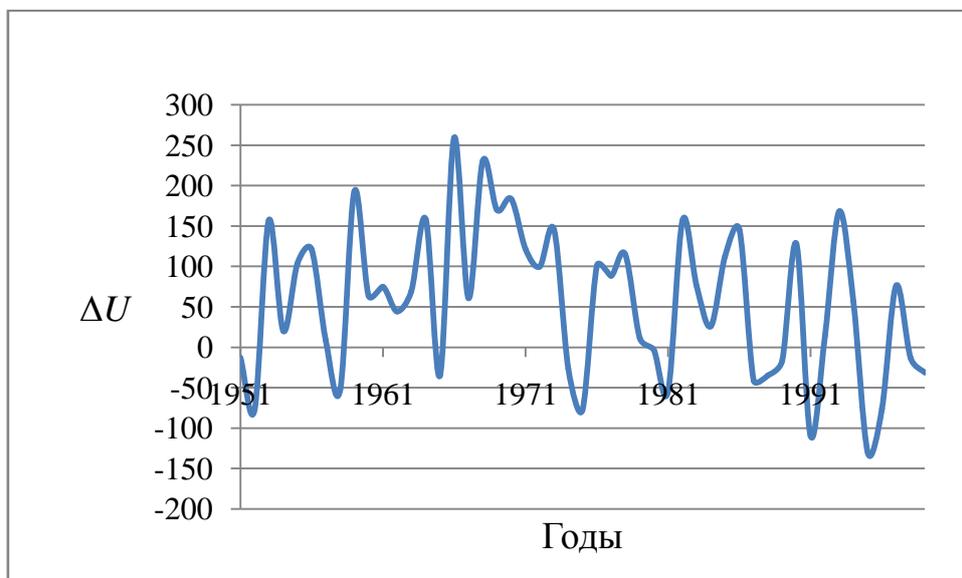


Рисунок А.8 – Хронологический график для станции Ай –с.Метели

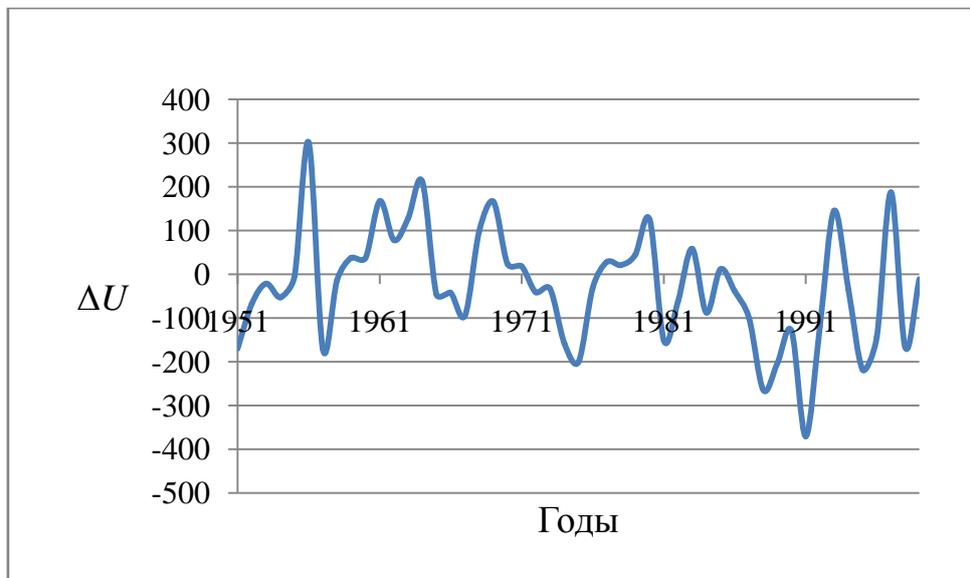


Рисунок А.9 – Хронологический график для станции Дема – д.Бочкарева

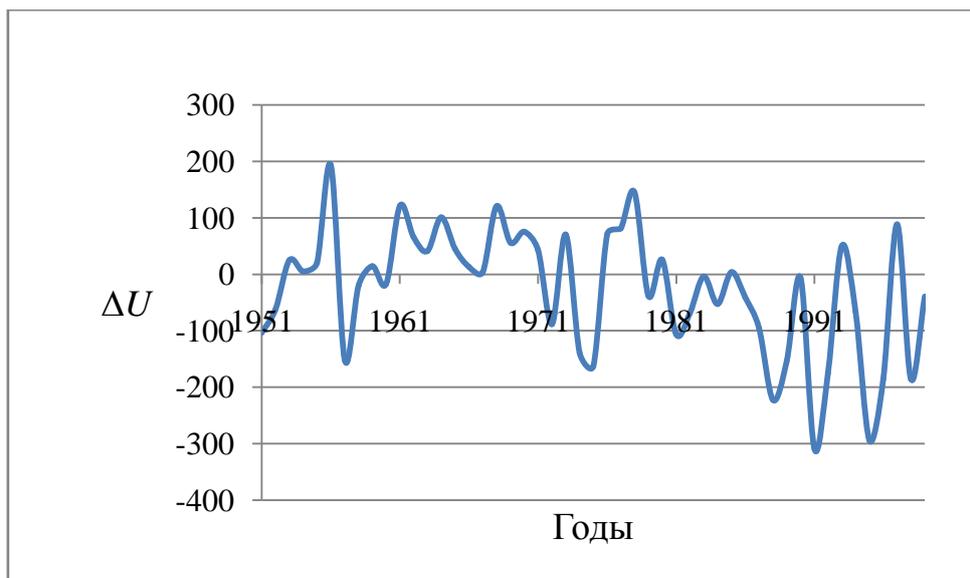


Рисунок А.10 – Хронологический график для станции Сюнь –с.Миньярово

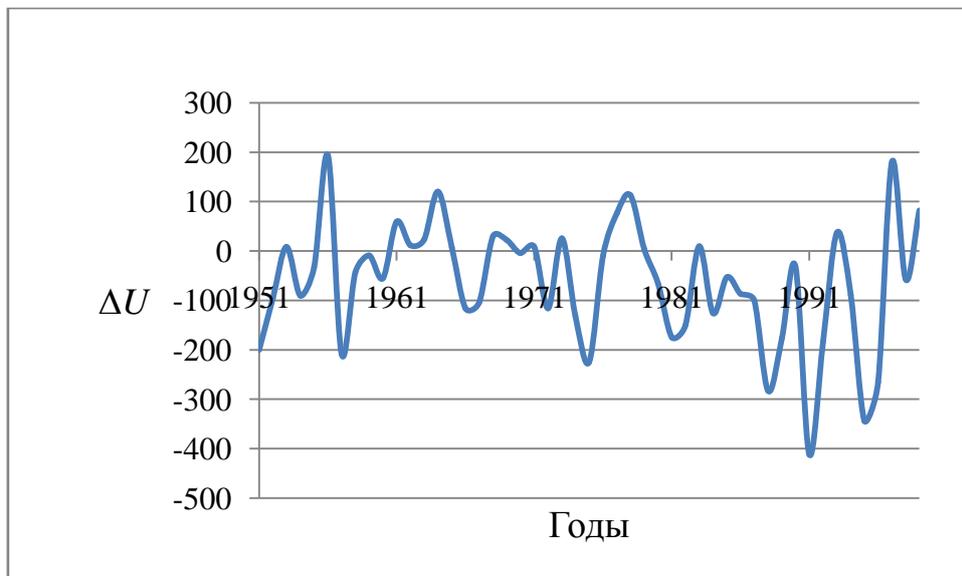


Рисунок А.11 – Хронологический график для станции  
Ик –с.Нагабайково

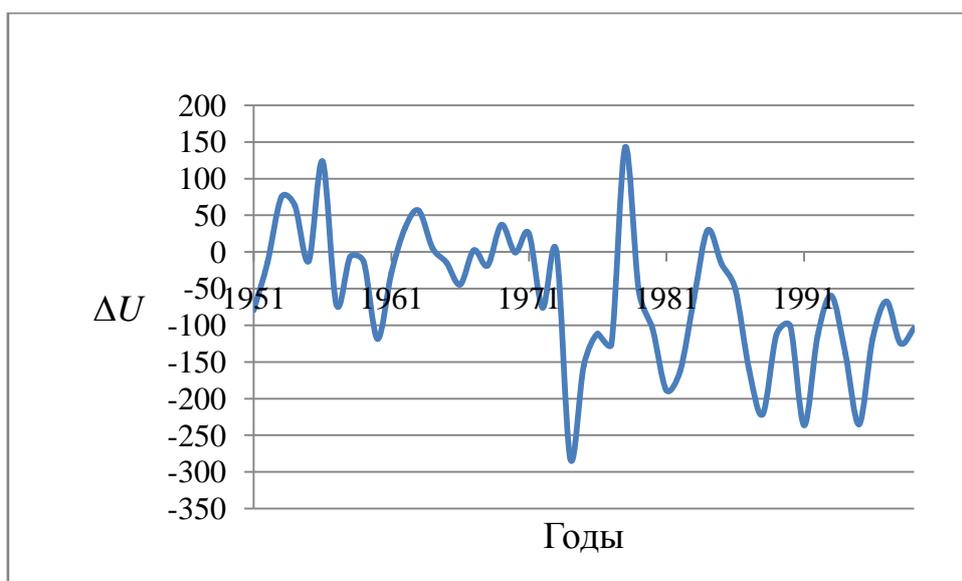


Рисунок А.12 – Хронологический график для станции Чепца –с.Полом

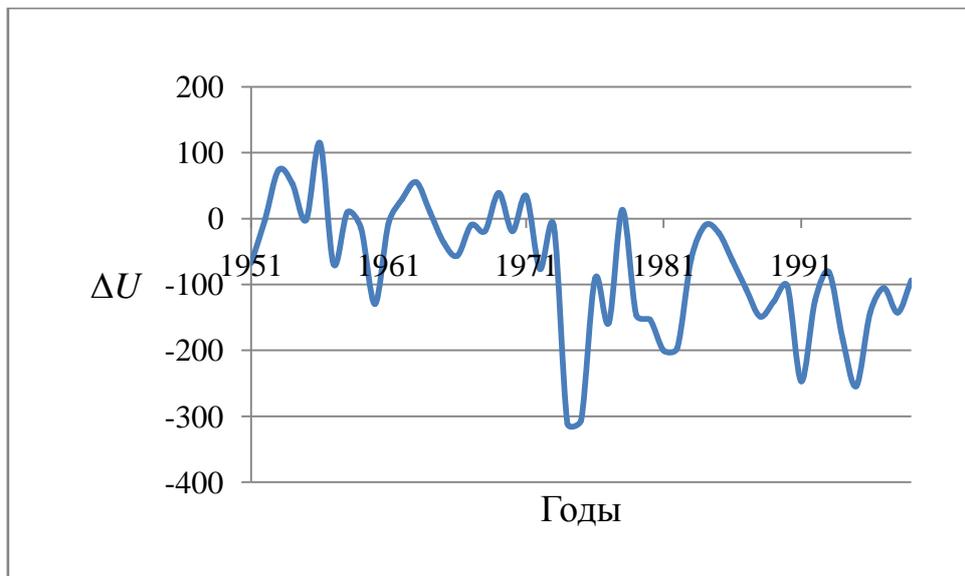


Рисунок А.13 – Хронологический график для станции Чепца –г.Глазов



Рисунок А.14 – Хронологический график для станции  
Быстрица –с.Шипицино

Азиатская территория России

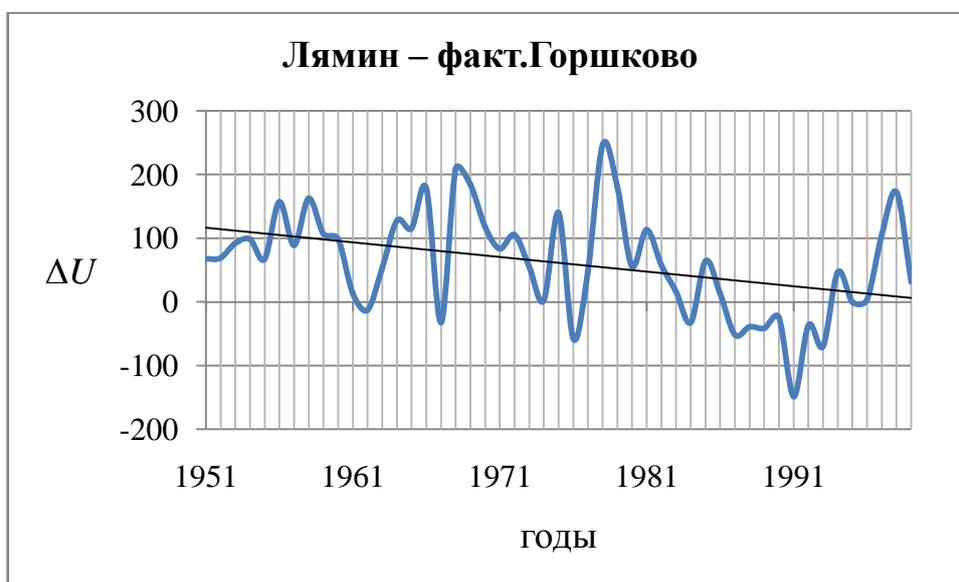


Рисунок А.15 – Хронологический график для станции  
Лямин –факт. Горшково

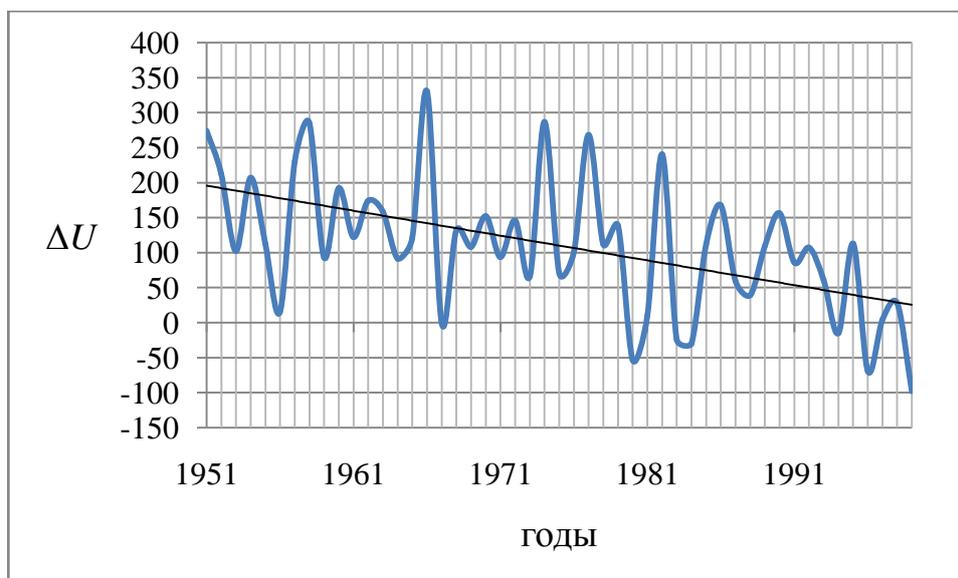


Рисунок А.16 – Хронологический график для станции  
Елогуй –пос.Келлог

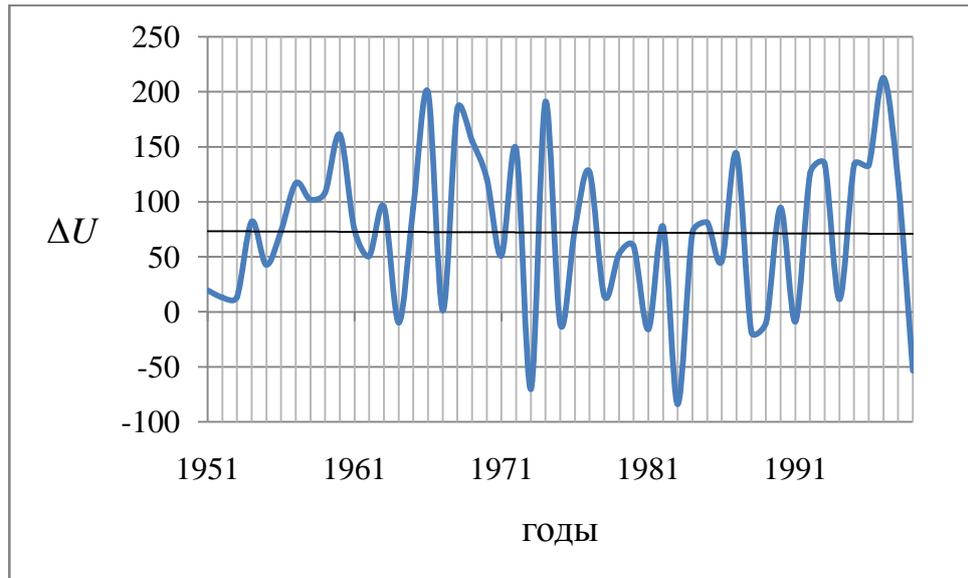


Рисунок А.17 – Хронологический график для станции  
Кас – пос.Александровский шлюз

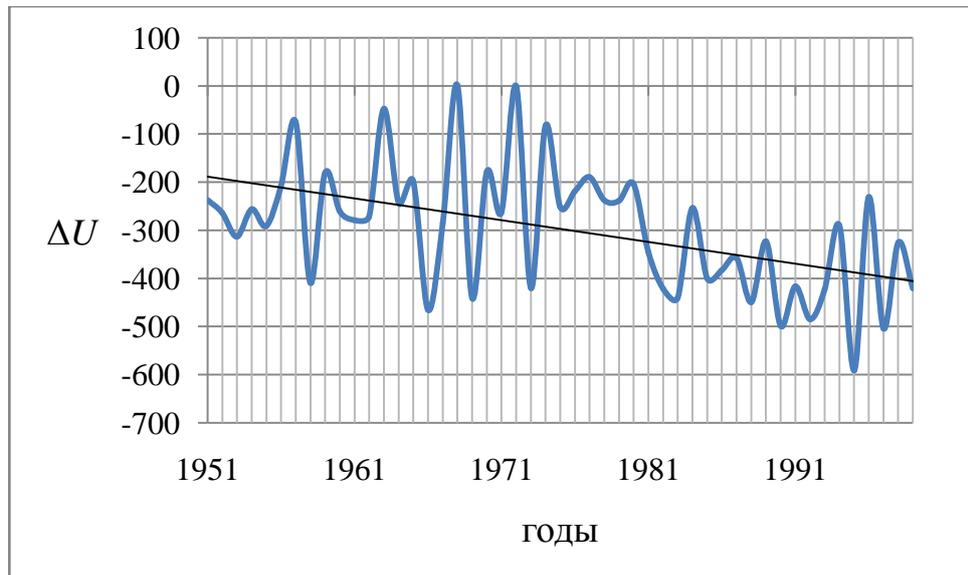


Рисунок А.18 – Хронологический график для станции  
Абакан –г. Абакан.

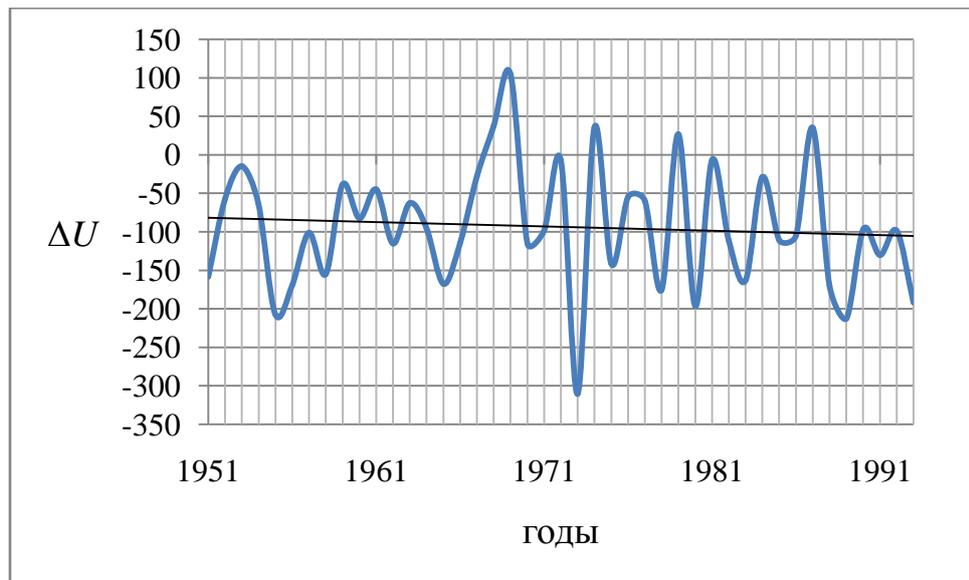


Рисунок А.19 – Хронологический график для станции  
Мана – пос. Манский

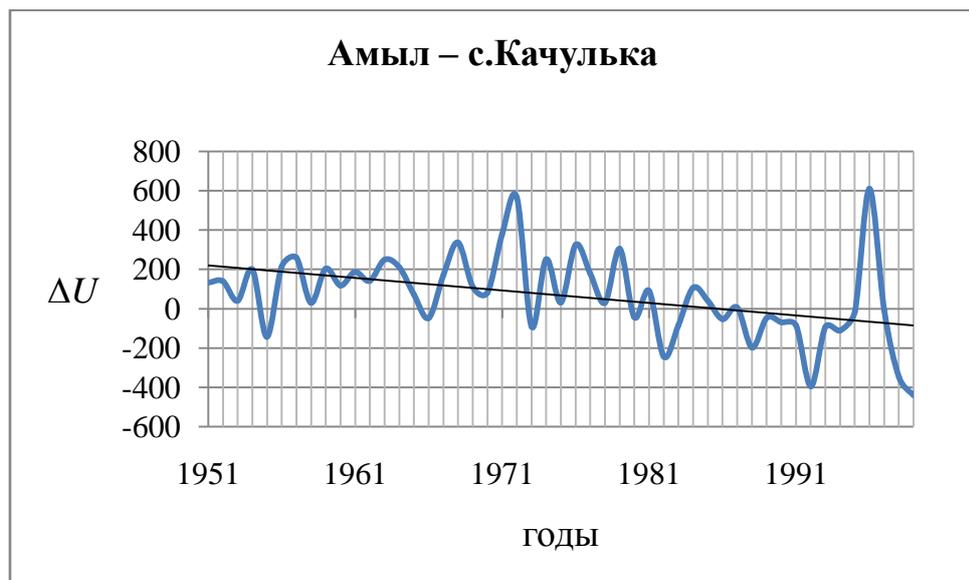


Рисунок А.20 – Хронологический график для станции  
Амыл – с. Качулька

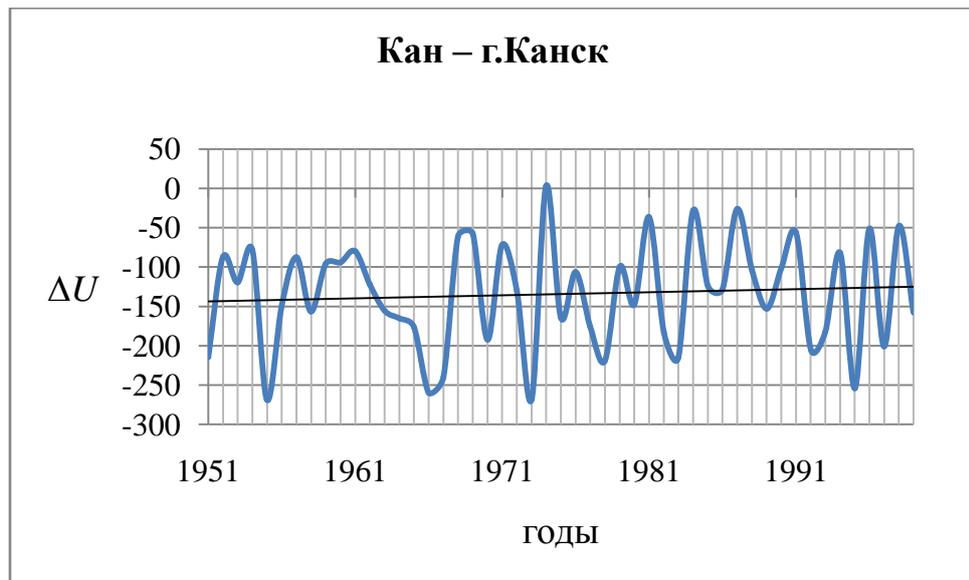


Рисунок А.21 – Хронологический график для станции Кан –г. Канск



Рисунок А.22 – Хронологический график для станции Нижняя Тунгуска –с. Подволошино

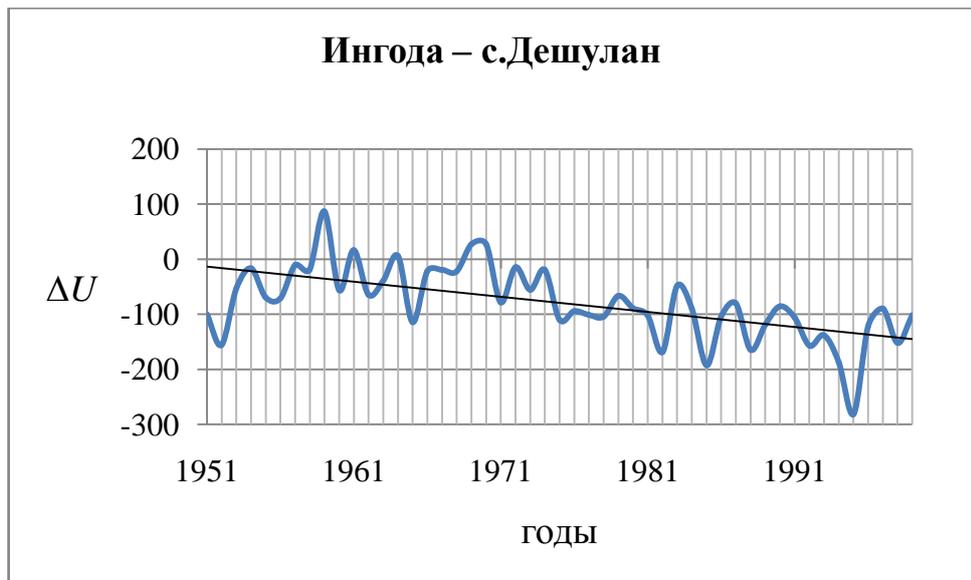


Рисунок А.23 – Хронологический график для станции  
Ингода –с.Дешулан

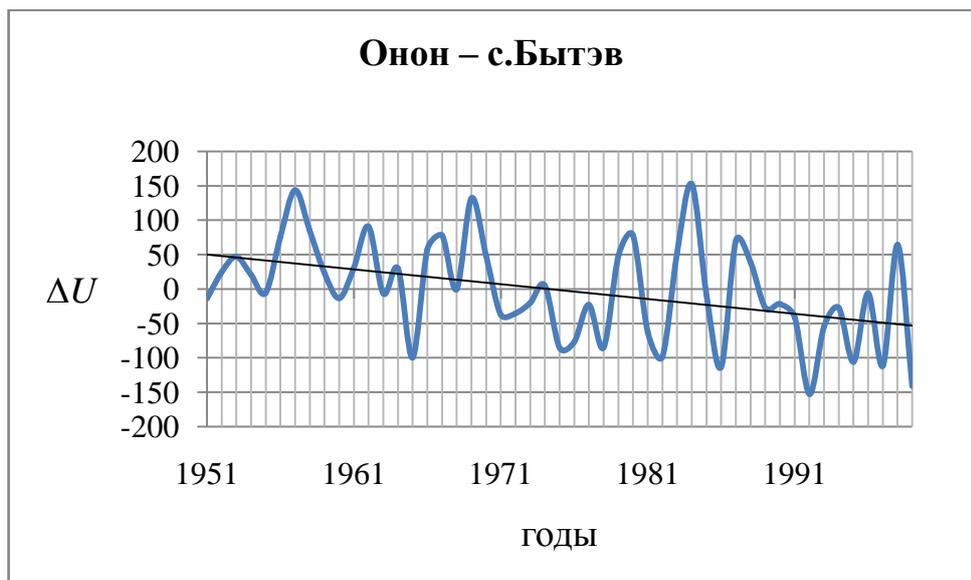


Рисунок А.24 – Хронологический график для станции  
Онон –с.Бытэв

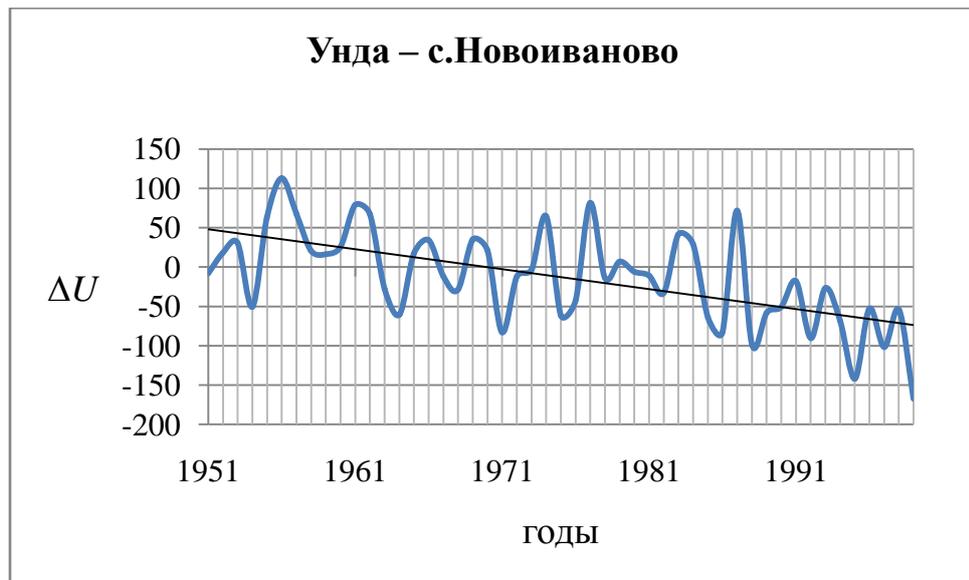


Рисунок А.25 – Хронологический график для станции  
Унда –с.Новоиваново

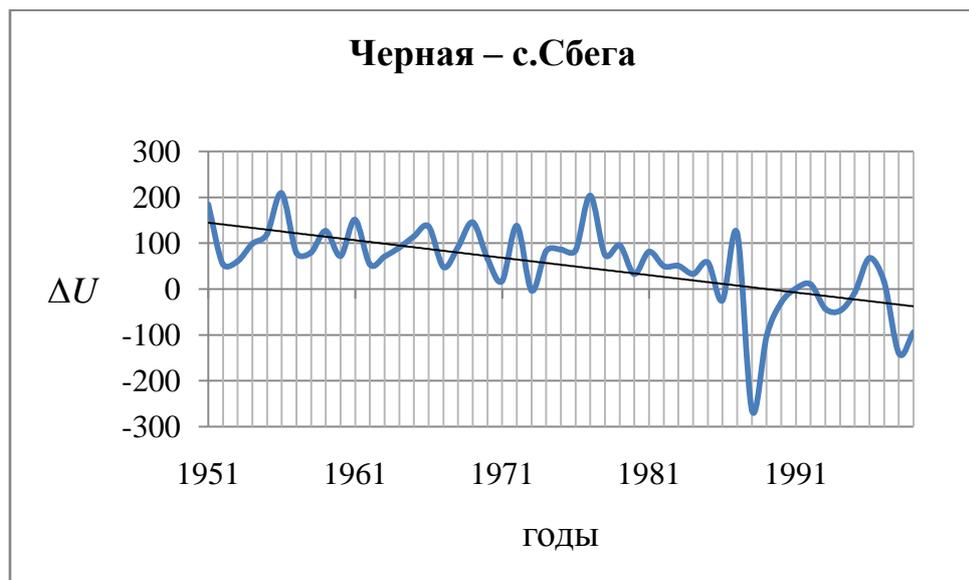


Рисунок А.26 – Хронологический график для станции  
Черная –с.Сбега

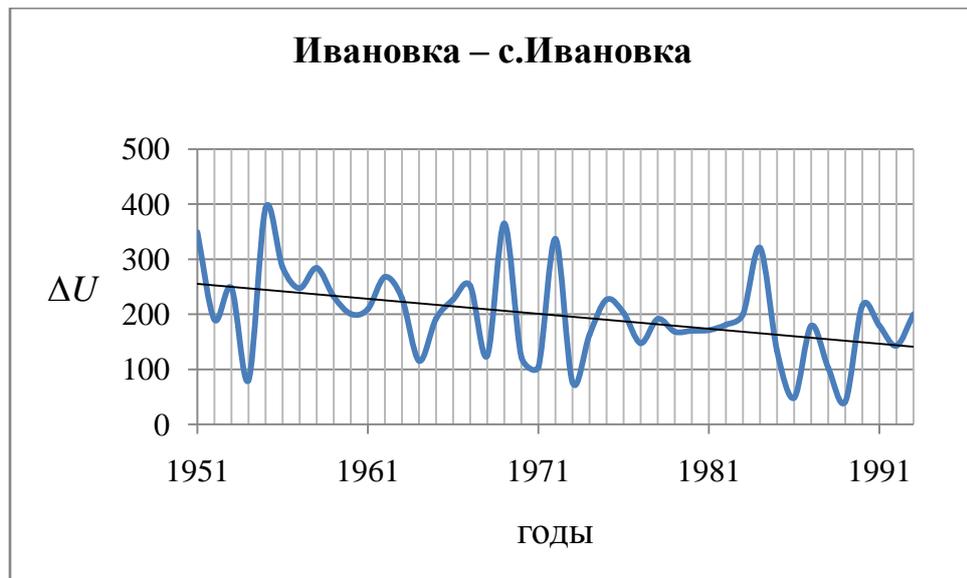


Рисунок А.27 – Хронологический график для станции  
Ивановка –с.Ивановка



Рисунок А.28 – Хронологический график для станции  
Ток –пр-к Николаевский

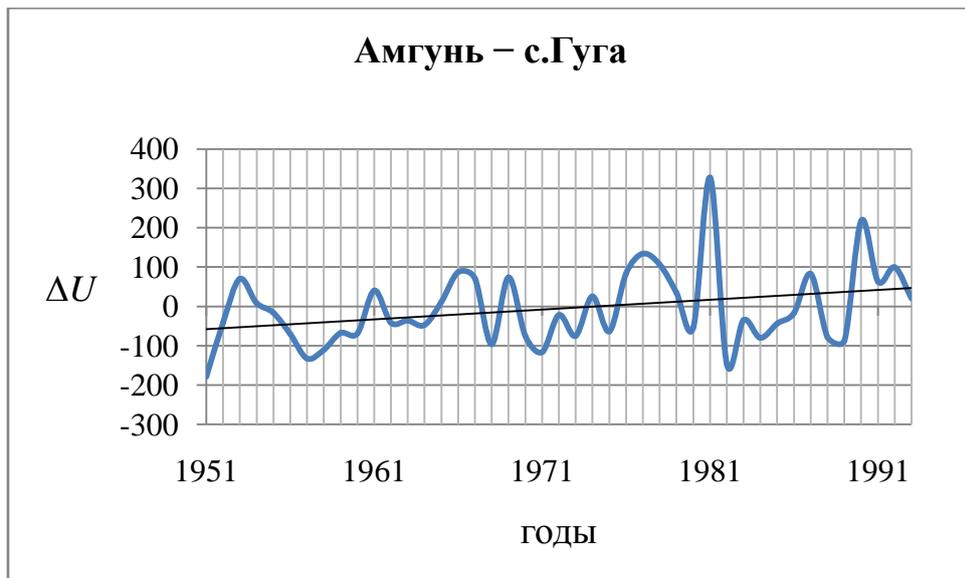


Рисунок А.29 – Хронологический график для станции  
Амгунь –с.Гуга

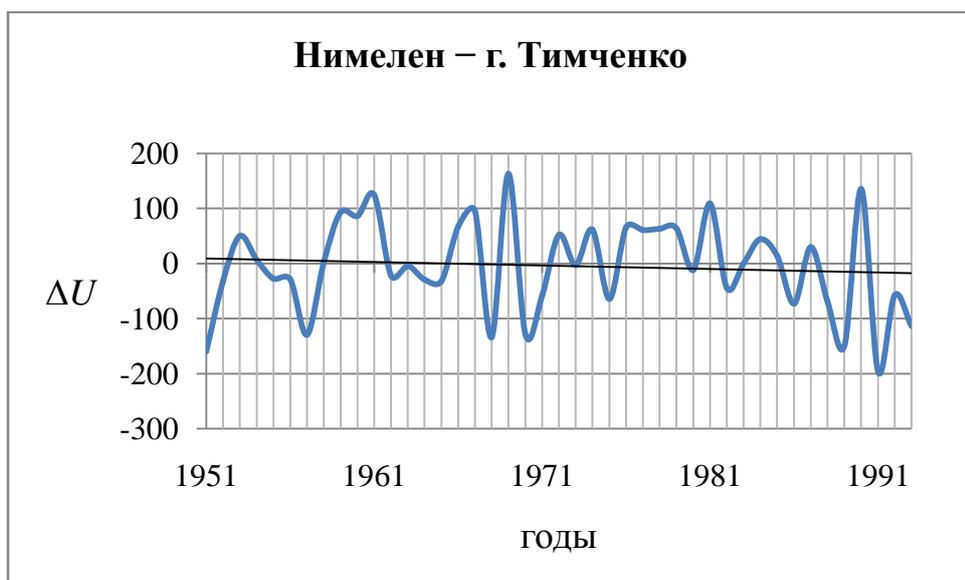


Рисунок А.30 – Хронологический график для станции  
Нимелен –г. Тимченко

## Приложение Б – Разностно-интегральные кривые

### 1.1. Европейская территория России

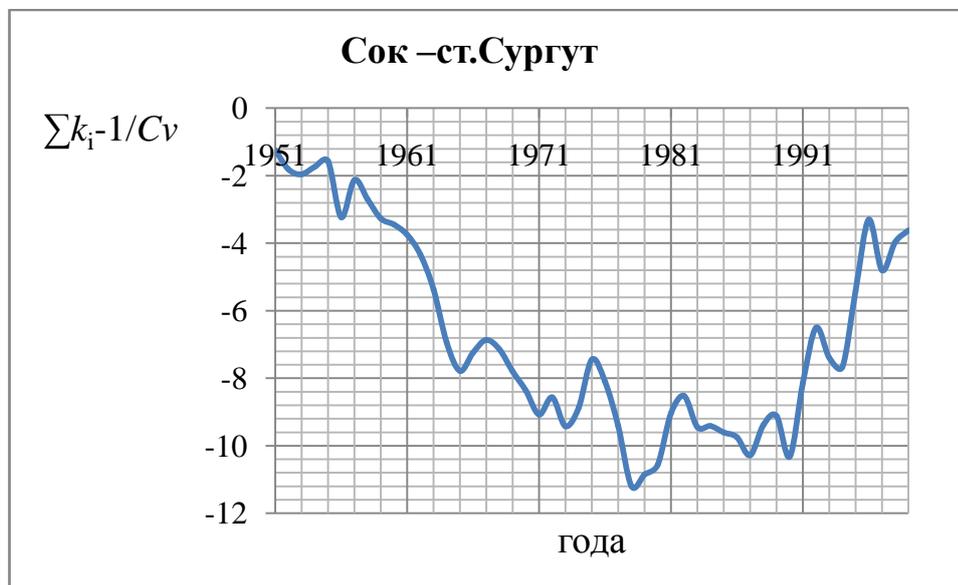


Рисунок Б1.1 1 – Разностно-интегральная кривая для станции  
Сок –ст. Сургут

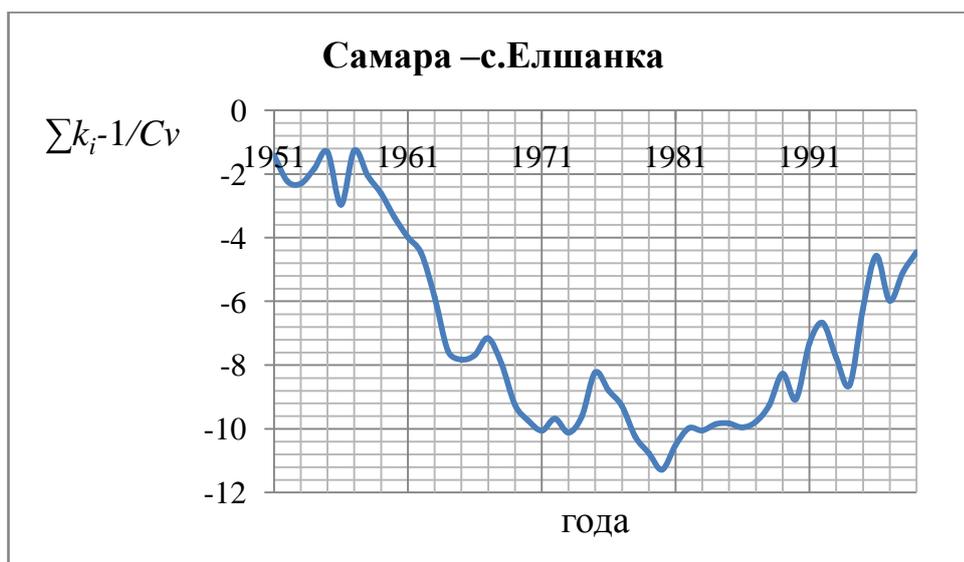


Рисунок Б1.1 2 – Разностно-интегральная кривая для станции  
Самара –с.Елшанка



Рисунок Б1.1 3 – Разностно-интегральная кривая для станции  
Большой Кинель –п.Тимошево

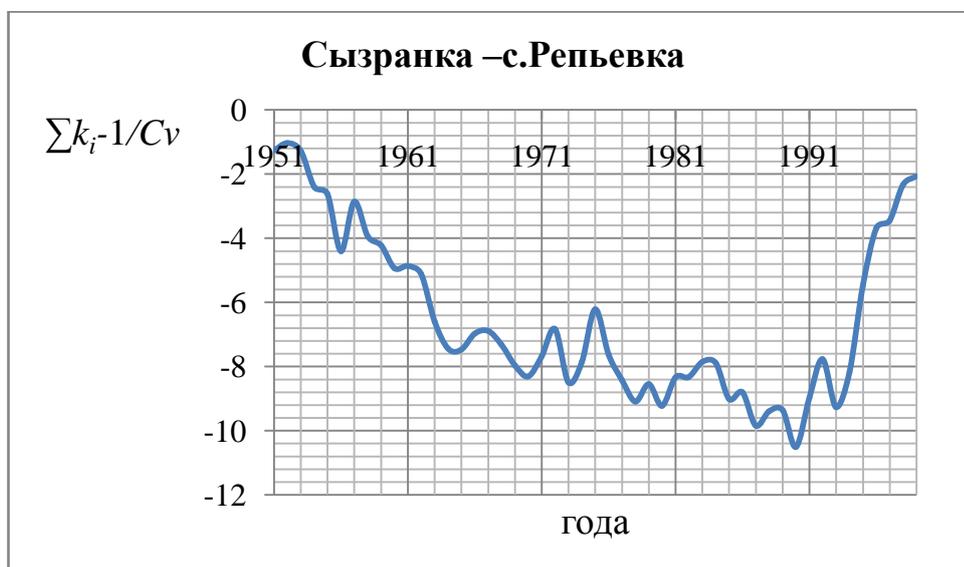


Рисунок Б1.1 4 – Разностно-интегральная кривая для станции  
Сызранка– с. Репьевка



Рисунок Б1.1 5 – Разностно-интегральная кривая для станции  
Белая –д.Сыртланово



Рисунок Б1.1 6 – Разностно-интегральная кривая для станции  
Уфа – г.Красноуфимск

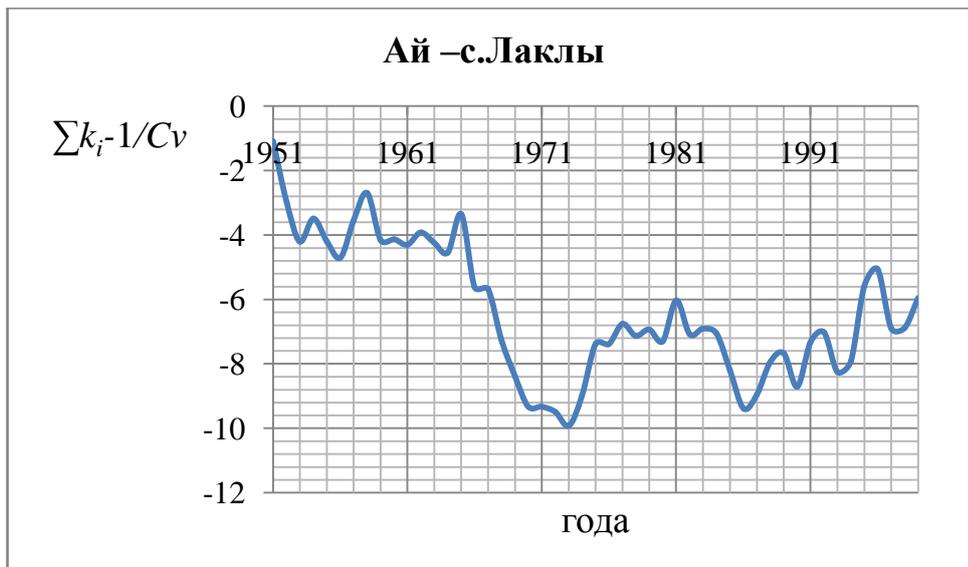


Рисунок Б1.1 7 – Разностно-интегральная кривая для станции  
Ай –с.Лаклы

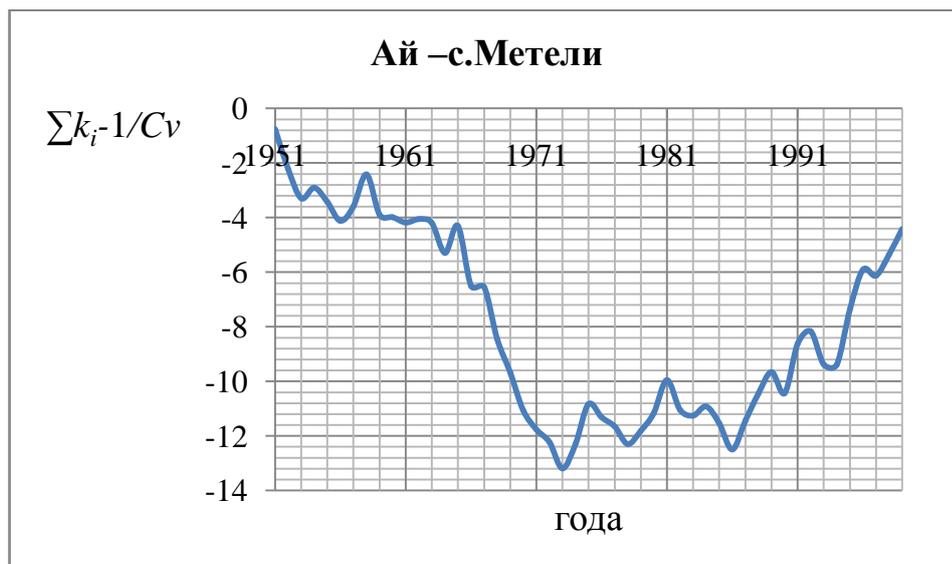


Рисунок Б1.1 8 – Разностно-интегральная кривая для станции  
Ай –с.Метели

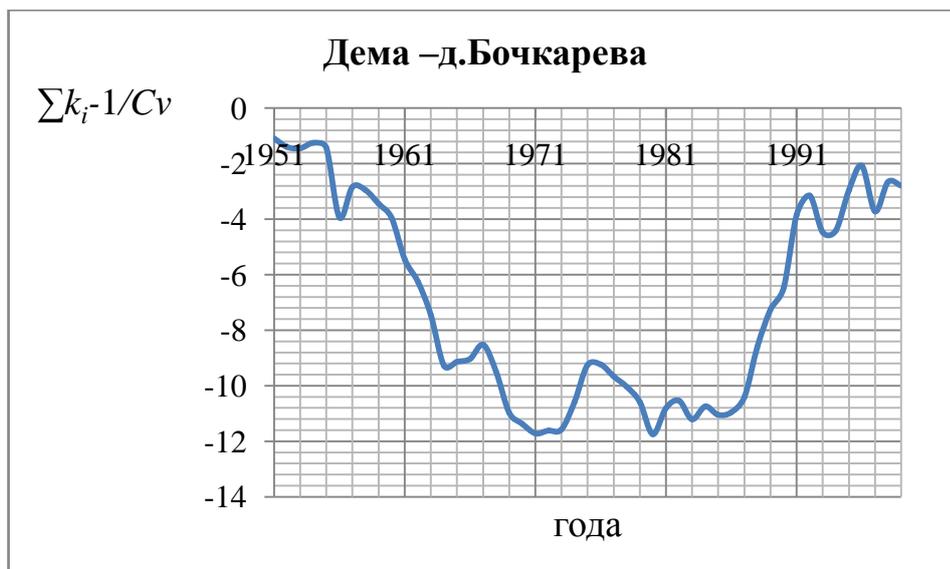


Рисунок Б1.1 9 – Разностно-интегральная кривая для станции  
Дема –д. Бочкарева



Рисунок Б1.1 10 – Разностно-интегральная кривая для станции  
Сюнь –с.Миньярово

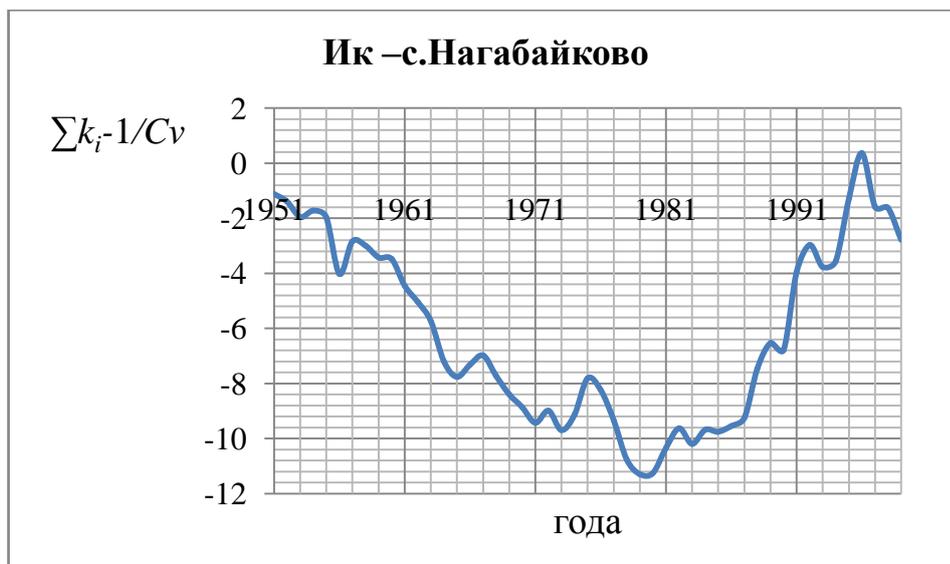


Рисунок Б1.1 11 – Разностно-интегральная кривая для станции  
Ик –с. Нагабайково

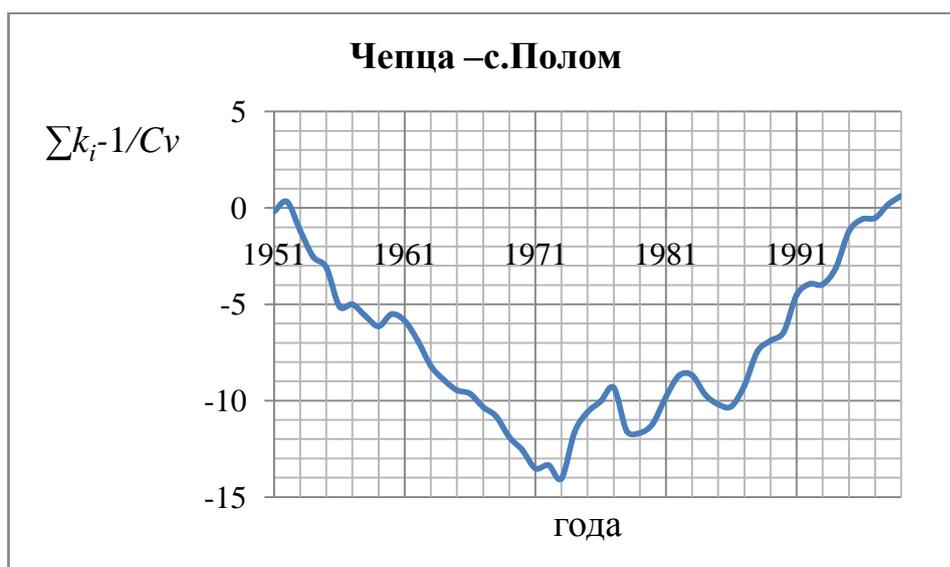


Рисунок Б1.1 12 – Разностно-интегральная кривая для станции  
Чепца –с. Полом

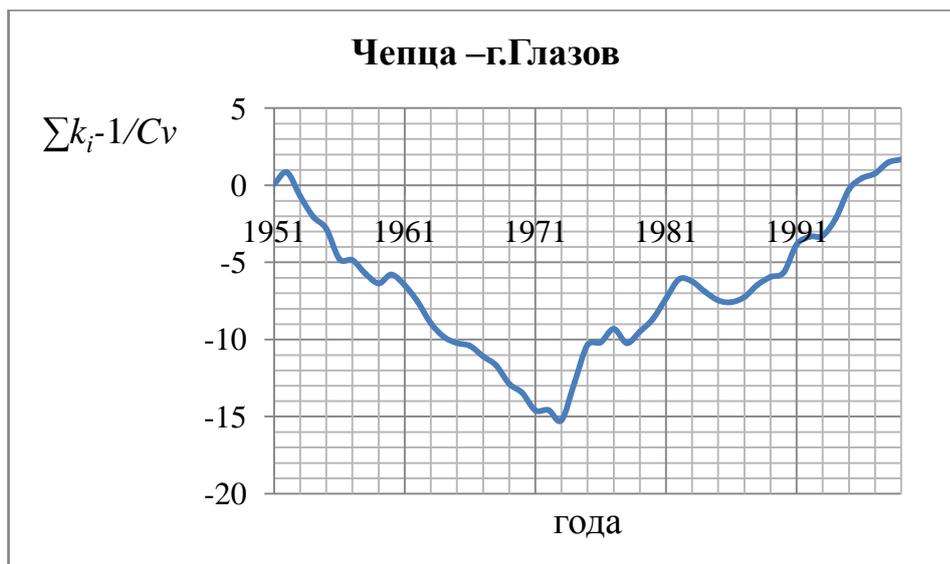


Рисунок Б1.1 13 – Разностно-интегральная кривая для станции  
Чепца–п. Глазов

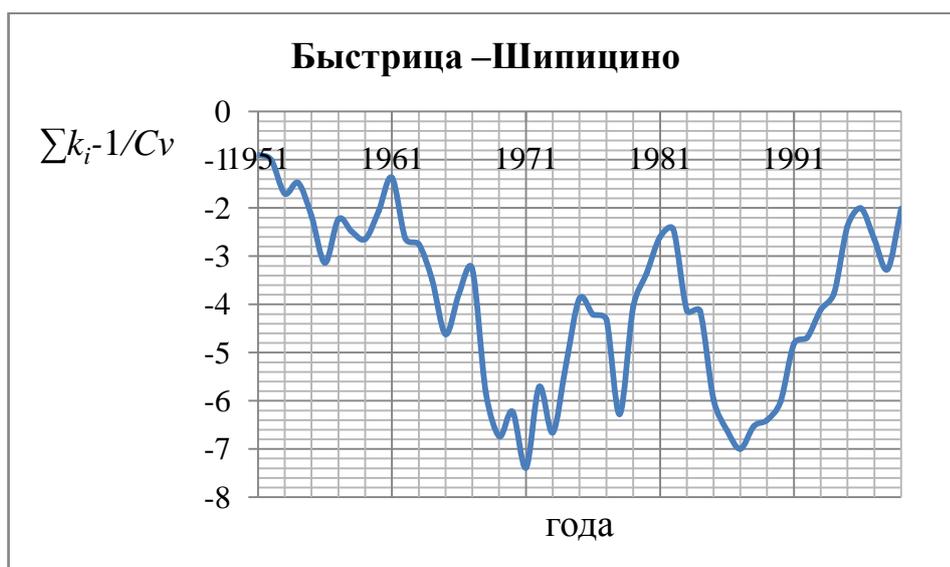


Рисунок Б1.1 14 – Разностно-интегральная кривая для станции  
Быстрица –Шипицино

## 1.2 Азиатская территория России



Рисунок Б1.2 1 – Разностно-интегральная кривая для станции  
Лямин – факт. Горшково

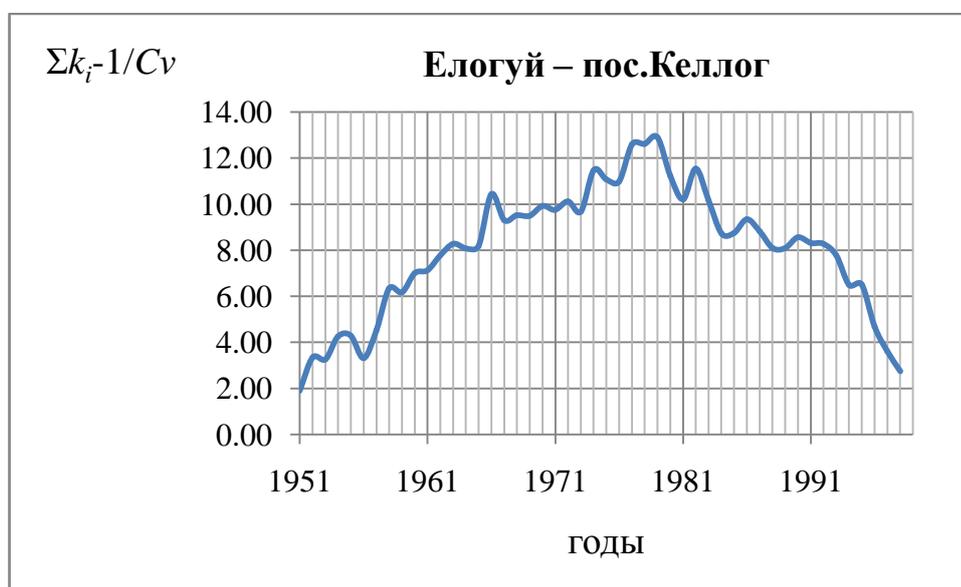


Рисунок Б1.2 2 – Разностно-интегральная кривая для станции  
Елогуй – пос. Келлог



Рисунок Б1.2 3 – Разностно-интегральная кривая для станции  
Кас–пос. Александровский шлюз



Рисунок Б1.2 4 – Разностно-интегральная кривая для станции  
Абакан–г. Абаза



Рисунок Б1.2 5 – Разностно-интегральная кривая для станции  
Мана–пос. Манский

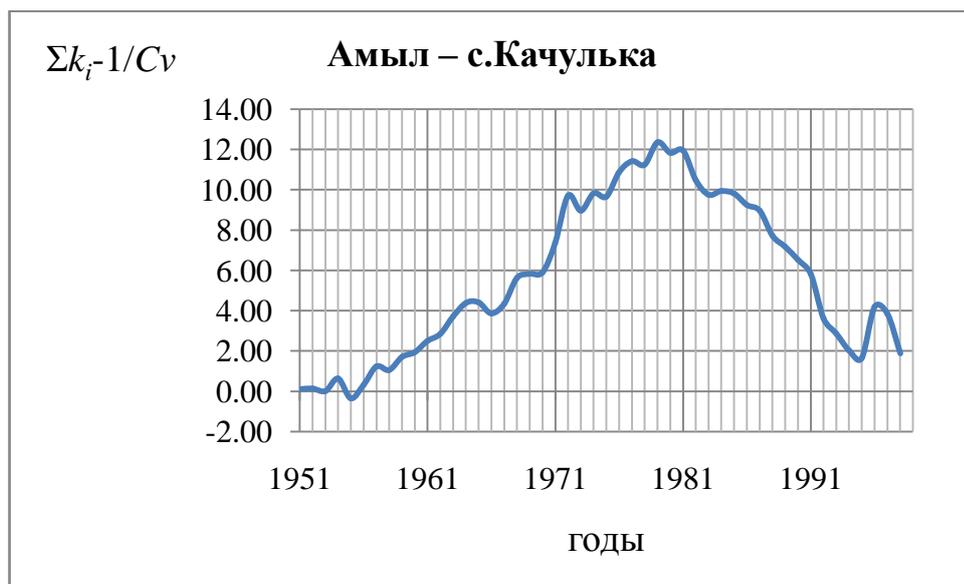


Рисунок Б1.2 6 – Разностно-интегральная кривая для станции  
Амыл–с.Качулька

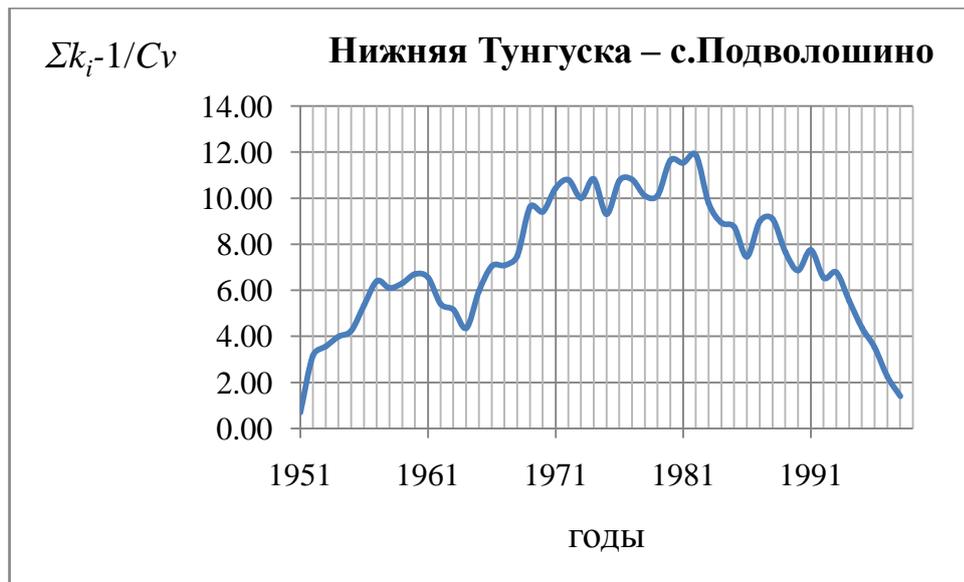


Рисунок Б1.2 7 – Разностно-интегральная кривая для станции  
Нижняя Тунгуска–с. Подволошино

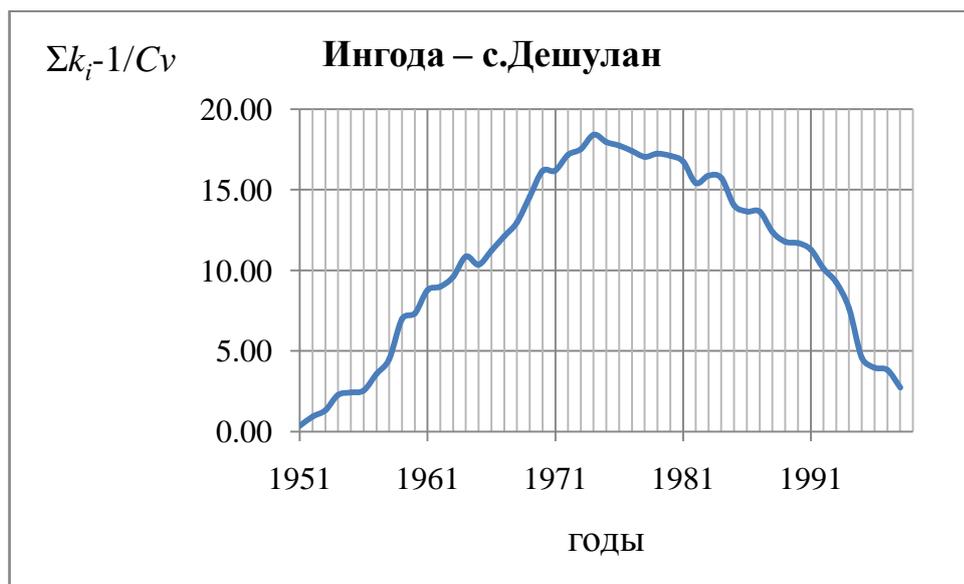


Рисунок Б1.2 8 – Разностно-интегральная кривая для станции  
Ингода–с. Дешулан



Рисунок Б1.2 9 – Разностно-интегральная кривая для станции  
Онон–с. Бытэв



Рисунок Б1.2 10 – Разностно-интегральная кривая для станции  
Унда–с. Новоиваново

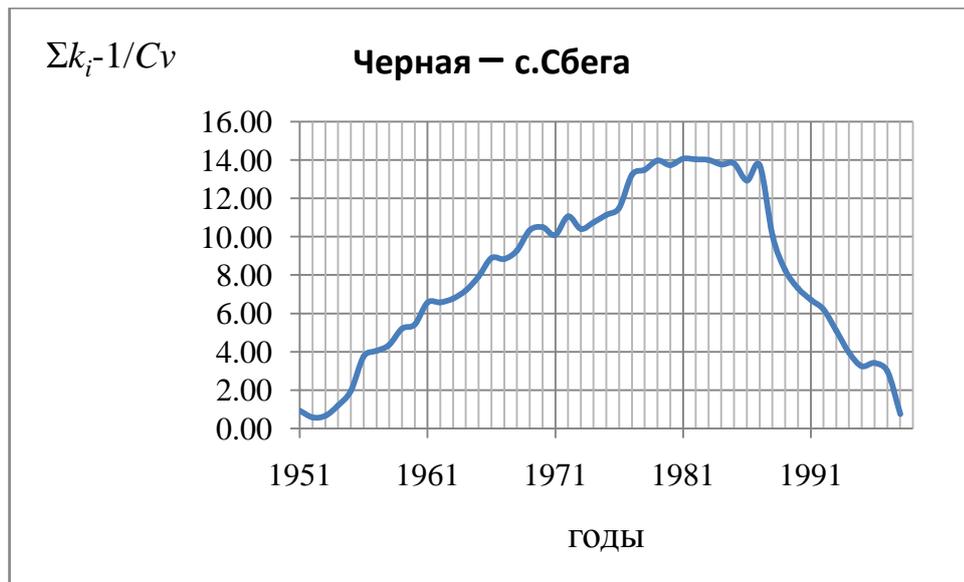


Рисунок Б1.2 11 – Разностно-интегральная кривая для станции  
Черная – с. Сбега



Рисунок Б1.2 12 – Разностно-интегральная кривая для станции  
Ивановка – с. Ивановка



Рисунок Б1.2 13 – Разностно-интегральная кривая для станции Ток – пр-к Николаевский

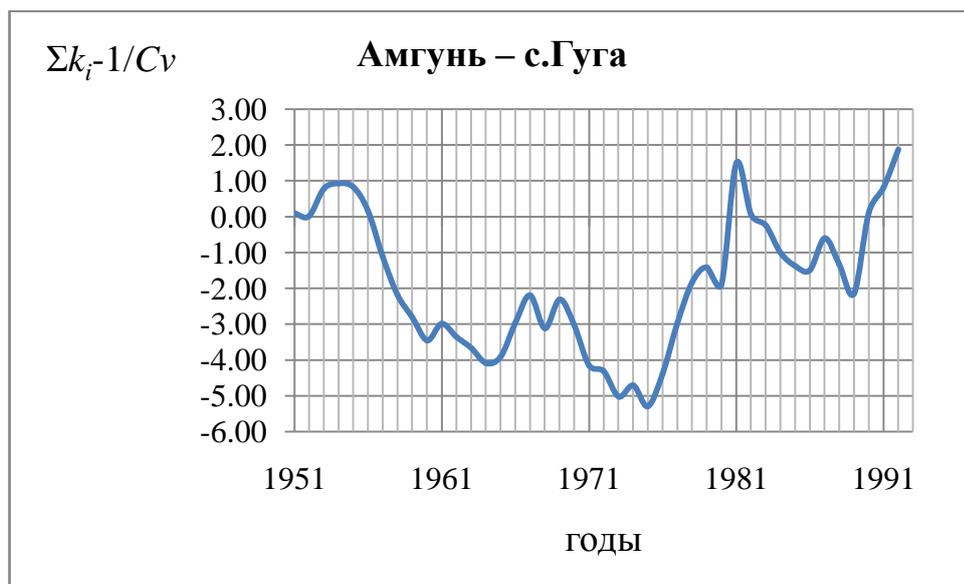


Рисунок Б1.2 14 – Разностно-интегральная кривая для станции Амгунь– с. Гуга



Рисунок Б1.2 15 – Разностно-интегральная кривая для станции  
Нимелен – г. Тимченко

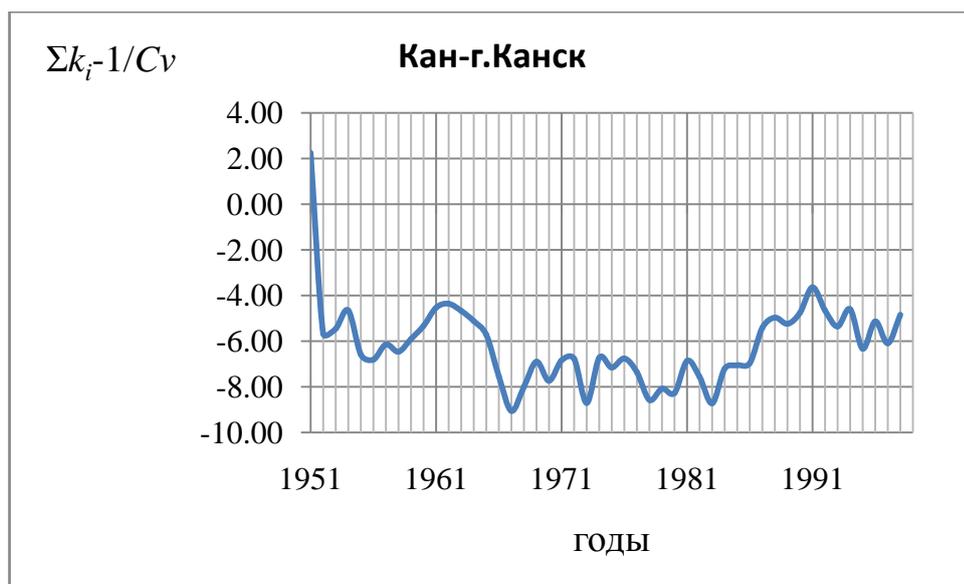


Рисунок Б1.2 16 – Разностно-интегральная кривая для станции  
Кан– г. Канск

Приложение В – Зависимость среднего значения  $m_1$  и коэффициента вариации  $Cv$  от продолжительности ряда  $n$ .

1.1.1 Зависимость среднего значения  $m_1$  от продолжительности ряда  $n$  ЕТР.

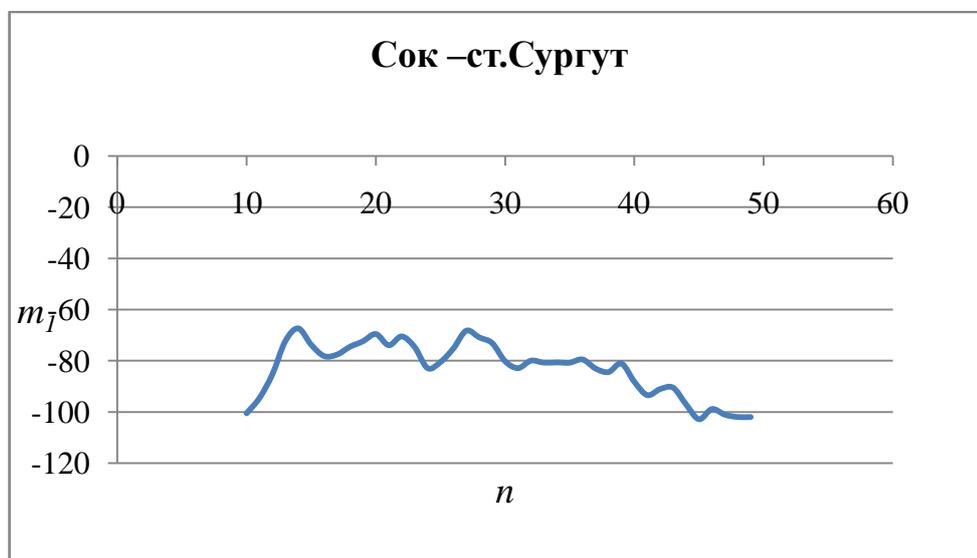


Рисунок В1.1.1 1 – Зависимость среднего значения  $m_1$  от продолжительности ряда  $n$  для станции Сок – ст. Сургут

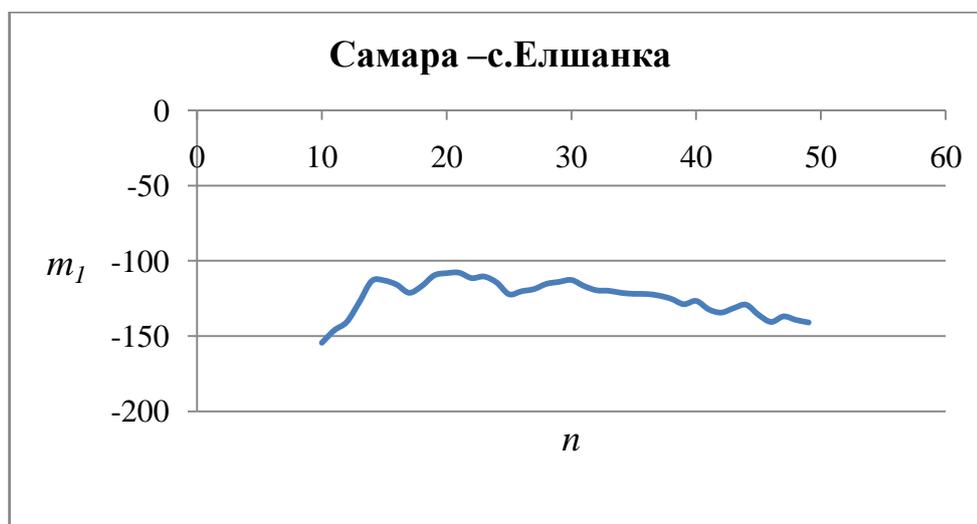


Рисунок В1.1.1 2 – Зависимость среднего значения  $m_1$  от продолжительности ряда  $n$  для станции Самара – с. Елшанка



Рисунок В1.1.1 3 – Зависимость среднего значения  $m_1$  от продолжительности ряда  $n$  для станции Большой Кинель– п. Тимошево

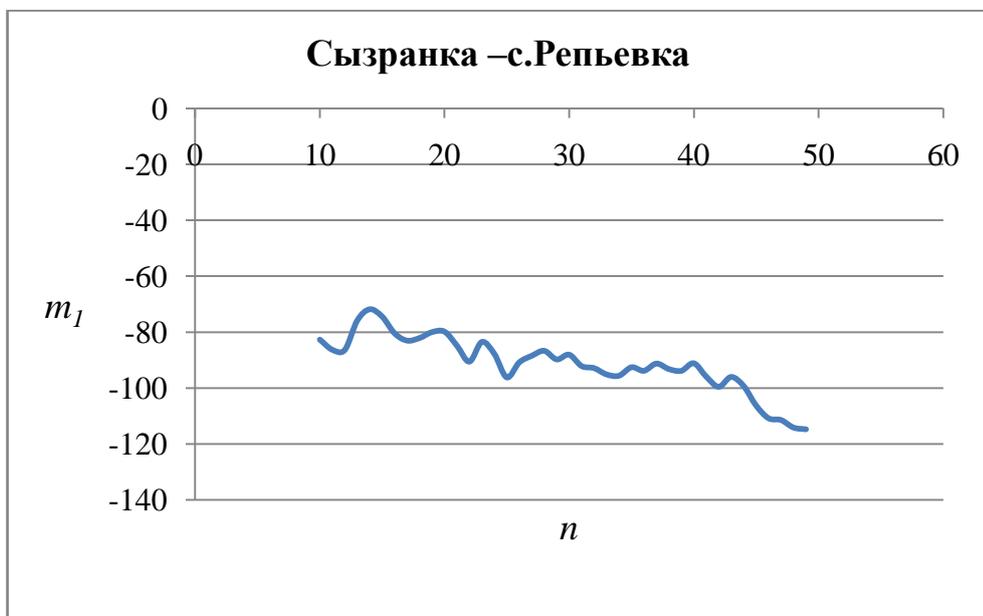


Рисунок В1.1.1 4 – Зависимость среднего значения  $m_1$  от продолжительности ряда  $n$  для станции Сызранка– с. Репьевка

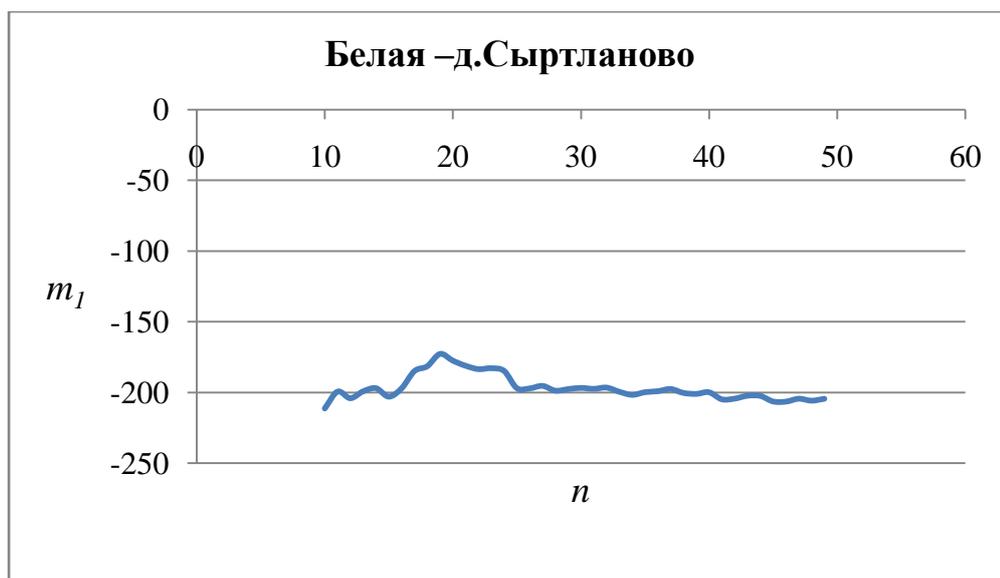


Рисунок В1.1.1 5 – Зависимость среднего значения  $m_1$  от продолжительности ряда  $n$  для станции Белая – д. Сыртланово

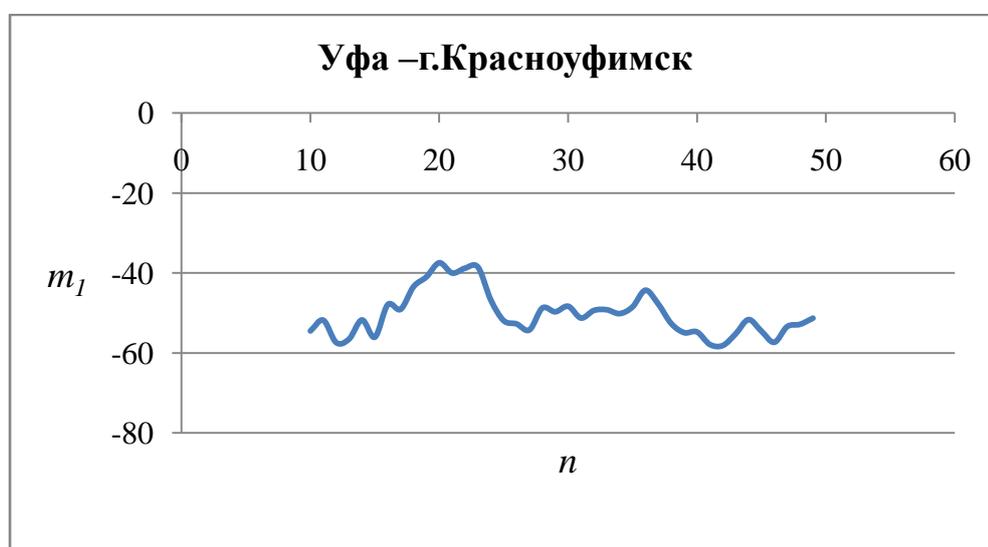


Рисунок В1.1.1 6 – Зависимость среднего значения  $m_1$  от продолжительности ряда  $n$  для станции Уфа – г.Красноуфимск

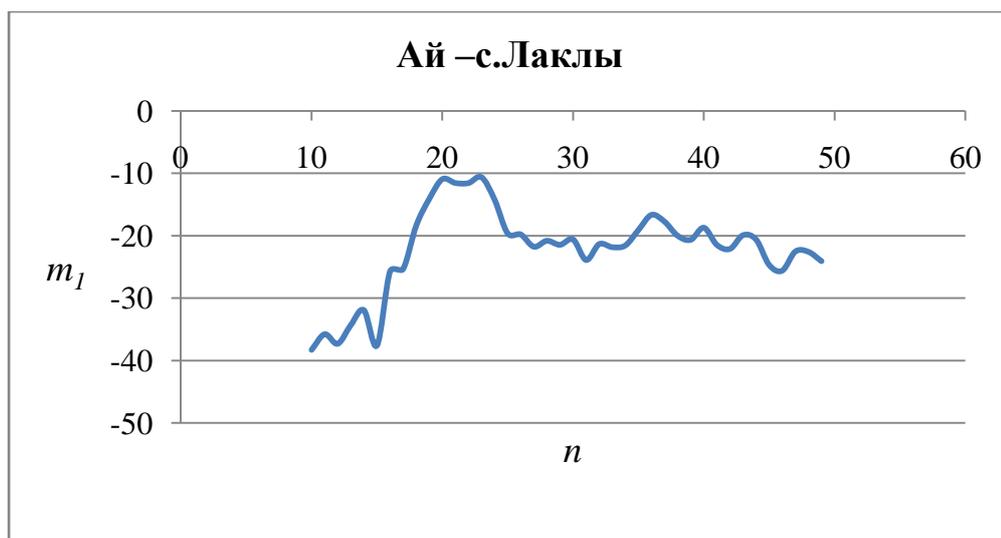


Рисунок В1.1.1 7 – Зависимость среднего значения  $m_1$  от продолжительности ряда  $n$  для станции Ай – с. Лаклы

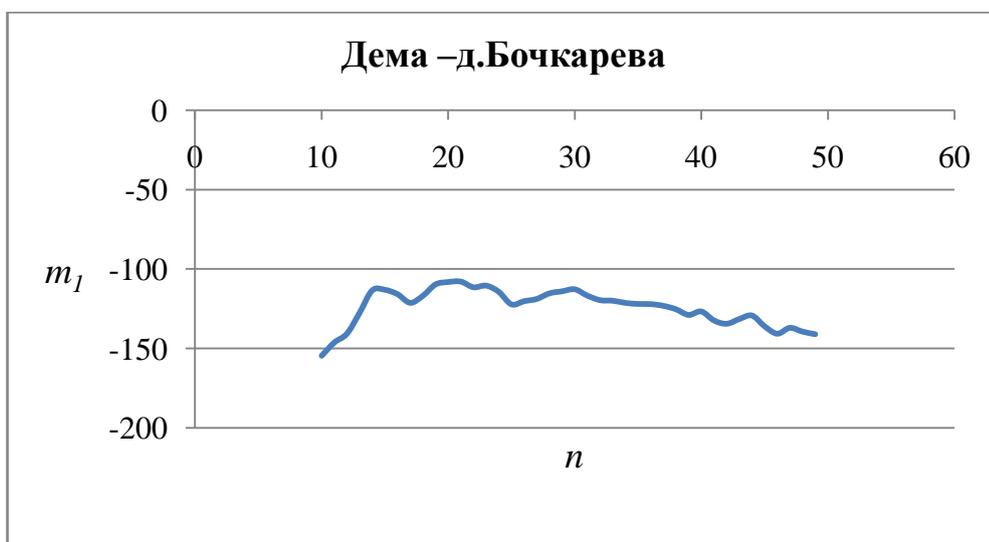


Рисунок В1.1.1 8 – Зависимость среднего значения  $m_1$  от продолжительности ряда  $n$  для станции Дема – д. Бочкарева

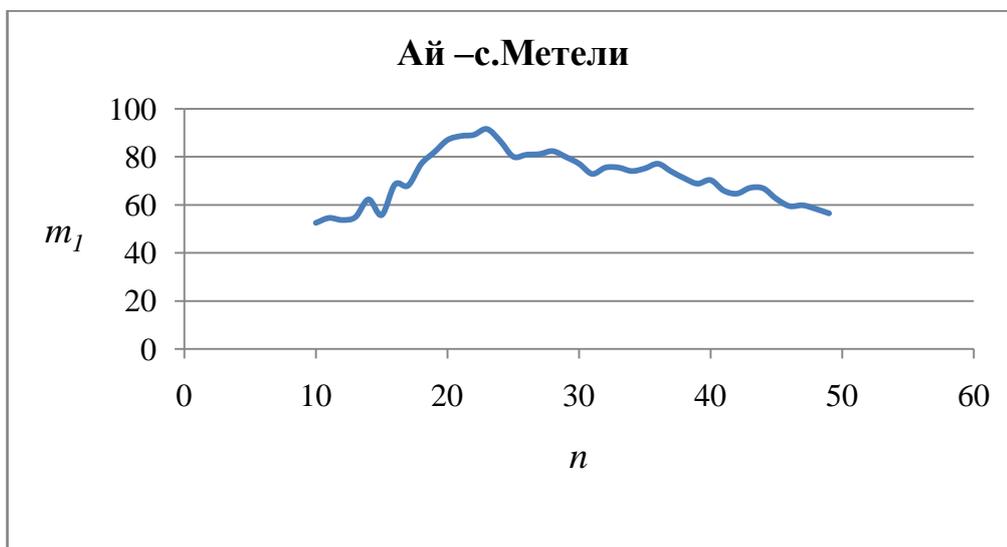


Рисунок В1.1.1 9 – Зависимость среднего значения  $m_1$  от продолжительности ряда  $n$  для станции Сок – ст. Сургут



Рисунок В1.1.1 10 – Зависимость среднего значения  $m_1$  от продолжительности ряда  $n$  для станции Сюнь – с.Миньярово

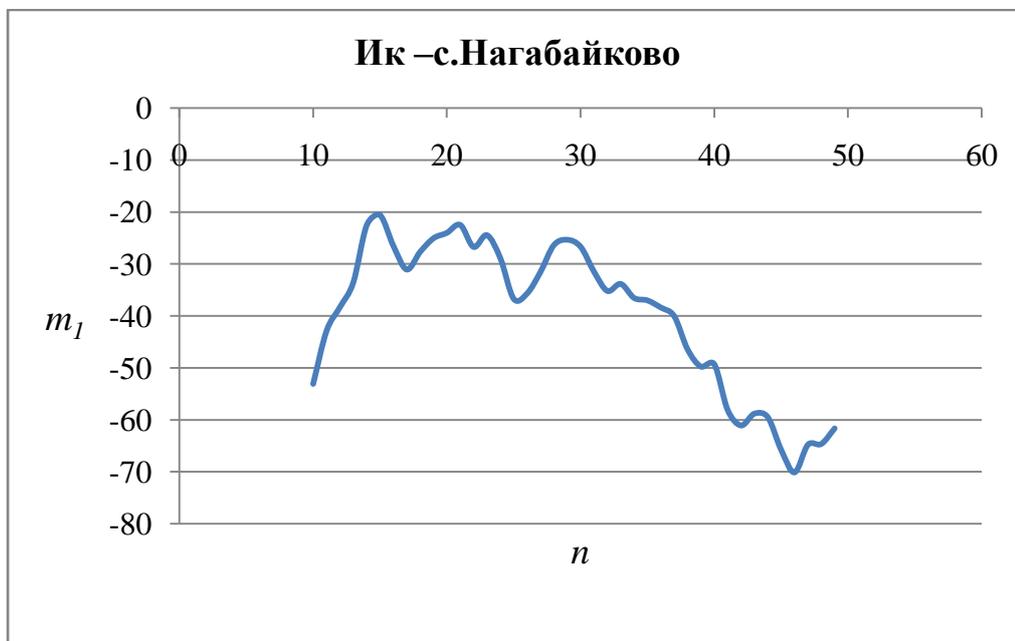


Рисунок В1.1.1 11 – Зависимость среднего значения  $m_1$  от продолжительности ряда  $n$  для станции Ик – с. Нагабайково

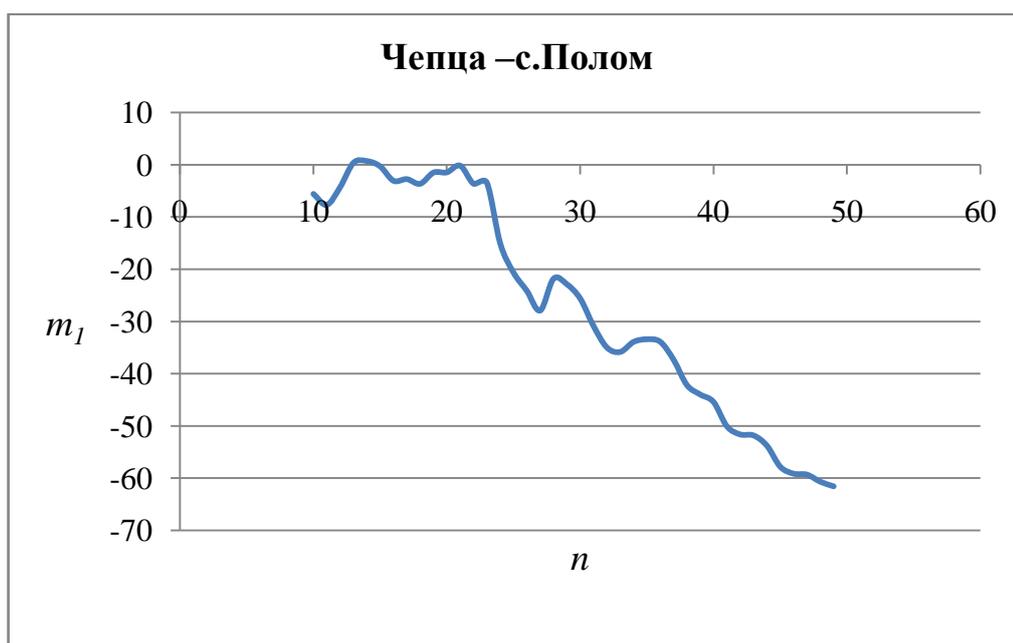


Рисунок В1.1.1 12 – Зависимость среднего значения  $m_1$  от продолжительности ряда  $n$  для станции Чепца – с. Полом

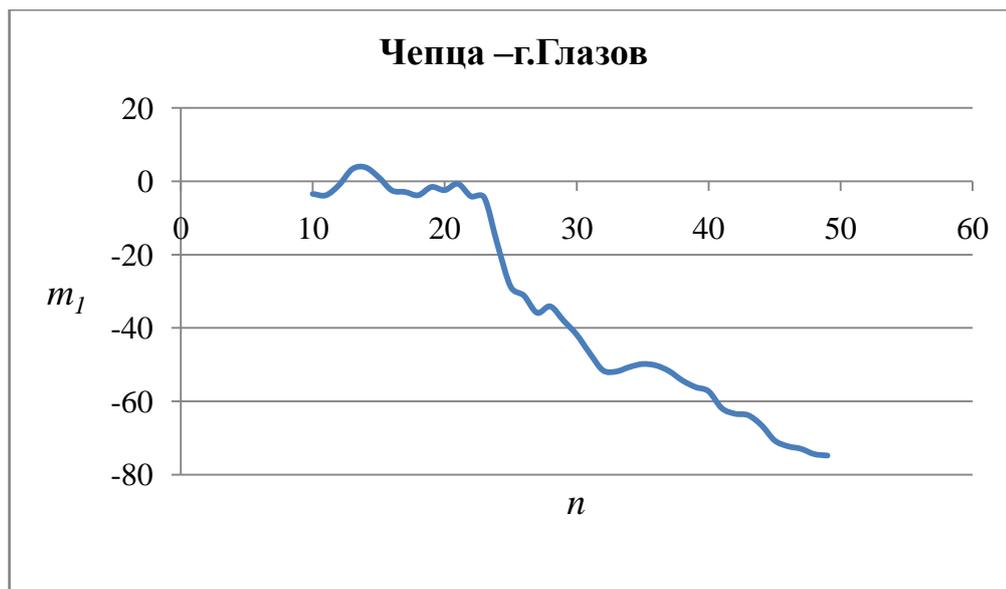


Рисунок В1.1.1 13 – Зависимость среднего значения  $m_1$  от продолжительности ряда  $n$  для станции Чепца – г. Глазов



Рисунок В1.1.1 14 – Зависимость среднего значения  $m_1$  от продолжительности ряда  $n$  для станции Быстрица – Шипицино

1.1.2 Зависимость среднего значения  $m_1$  от продолжительности ряда  $n$  АТР.

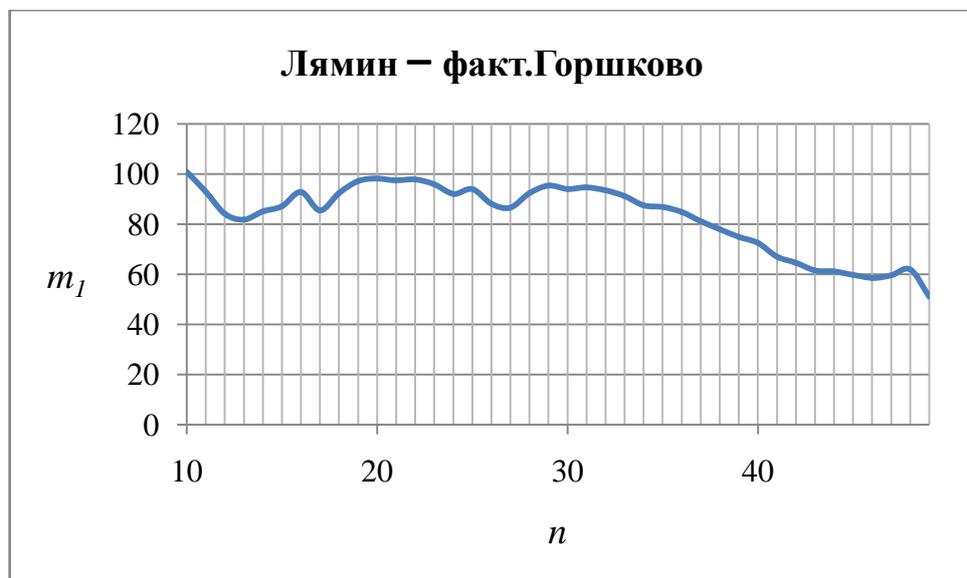


Рисунок В1.1.2 1 – Зависимость среднего значения  $m_1$  от продолжительности ряда  $n$  для станции Сок – ст. Сургут



Рисунок В1.1.2 2 – Зависимость среднего значения  $m_1$  от продолжительности ряда  $n$  для станции Елогуй – пос. Келлог



Рисунок В1.1.2 3 – Зависимость среднего значения  $m_1$  от продолжительности ряда  $n$  для станции Кас – пос. Александровский шлюз

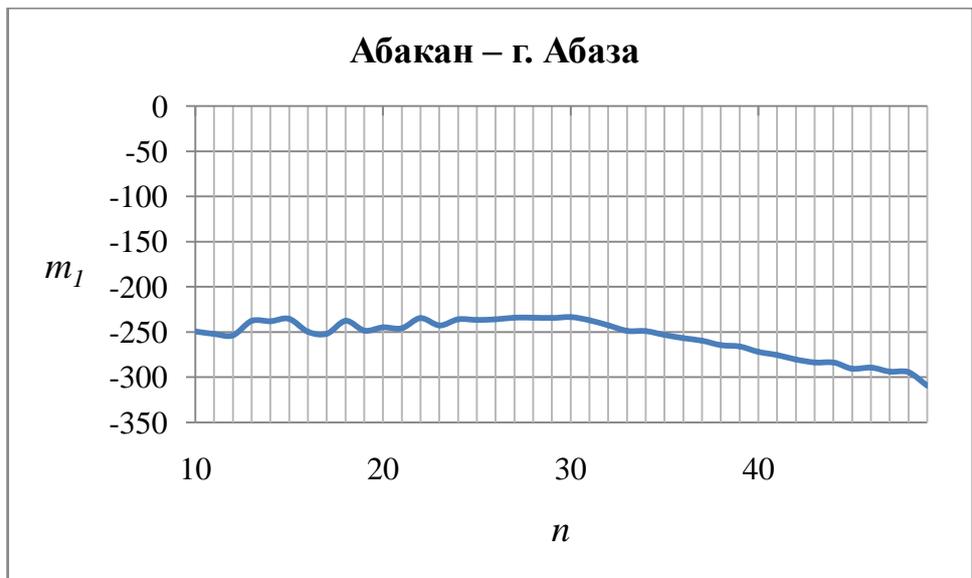


Рисунок В1.1.2 4 – Зависимость среднего значения  $m_1$  от продолжительности ряда  $n$  для станции Абакан – г. Абаза

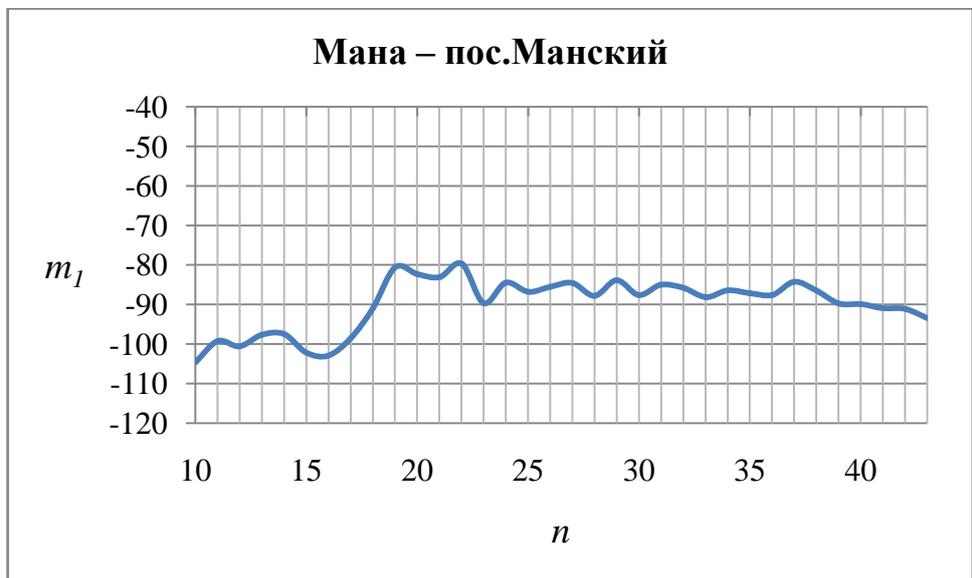


Рисунок В1.1.2 5– Зависимость среднего значения  $m_1$  от продолжительности ряда  $n$  для станции Мана – пос. Манский

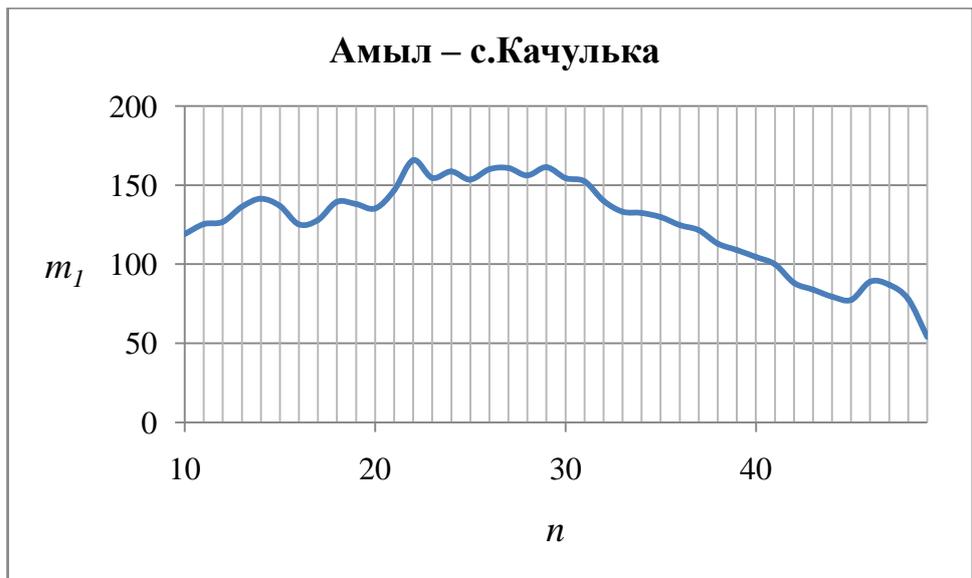


Рисунок В1.1.2 6 – Зависимость среднего значения  $m_1$  от продолжительности ряда  $n$  для станции Амыл – с.Качулька

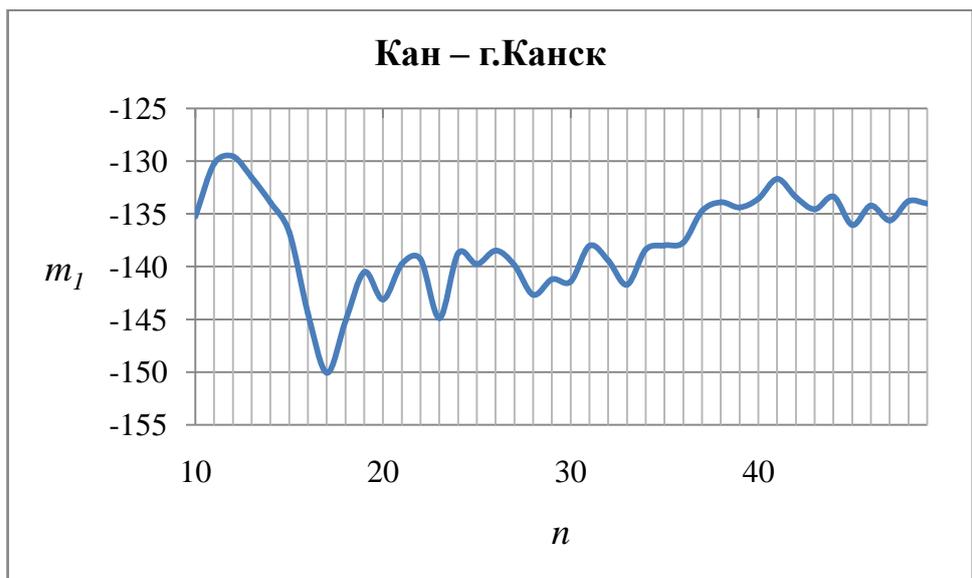


Рисунок В1.1.2 7– Зависимость среднего значения  $m_1$  от продолжительности ряда  $n$  для станции Кан – г.Канск



Рисунок В1.1.2 8 – Зависимость среднего значения  $m_1$  от продолжительности ряда  $n$  для станции Нижняя Тунгуска – с. Подволошино

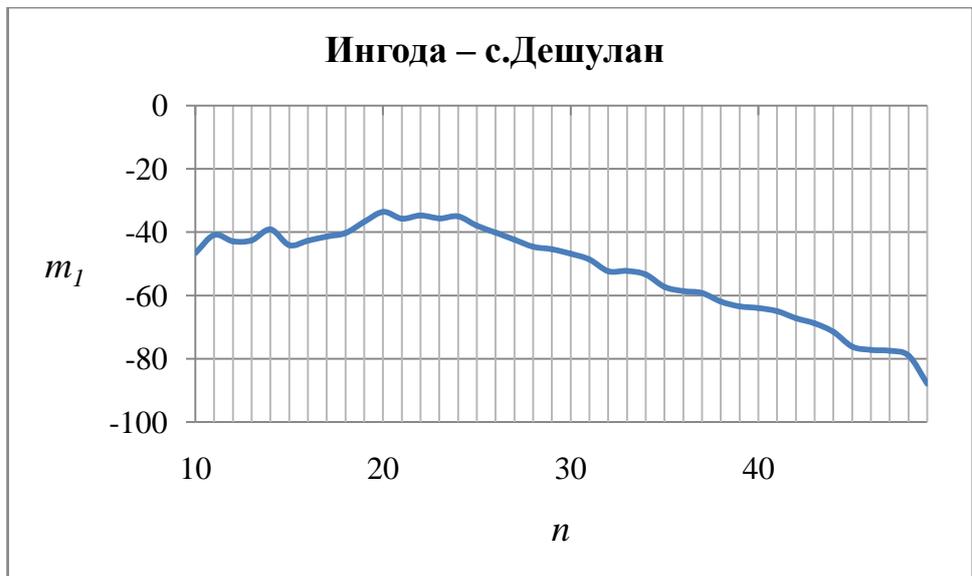


Рисунок В1.1.2 9 – Зависимость среднего значения  $m_1$  от продолжительности ряда  $n$  для станции Ингода –с. Дешулан

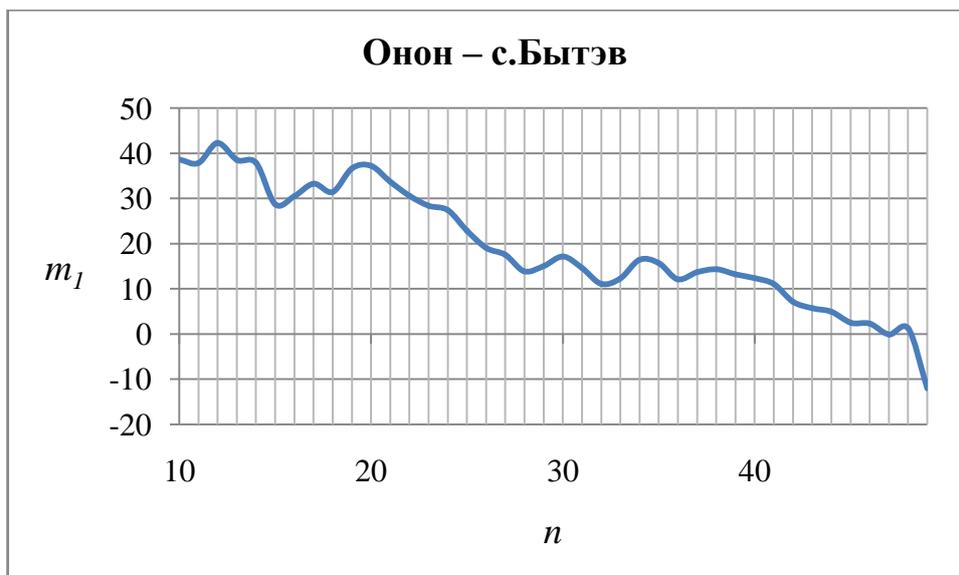


Рисунок В1.1.2 10 – Зависимость среднего значения  $m_1$  от продолжительности ряда  $n$  для станции Онон –с. Бытэв



Рисунок В1.1.2 11 – Зависимость среднего значения  $m_1$  от продолжительности ряда  $n$  для станции Унда –с. Новоиваново

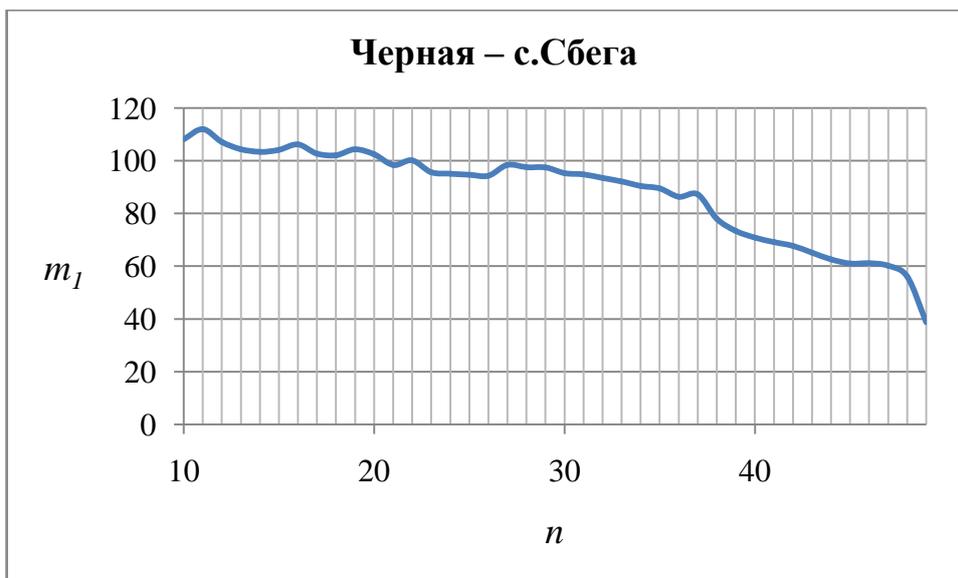


Рисунок В1.1.2 12 – Зависимость среднего значения  $m_1$  от продолжительности ряда  $n$  для станции Черная–с. Сбега



Рисунок В1.1.2 13 – Зависимость среднего значения  $m_1$  от продолжительности ряда  $n$  для станции Ивановка – с. Ивановка



Рисунок В1.1.2 14 – Зависимость среднего значения  $m_1$  от продолжительности ряда  $n$  для станции Ток– пр-к Николаевский

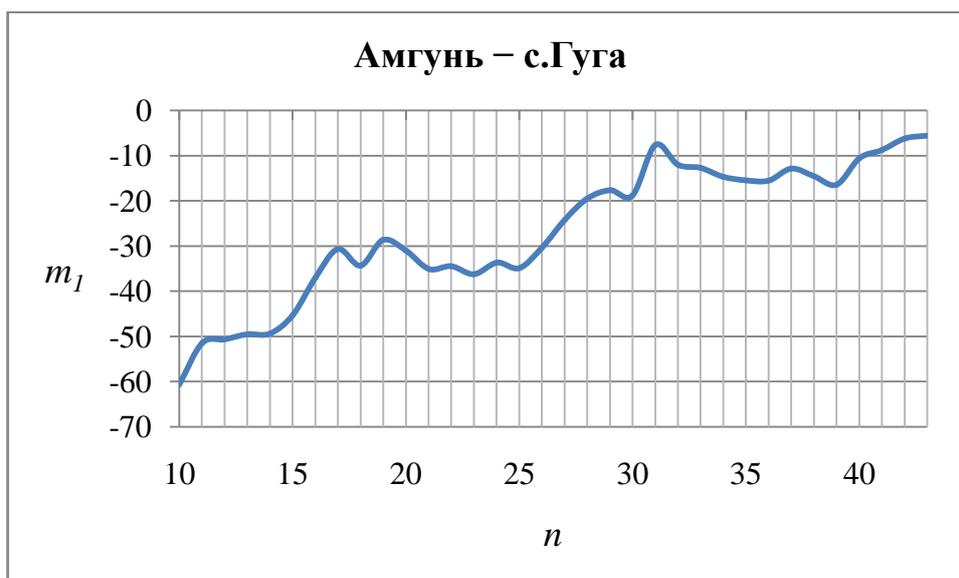


Рисунок В1.1.2 15 – Зависимость среднего значения  $m_1$  от продолжительности ряда  $n$  для станции Амгунь –с. Гуга



Рисунок В1.1.2 16 – Зависимость среднего значения  $m_1$  от продолжительности ряда  $n$  для станции Нимелен – г. Тимченко

1.2.1 Зависимость среднего значения коэффициента вариации  $C_v$  от продолжительности ряда  $n$  ЕТР.

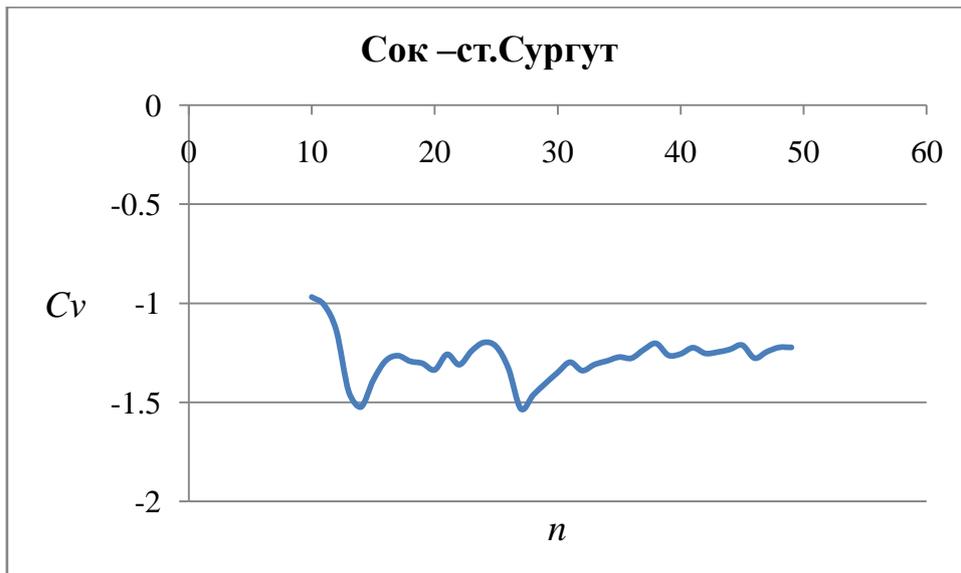


Рисунок В1.2.1 1 – Зависимость среднего значения коэффициента вариации  $C_v$  от продолжительности ряда  $n$  для станции Сок– ст.Сургут

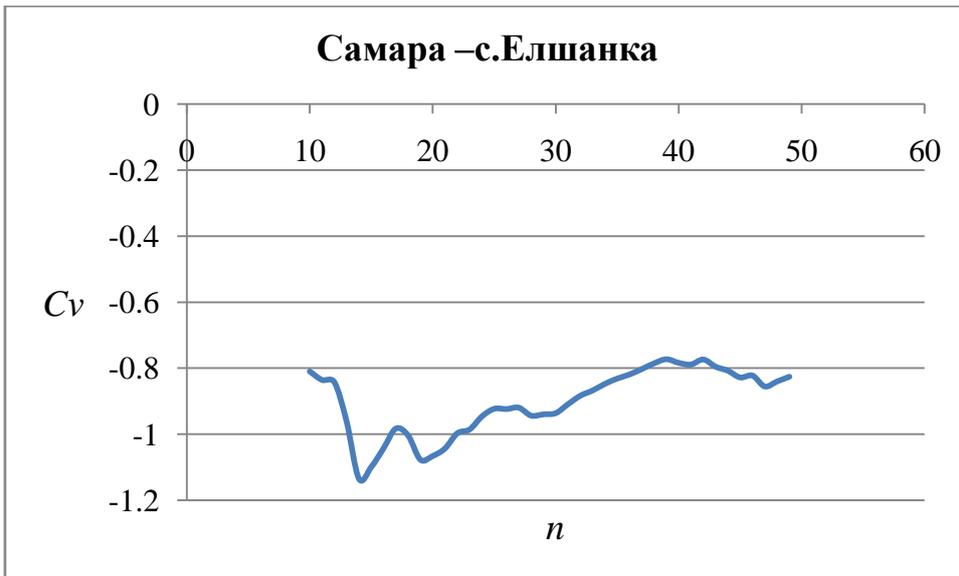


Рисунок В1.2.1 2 – Зависимость среднего значения коэффициента вариации  $C_v$  от продолжительности ряда  $n$  для станции Самара– с.Елшанка

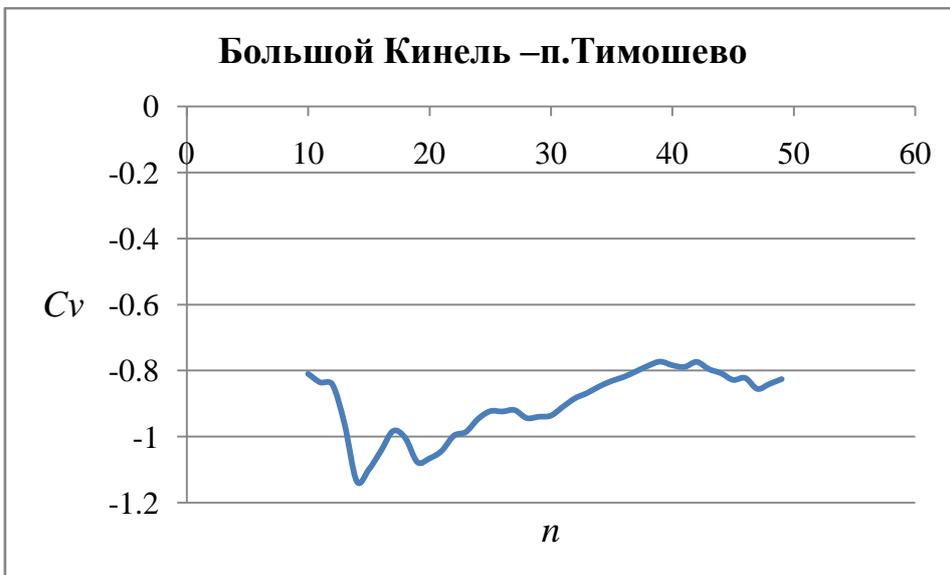


Рисунок В1.2.1 3 – Зависимость среднего значения коэффициента вариации  $C_v$  от продолжительности ряда  $n$  для станции Большой Кинель– п.Тимошево

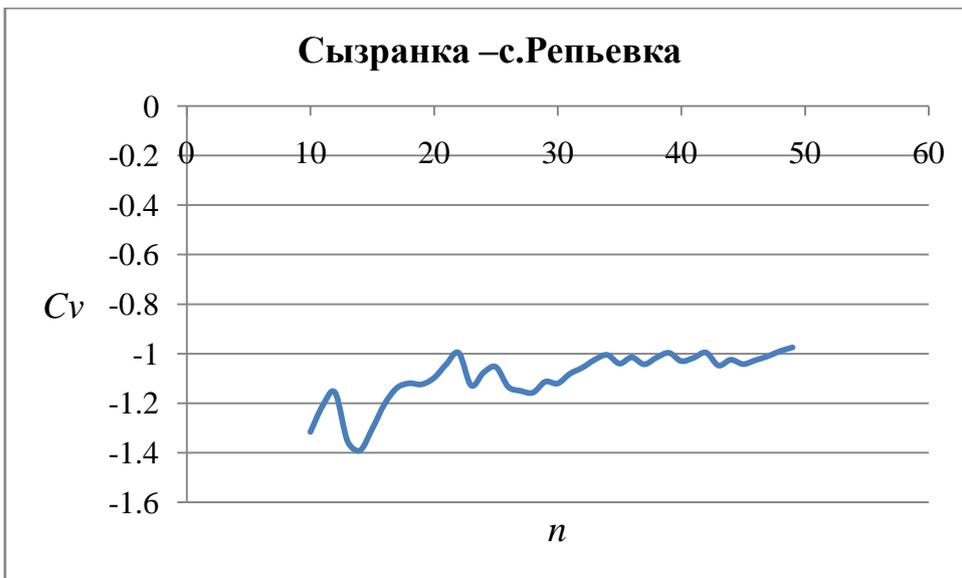


Рисунок В1.2.1 4 – Зависимость среднего значения коэффициента вариации  $C_v$  от продолжительности ряда  $n$  для станции Сызранка– с.Репьевка

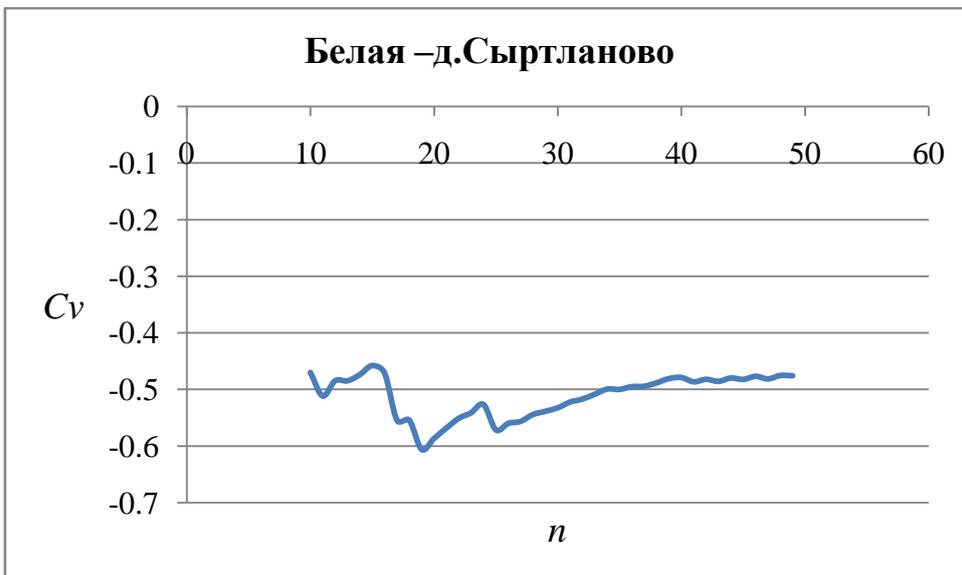


Рисунок В1.2.1 5 – Зависимость среднего значения коэффициента вариации  $C_v$  от продолжительности ряда  $n$  для станции Белая– д.Сыртланово



Рисунок В1.2.1 6 – Зависимость среднего значения коэффициента вариации  $C_v$  от продолжительности ряда  $n$  для станции Уфа– г.Красноуфимск

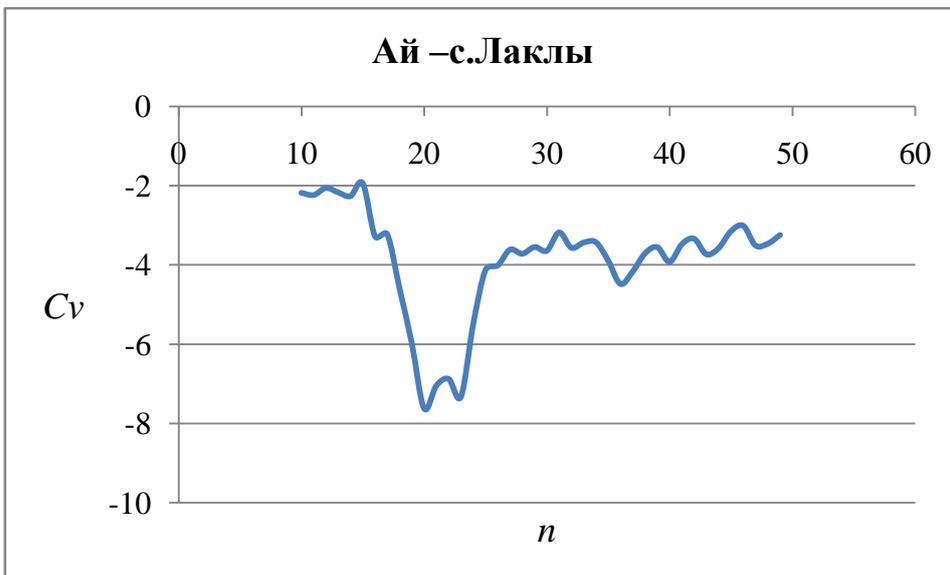


Рисунок В1.2.1 7 – Зависимость среднего значения коэффициента вариации  $C_v$  от продолжительности ряда  $n$  для станции Ай– с.Лаклы

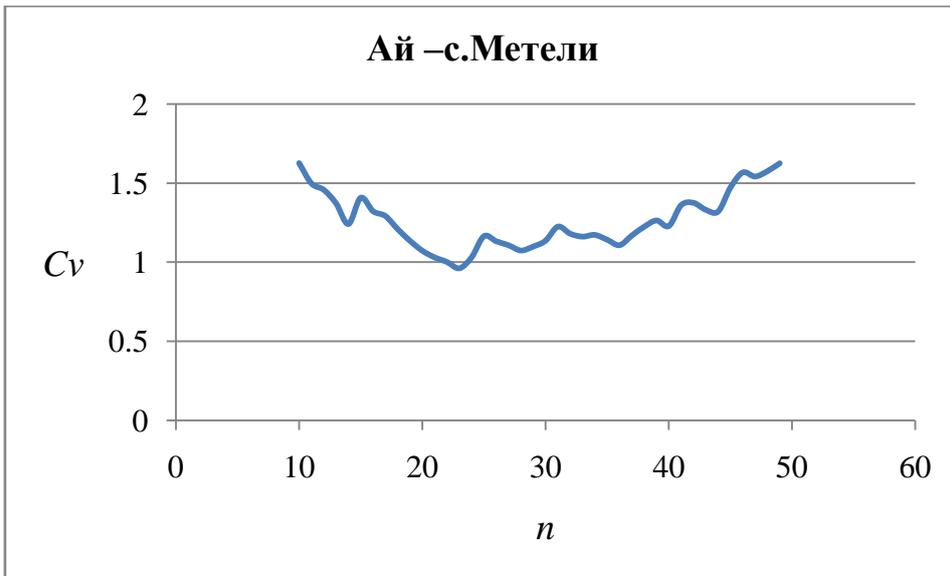


Рисунок В1.2.1 8 – Зависимость среднего значения коэффициента вариации  $C_v$  от продолжительности ряда  $n$  для станции Ай– с.Метели

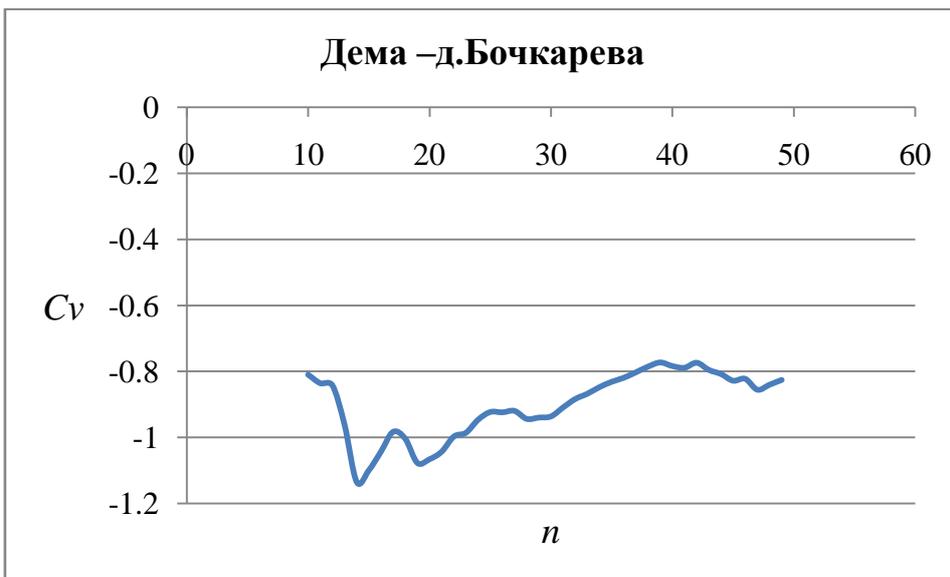


Рисунок В1.2.1 9 – Зависимость среднего значения коэффициента вариации  $C_v$  от продолжительности ряда  $n$  для станции Дема– д.Бочкарева

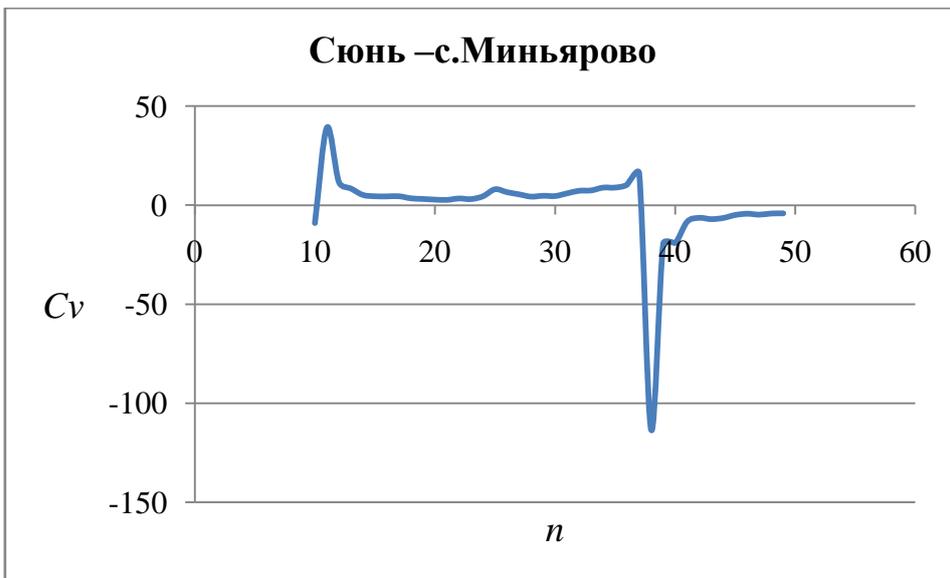


Рисунок В1.2.1 10 – Зависимость среднего значения коэффициента вариации  $C_v$  от продолжительности ряда  $n$  для станции Сюнь– с.Миньярово



Рисунок В1.2.1 11 – Зависимость среднего значения коэффициента вариации  $C_v$  от продолжительности ряда  $n$  для станции Ик– с.Нагабайково

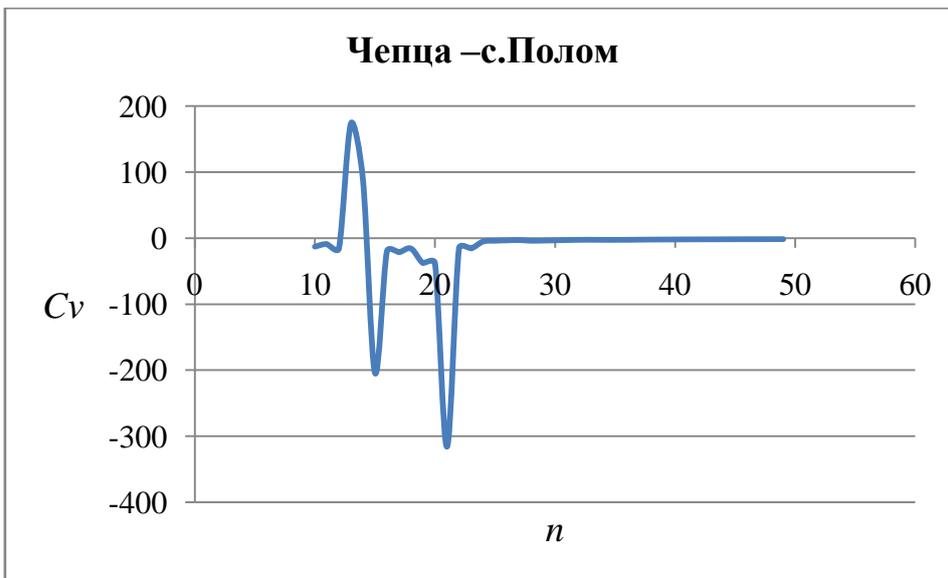


Рисунок В1.2.1 12 – Зависимость среднего значения коэффициента вариации  $C_v$  от продолжительности ряда  $n$  для станции Чепца– с.Полом

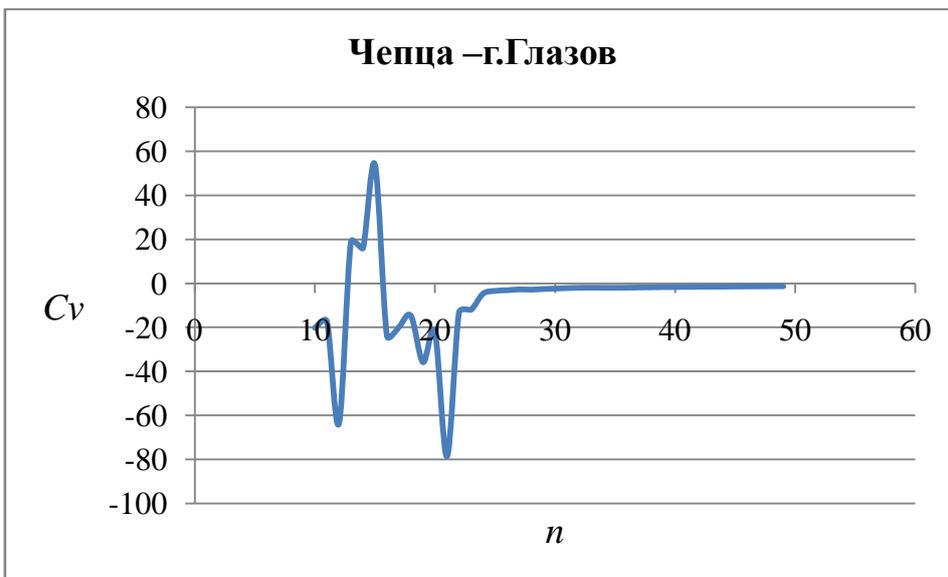


Рисунок В1.2.1 13 – Зависимость среднего значения коэффициента вариации  $C_v$  от продолжительности ряда  $n$  для станции Чепца–г.Глазов

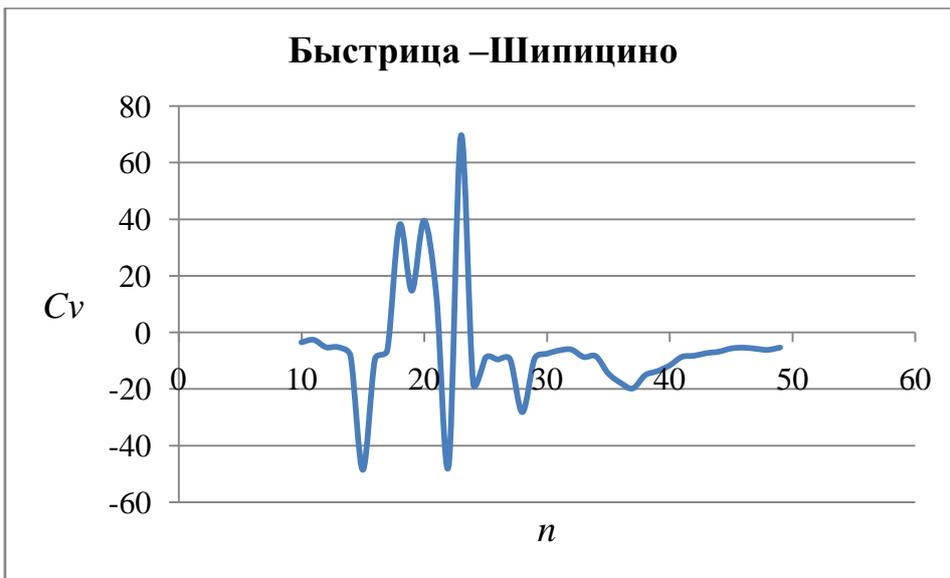


Рисунок В1.2.1 14 – Зависимость среднего значения коэффициента вариации  $C_v$  от продолжительности ряда  $n$  для станции Быстрица– Шипицино

1.2.2 Зависимость среднего значения коэффициента вариации  $C_v$  от продолжительности ряда  $n$  АТР.

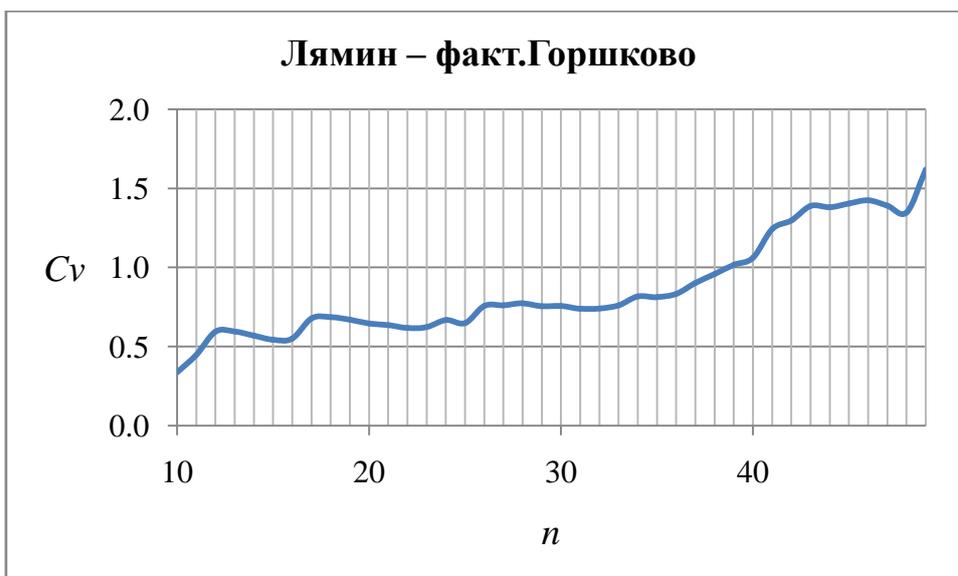


Рисунок В1.2.2 1 – Зависимость среднего значения коэффициента вариации  $C_v$  от продолжительности ряда  $n$  для станции Лямин– факт.Горшково



Рисунок В1.2.2 2 – Зависимость среднего значения коэффициента вариации  $C_v$  от продолжительности ряда  $n$  для станции Елогуй – пос. Келлог



Рисунок В1.2.2 3 – Зависимость среднего значения коэффициента вариации  $C_v$  от продолжительности ряда  $n$  для станции Кас– пос.Александровский шлюз

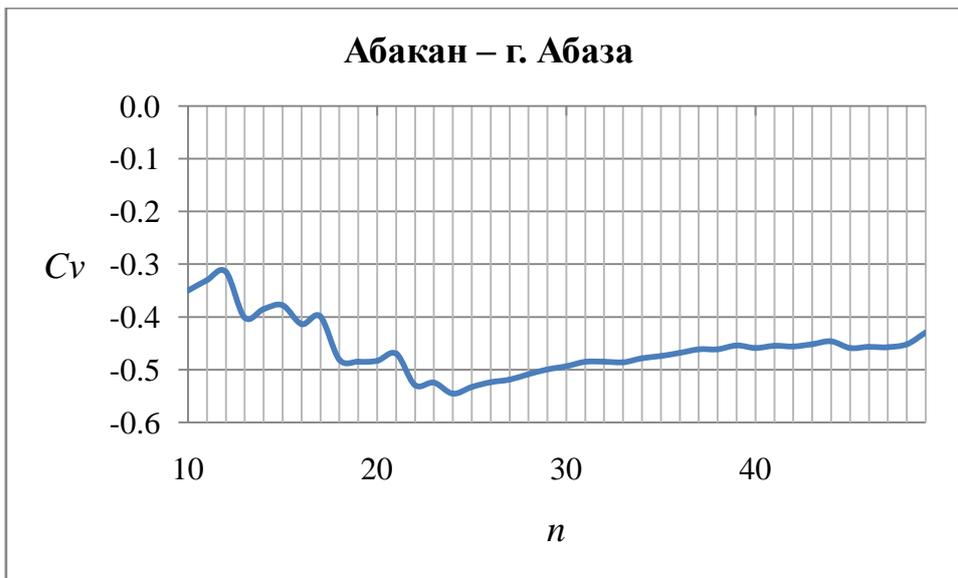


Рисунок В1.2.2 4 – Зависимость среднего значения коэффициента вариации  $Cv$  от продолжительности ряда  $n$  для станции Абакан– г.Абаза

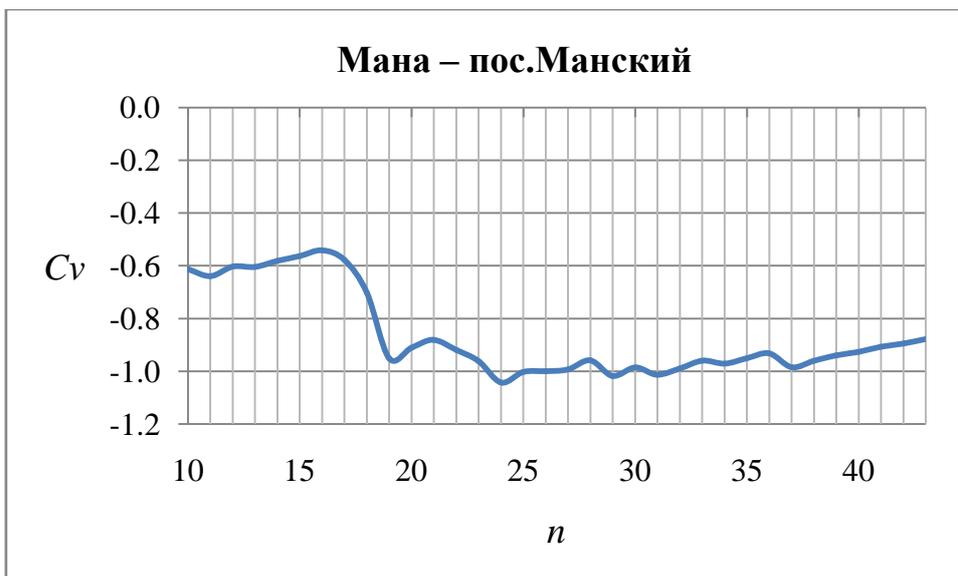


Рисунок В1.2.2 5 – Зависимость среднего значения коэффициента вариации  $Cv$  от продолжительности ряда  $n$  для станции Мана – пос.Манский

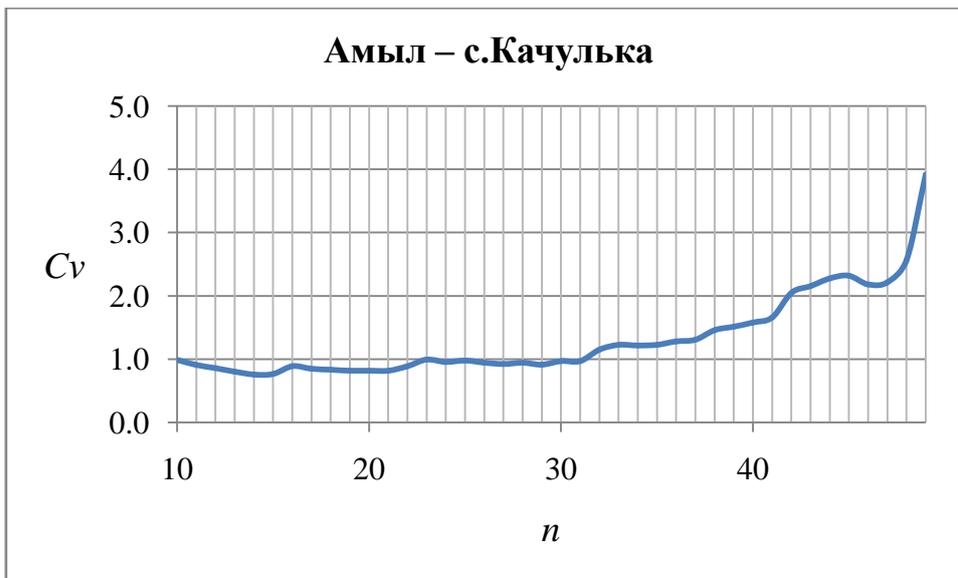


Рисунок В1.2.2 6 – Зависимость среднего значения коэффициента вариации  $C_v$  от продолжительности ряда  $n$  для станции Амыл– с.Качулька

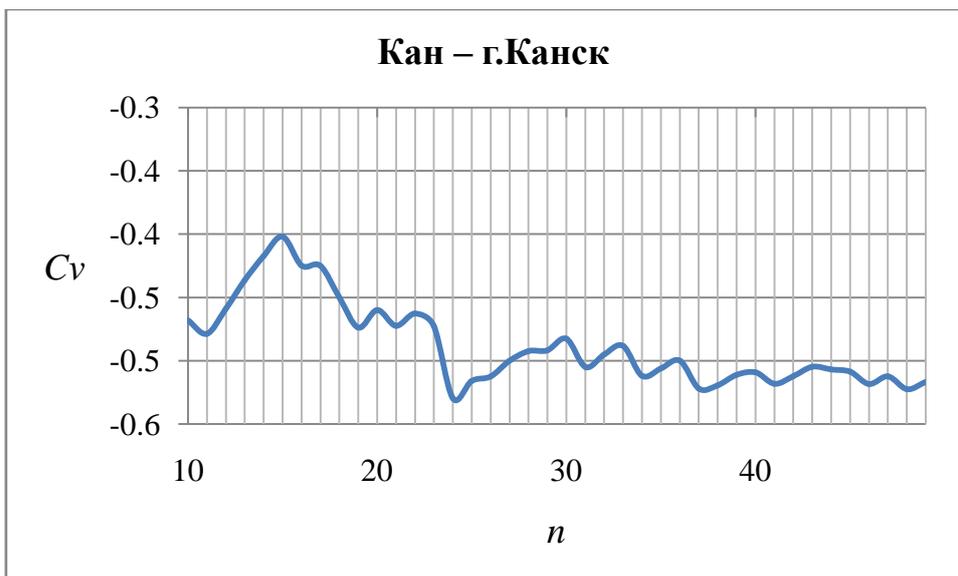


Рисунок В1.2.2 7 – Зависимость среднего значения коэффициента вариации  $C_v$  от продолжительности ряда  $n$  для станции Кан – г.Канск

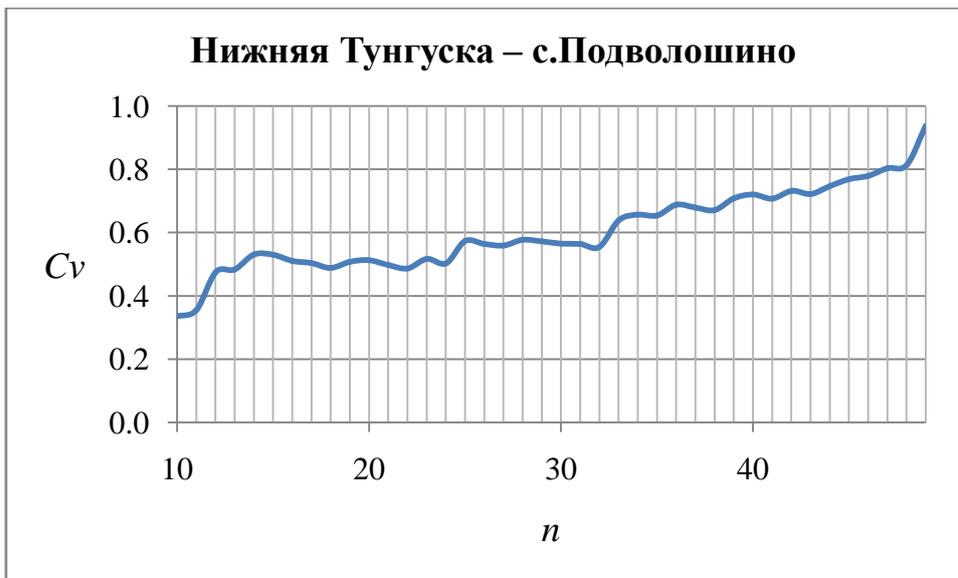


Рисунок В1.2.2 8 – Зависимость среднего значения коэффициента вариации  $C_v$  от продолжительности ряда  $n$  для станции Нижняя Тунгуска– с.Подволошино

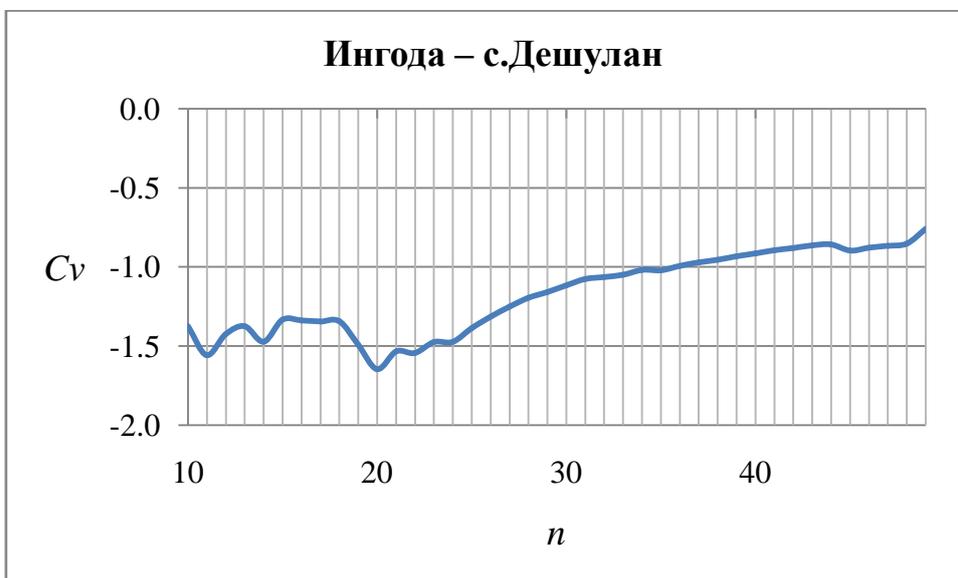


Рисунок В1.2.2 10 – Зависимость среднего значения коэффициента вариации  $C_v$  от продолжительности ряда  $n$  для станции Ингода– с.Дешулан

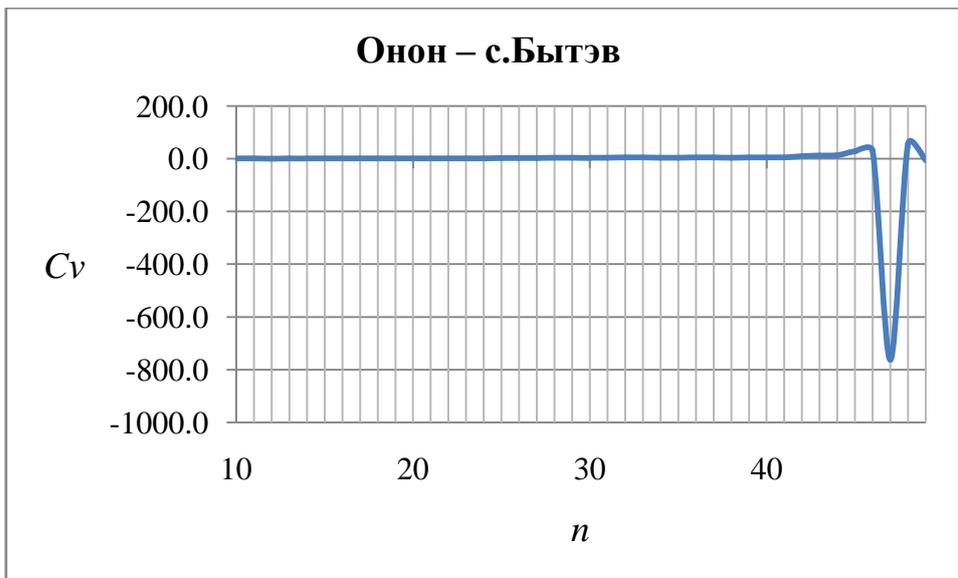


Рисунок В1.2.2 11 – Зависимость среднего значения коэффициента вариации  $C_v$  от продолжительности ряда  $n$  для станции Онон – с.Бытэв

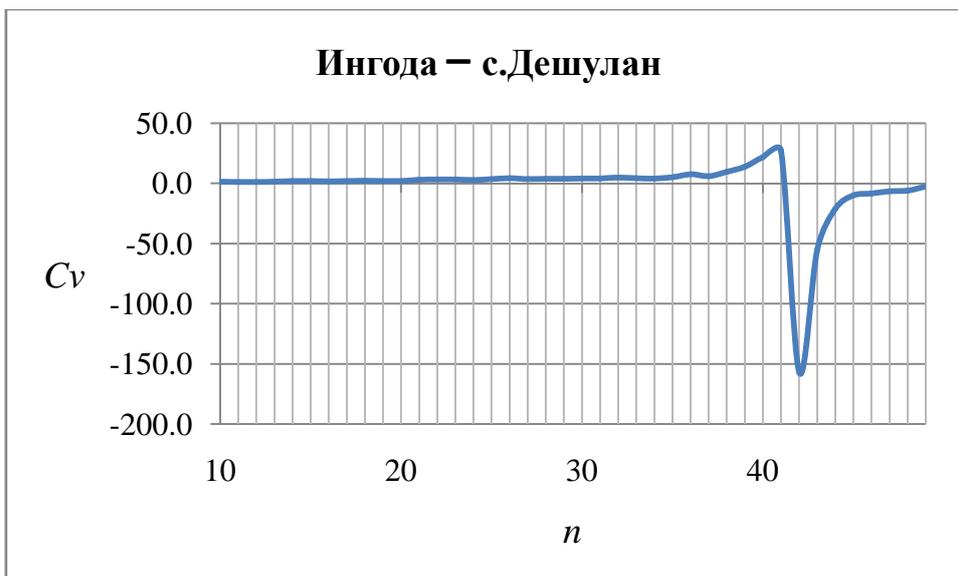


Рисунок В1.2.2 11 – Зависимость среднего значения коэффициента вариации  $C_v$  от продолжительности ряда  $n$  для станции Ингода – с.Дешулан

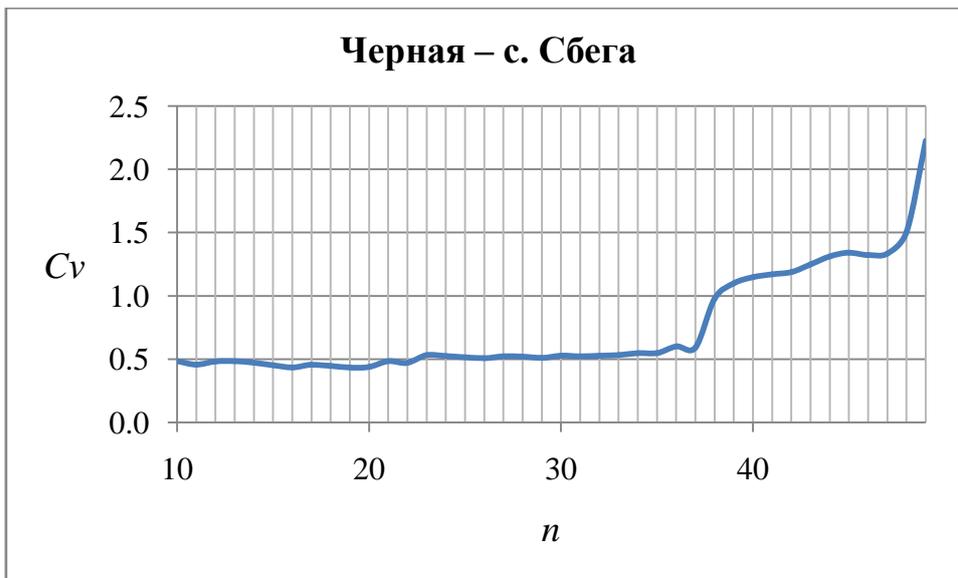


Рисунок В1.2.2 12 – Зависимость среднего значения коэффициента вариации  $C_v$  от продолжительности ряда  $n$  для станции Черная – с.Сбега

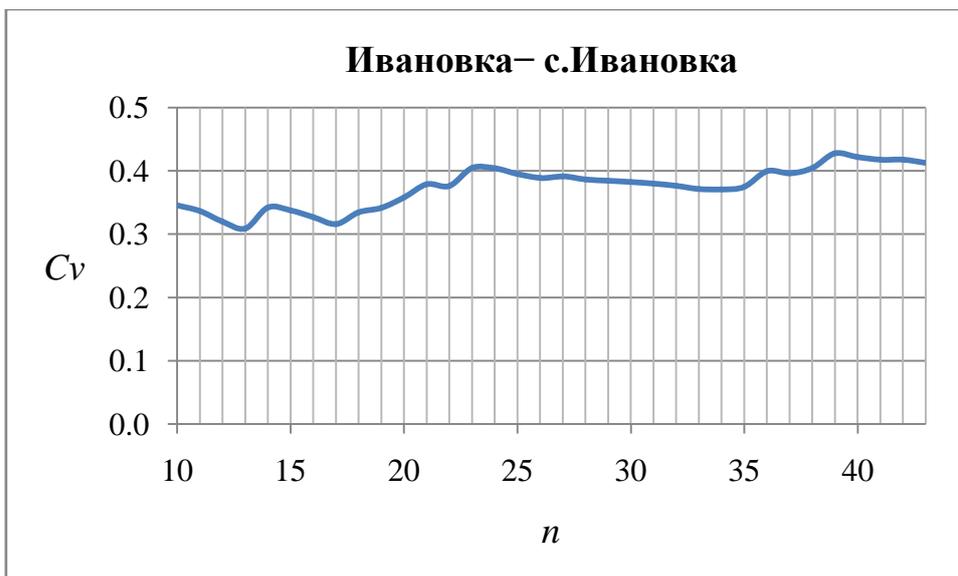


Рисунок В1.2.2 13 – Зависимость среднего значения коэффициента вариации  $C_v$  от продолжительности ряда  $n$  для станции Ивановка – с.Ивановка



Рисунок В1.2.2 14 – Зависимость среднего значения коэффициента вариации  $Cv$  от продолжительности ряда  $n$  для станции Ток – пр-к Николаевский



Рисунок В1.2.2 15 – Зависимость среднего значения коэффициента вариации  $Cv$  от продолжительности ряда  $n$  для станции Амгунь – пос. Гуга

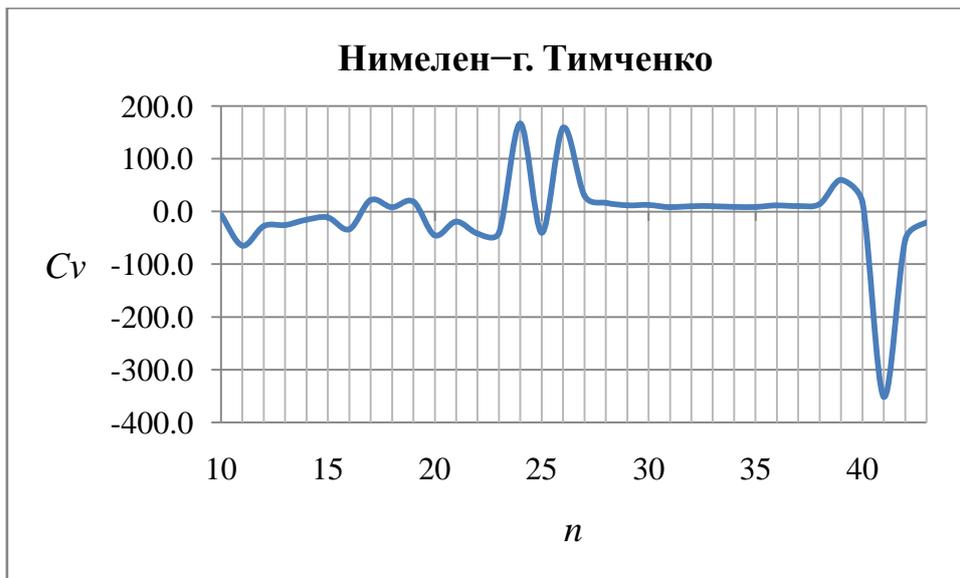


Рисунок В1.2.2 16 – Зависимость среднего значения коэффициента вариации  $C_v$  от продолжительности ряда  $n$  для станции Нимелен – г.Тимченко

## Приложение Г – Гистограммы распределения $\Delta U$

### 1.1 Европейская территория России.

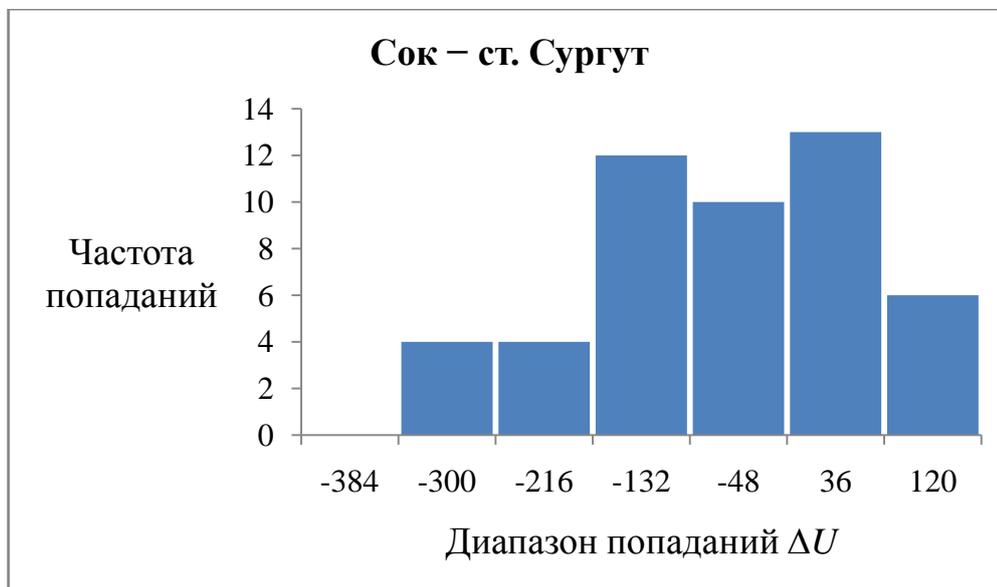


Рисунок Г1.1 1 – Гистограммы распределения  $\Delta U$  для станции  
Сок – ст.Сургут

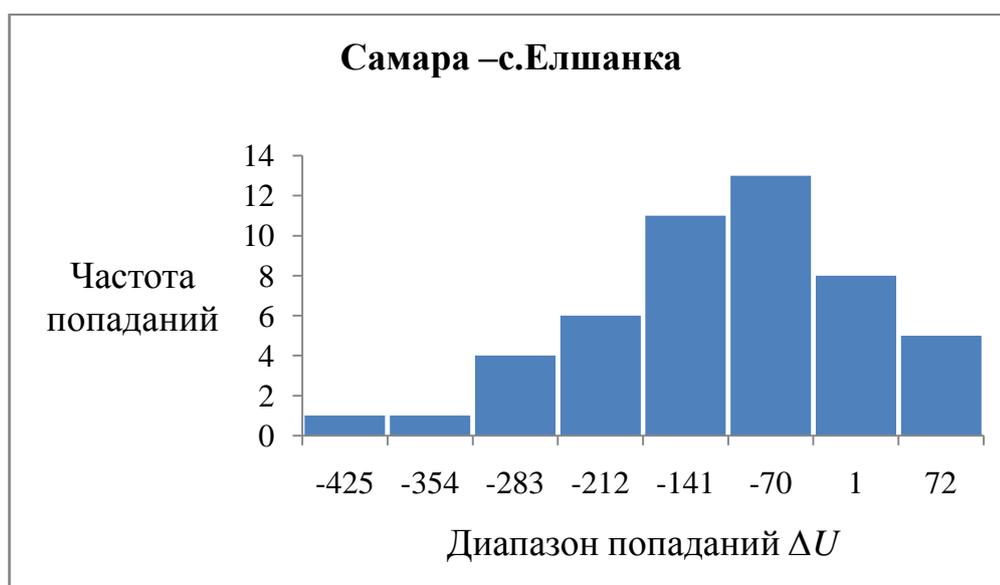


Рисунок Г1.1 2 – Гистограммы распределения  $\Delta U$  для станции  
Самара – с.Елшанка

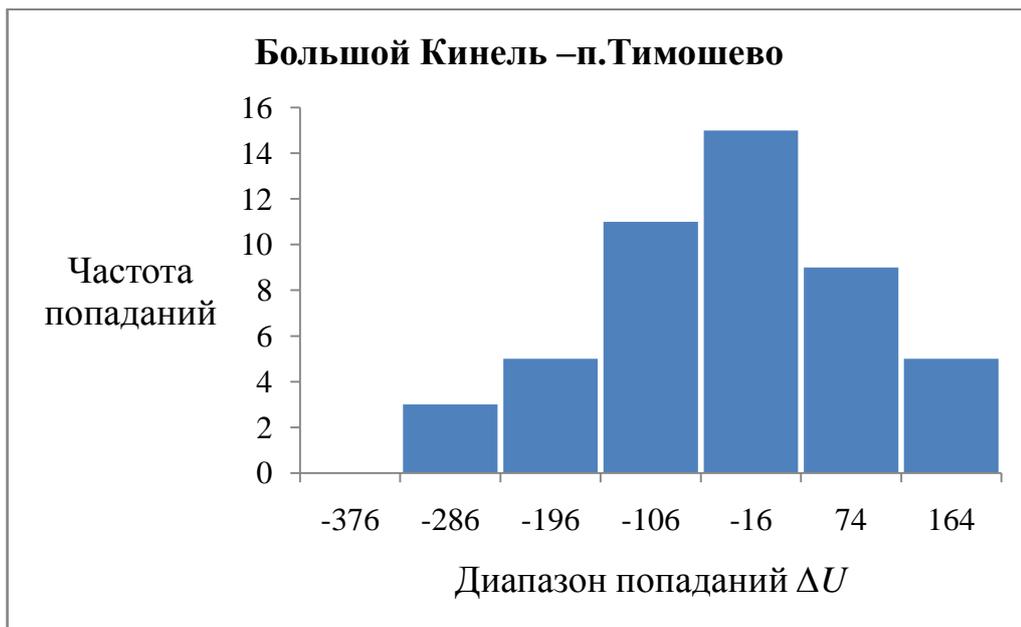


Рисунок Г1.1 3 – Гистограммы распределения  $\Delta U$  для станции  
Большой Кинель – п.Тимошево

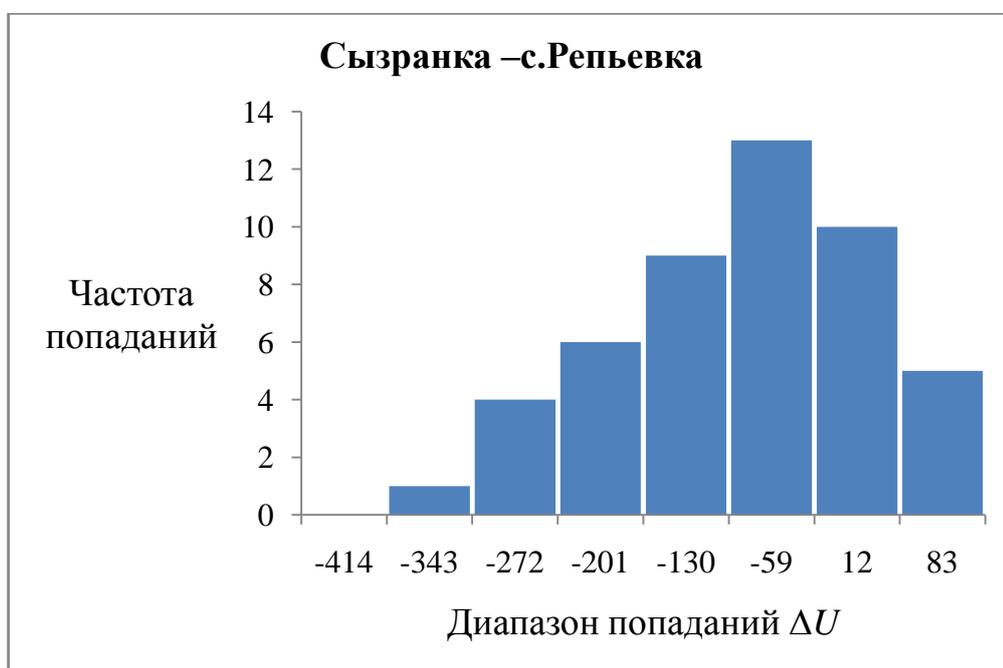


Рисунок Г1.1 4 – Гистограммы распределения  $\Delta U$  для станции  
Сызранка – с.Репьевка

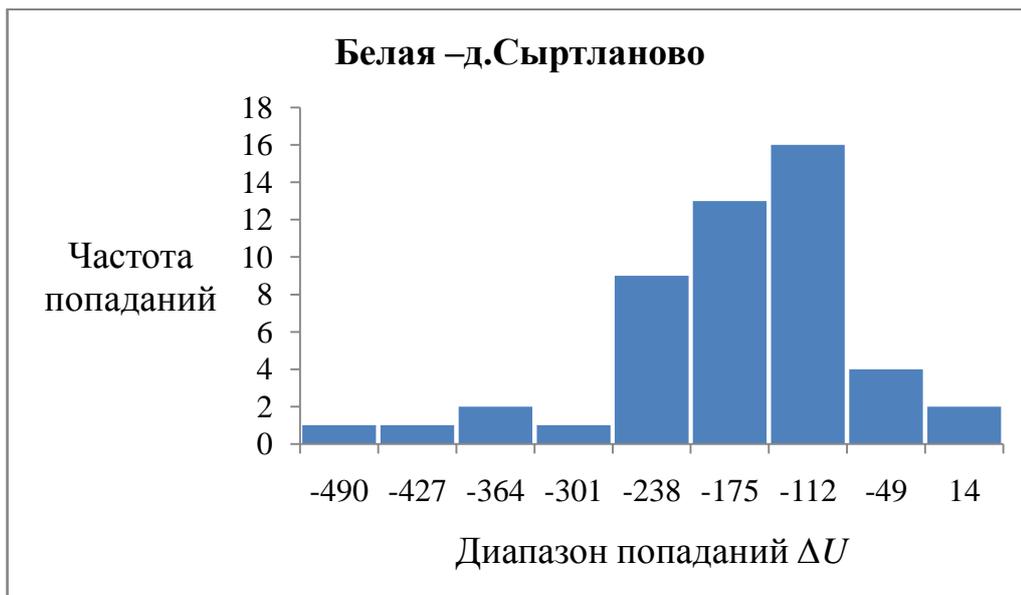


Рисунок Г1.1 5 – Гистограммы распределения  $\Delta U$  для станции  
Белая – д.Сыртланово

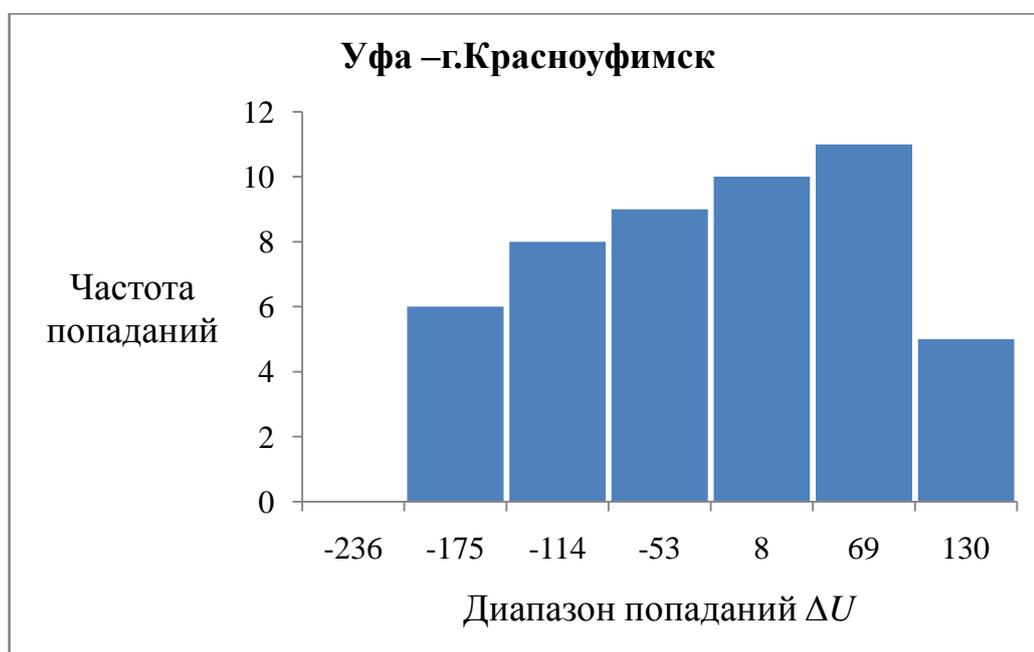


Рисунок Г1.1 6 – Гистограммы распределения  $\Delta U$  для станции  
Уфа– г.Красноуфимск

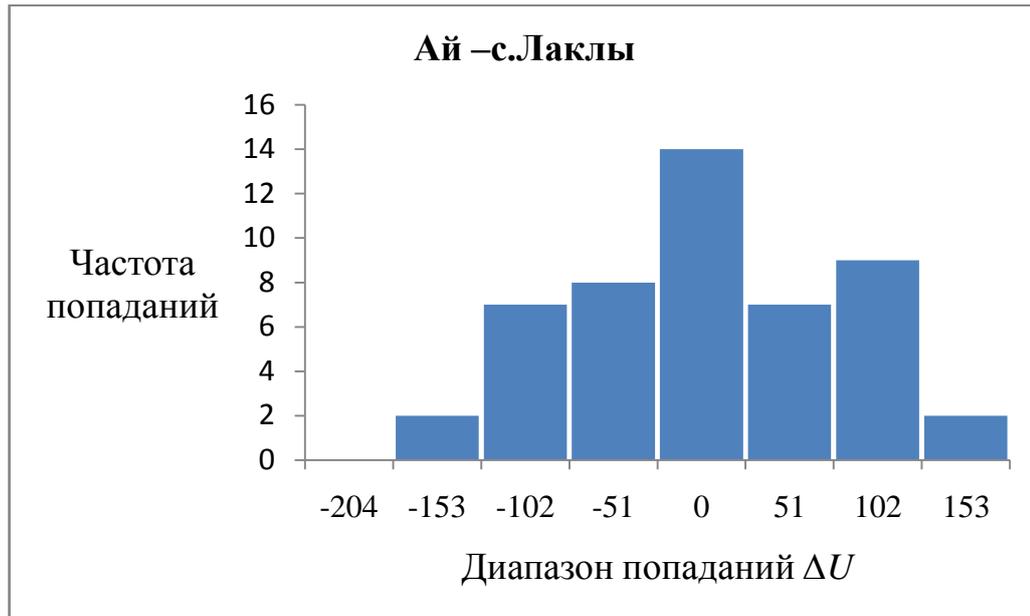


Рисунок Г1.1 7 – Гистограммы распределения  $\Delta U$  для станции  
Ай – с.Лаклы

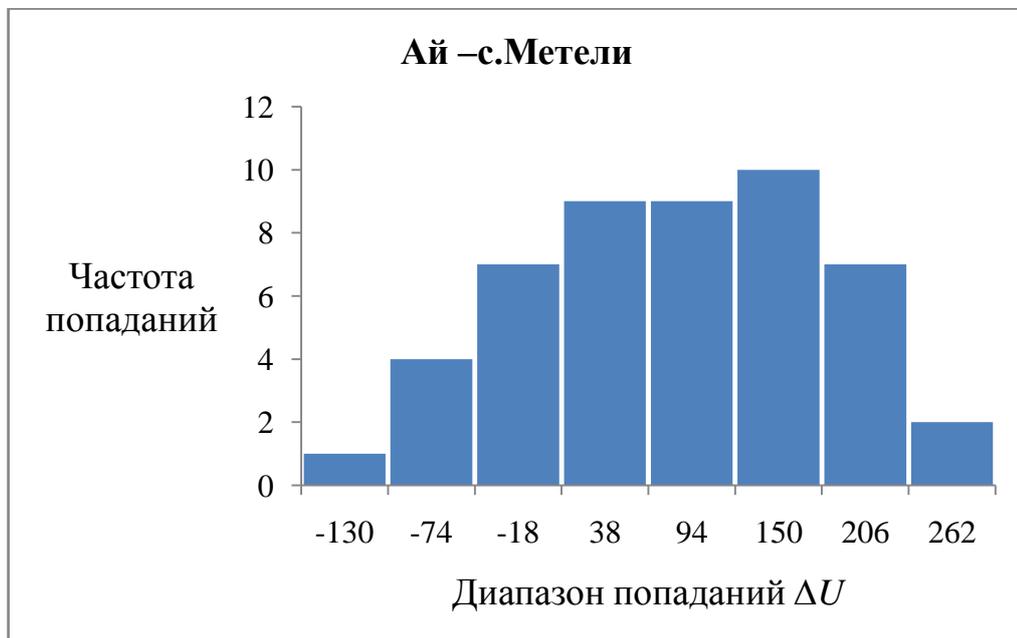


Рисунок Г1.1 8 – Гистограммы распределения  $\Delta U$  для станции  
Ай– с.Метели

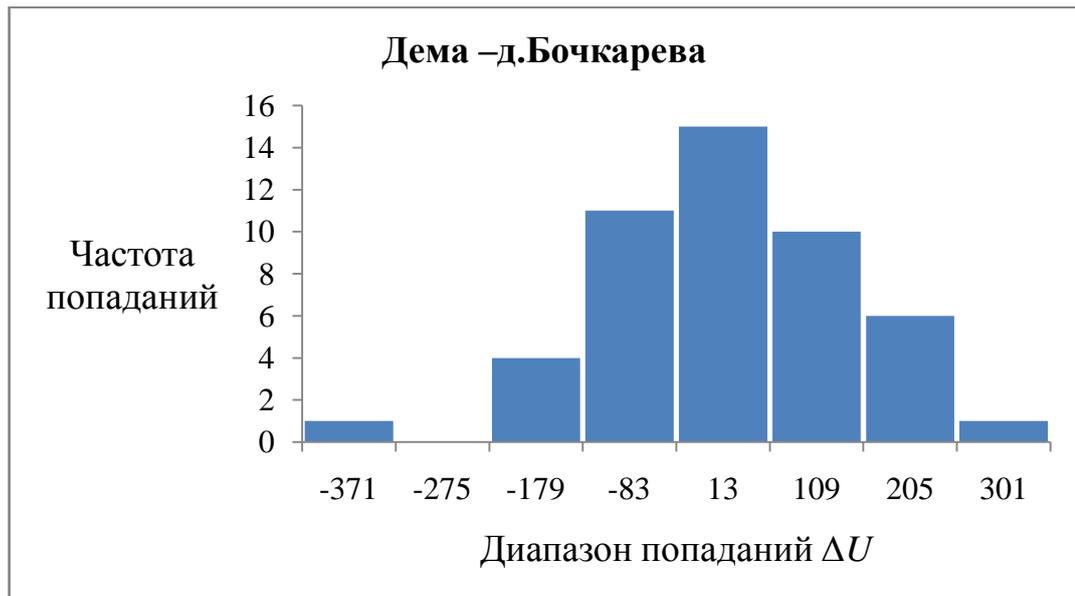


Рисунок Г1.1 9 – Гистограммы распределения  $\Delta U$  для станции  
Дема – д.Бочкарева

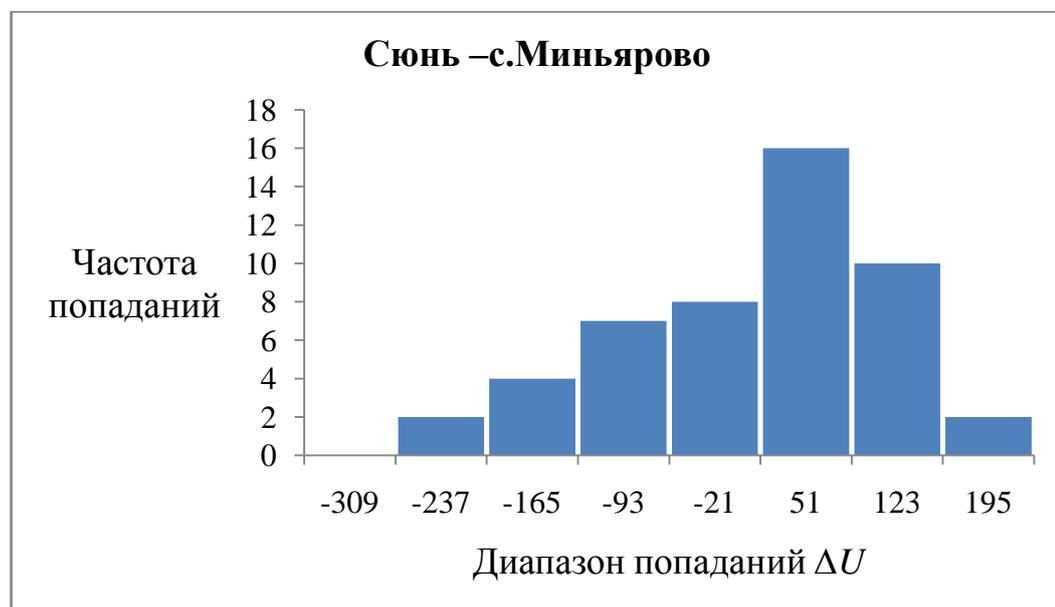


Рисунок Г1.1 10 – Гистограммы распределения  $\Delta U$  для станции  
Сюнь– с.Миньярово

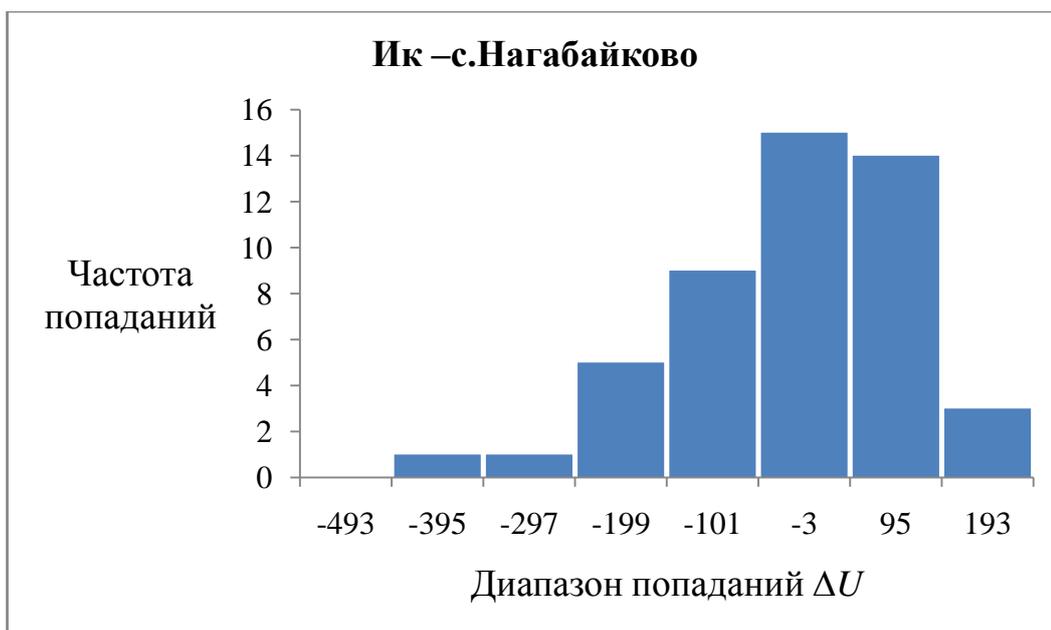


Рисунок Г1.1 11 – Гистограммы распределения  $\Delta U$  для станции  
Ик – с.Нагабайково

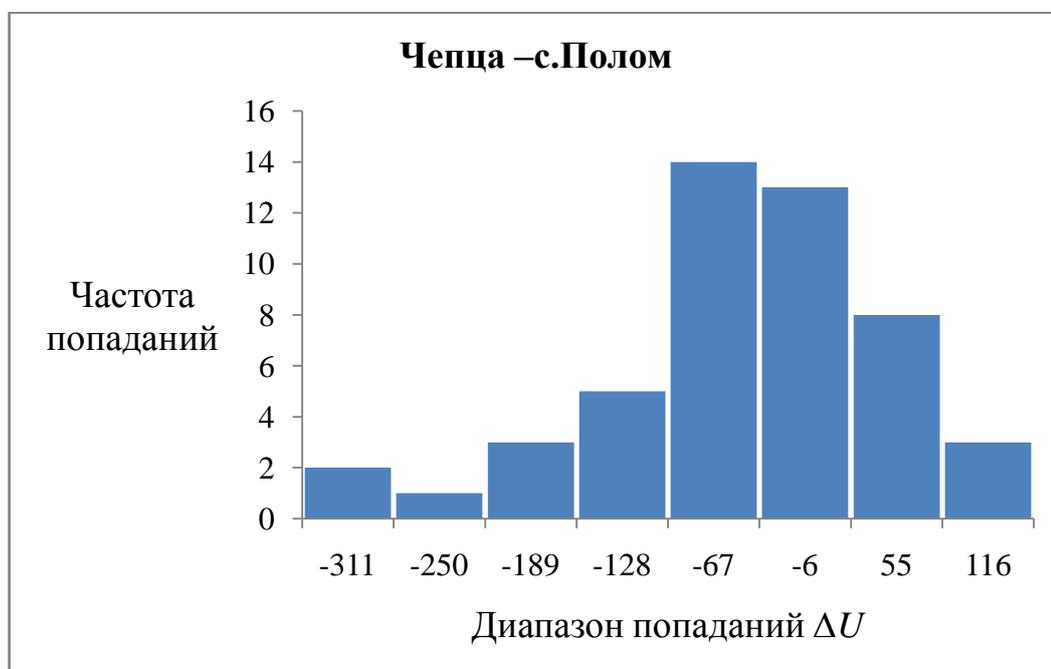


Рисунок Г1.1 12 – Гистограммы распределения  $\Delta U$  для станции  
Чепца – с.Полом

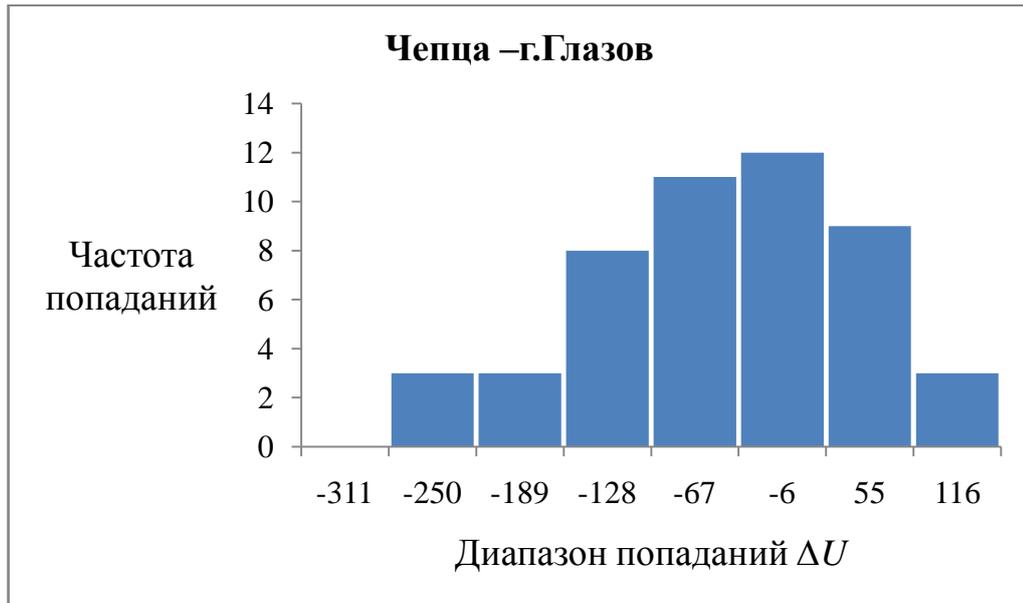


Рисунок Г1.1 13 – Гистограммы распределения  $\Delta U$  для станции  
Чепца – г.Глазов

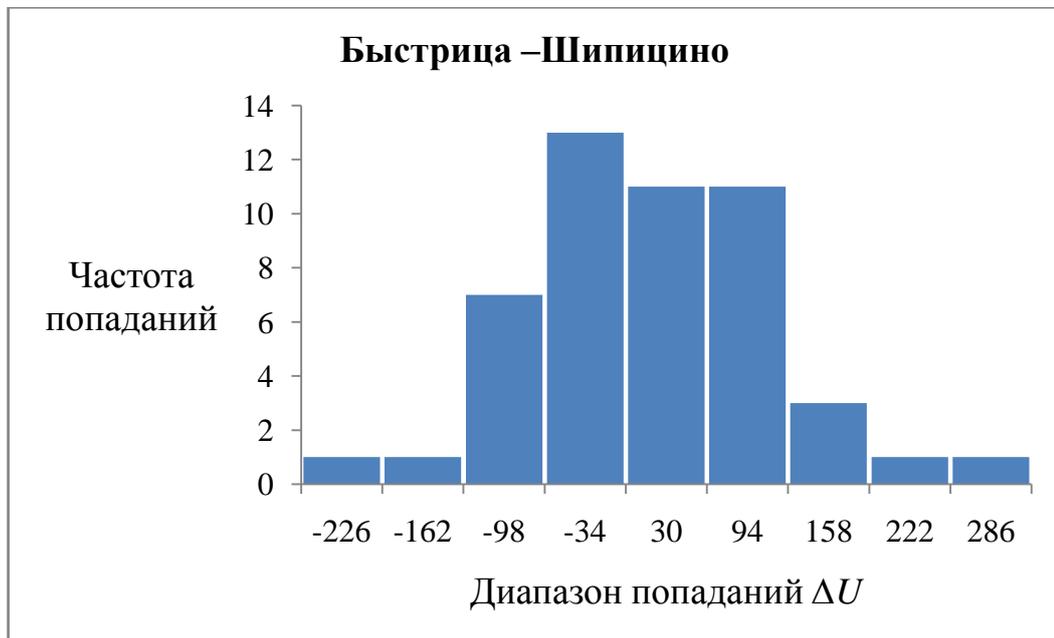


Рисунок Г1.1 14 – Гистограммы распределения  $\Delta U$  для станции  
Быстрица – Шипицино

## 1.2 Азиатская территория России

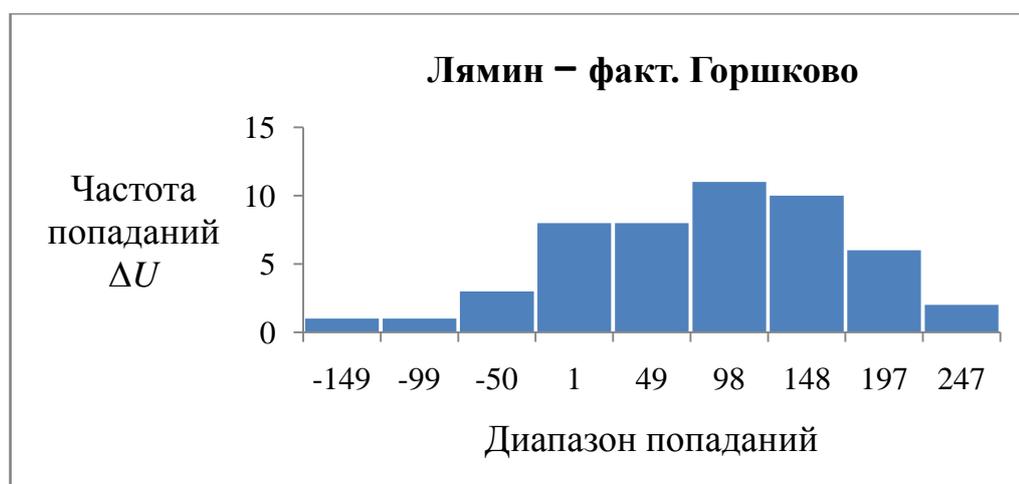


Рисунок Г1.2 1 – Гистограммы распределения  $\Delta U$  для станции  
Лямин – факт.Горшково

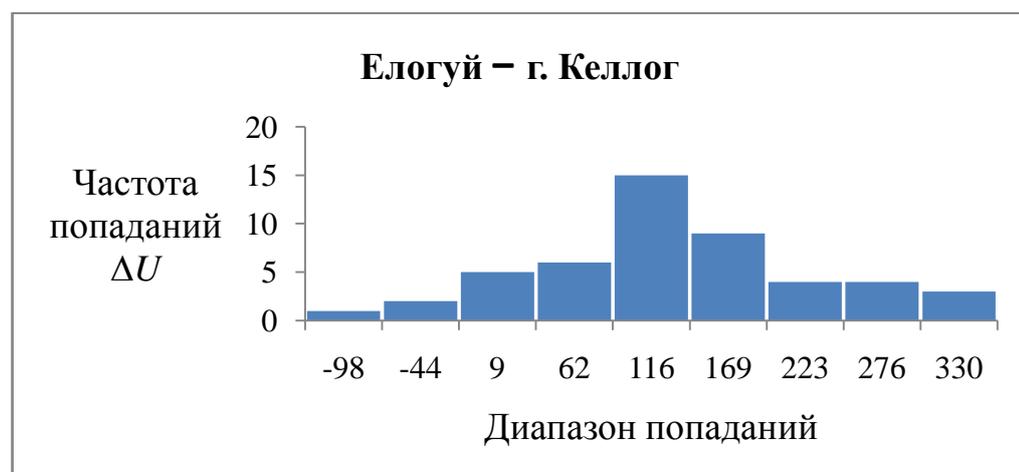


Рисунок Г1.2 2 – Гистограммы распределения  $\Delta U$  для станции  
Елогуй– г.Келлог

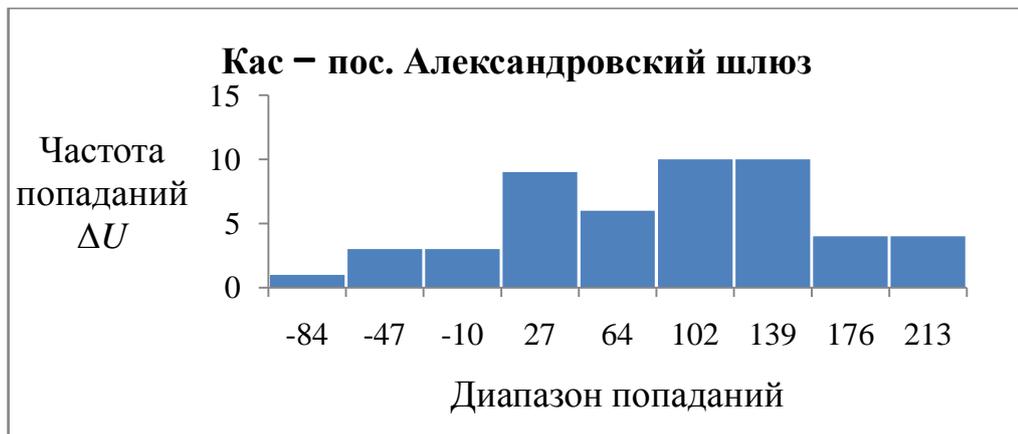


Рисунок Г1.2 3 – Гистограммы распределения  $\Delta U$  для станции  
Кас – пос.Александровский шлюз

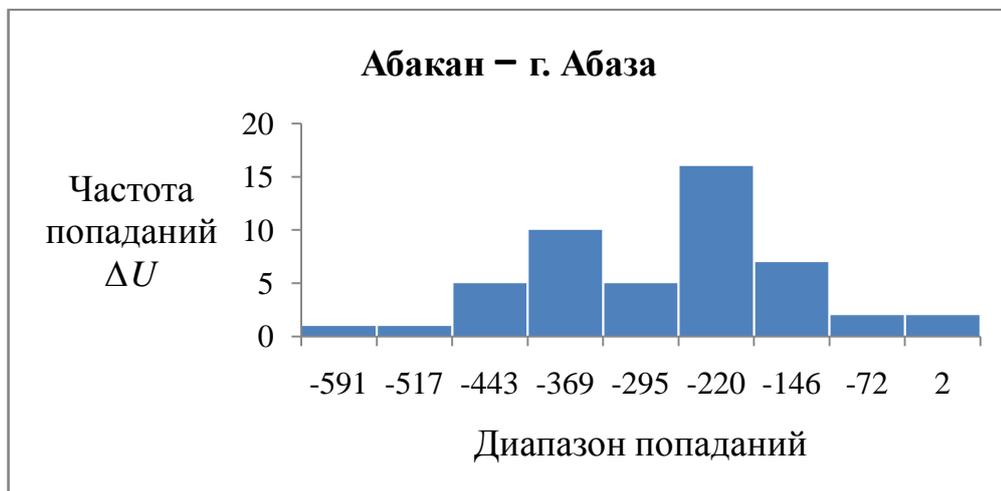


Рисунок Г1.2 4 – Гистограммы распределения  $\Delta U$  для станции  
Абакан – г.Абаза

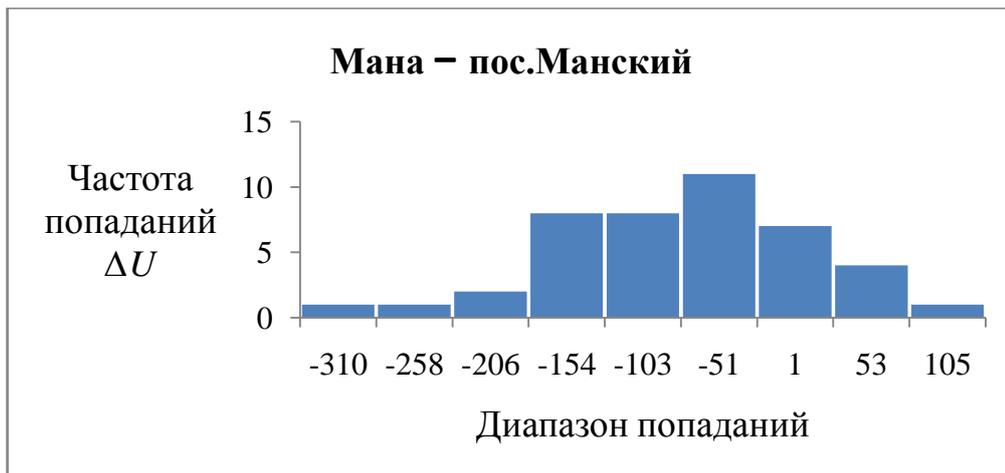


Рисунок Г1.2 5 – Гистограммы распределения  $\Delta U$  для станции  
Мана – пос.Манский

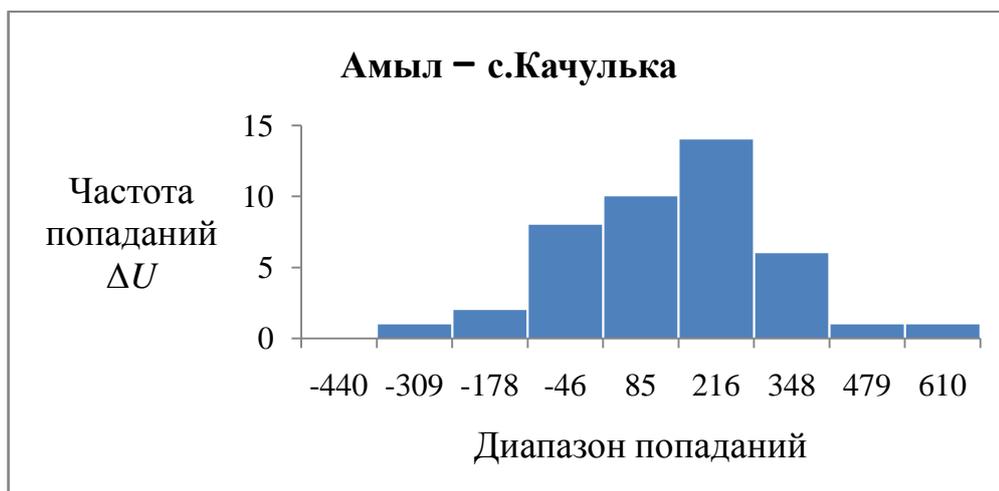


Рисунок Г1.2 6– Гистограммы распределения  $\Delta U$  для станции  
Амыл– с.Качулька

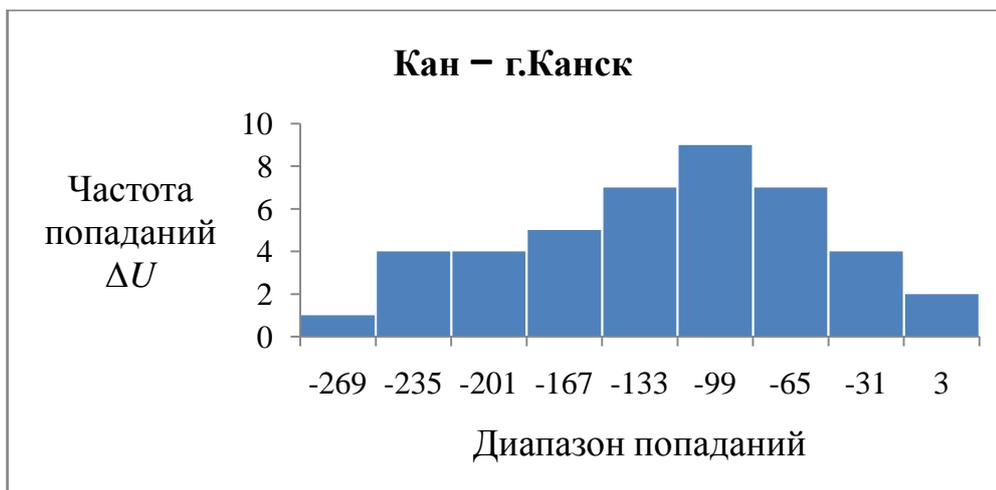


Рисунок Г1.2 7 – Гистограммы распределения  $\Delta U$  для станции Кан – г.Канск

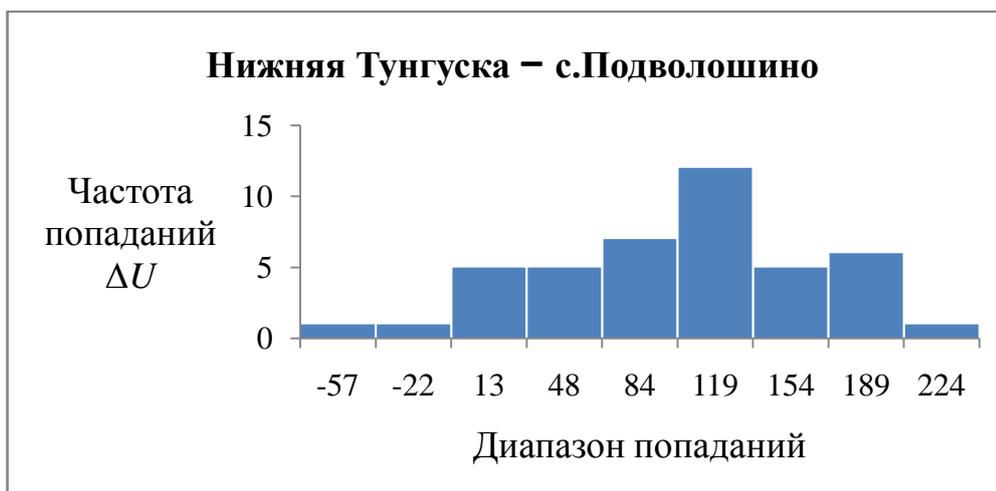


Рисунок Г1.2 8 – Гистограммы распределения  $\Delta U$  для станции Нижняя Тунгуска – с.Подволошино

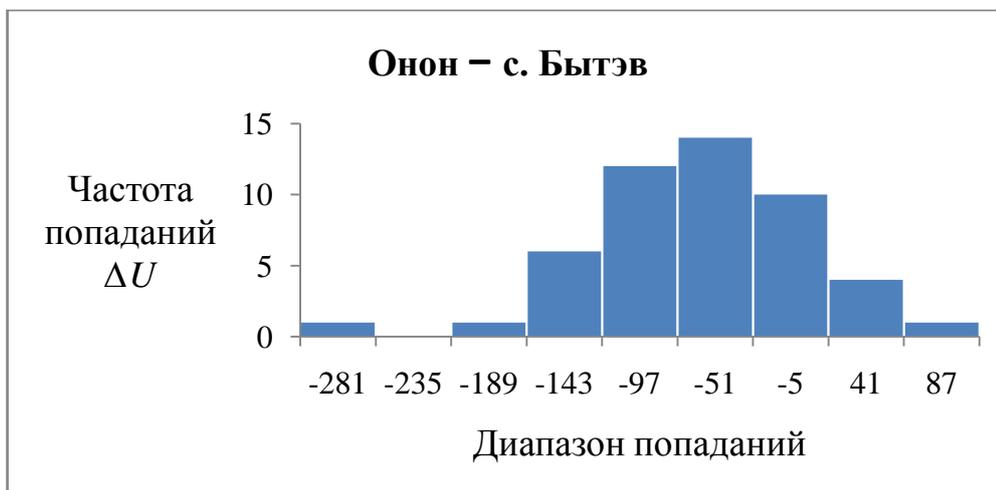


Рисунок Г1.2 9 – Гистограммы распределения  $\Delta U$  для станции Онон – с.Бытэв



Рисунок Г1.2 10 – Гистограммы распределения  $\Delta U$  для станции Нижняя Тунгуска – с.Подволошино

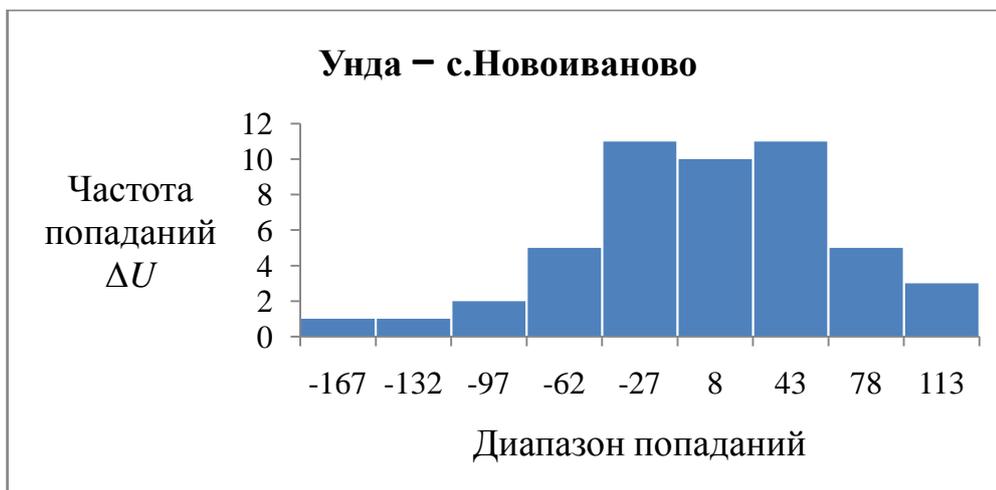


Рисунок Г1.2 11 – Гистограммы распределения  $\Delta U$  для станции  
Унда –с.Новоиваново

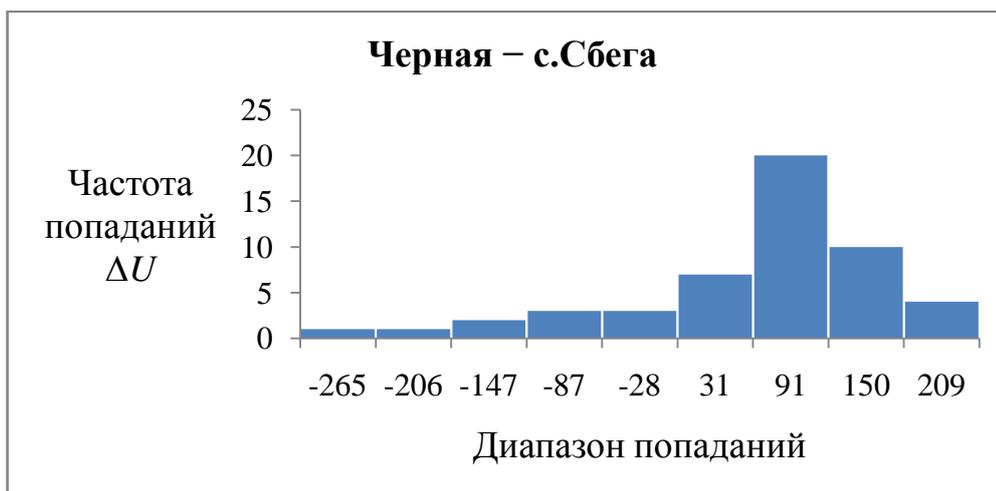


Рисунок Г1.2 12 – Гистограммы распределения  $\Delta U$  для станции  
Черная – с.Сбега

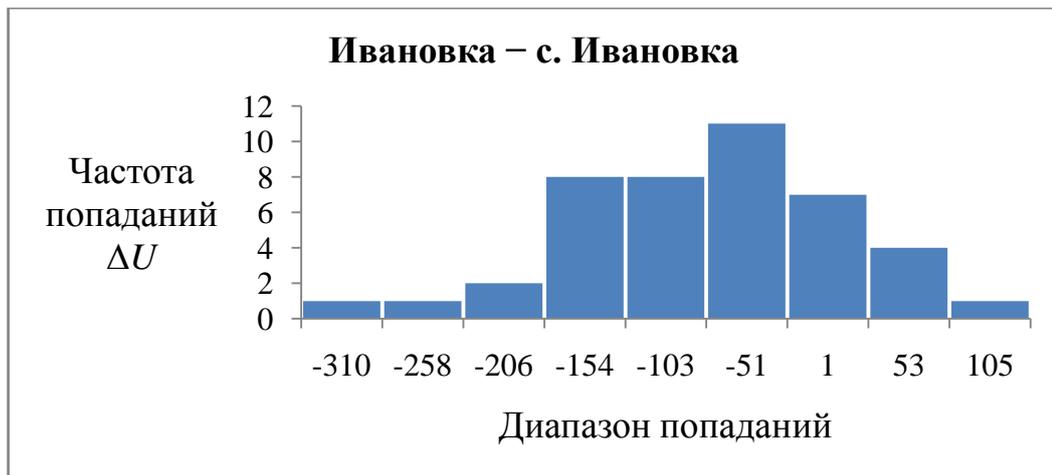


Рисунок Г1.2 13 – Гистограммы распределения  $\Delta U$  для станции  
Ивановка – с.Ивановка



Рисунок Г1.2 14 – Гистограммы распределения  $\Delta U$  для станции  
Ток – пр-к Николаевский

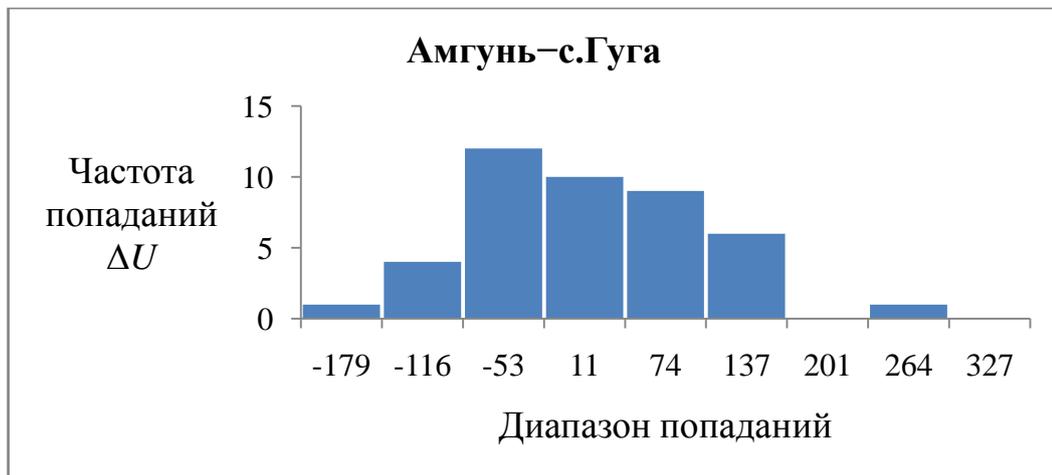


Рисунок Г1.2 15 – Гистограммы распределения  $\Delta U$  для станции Амгунь – с.Гуга

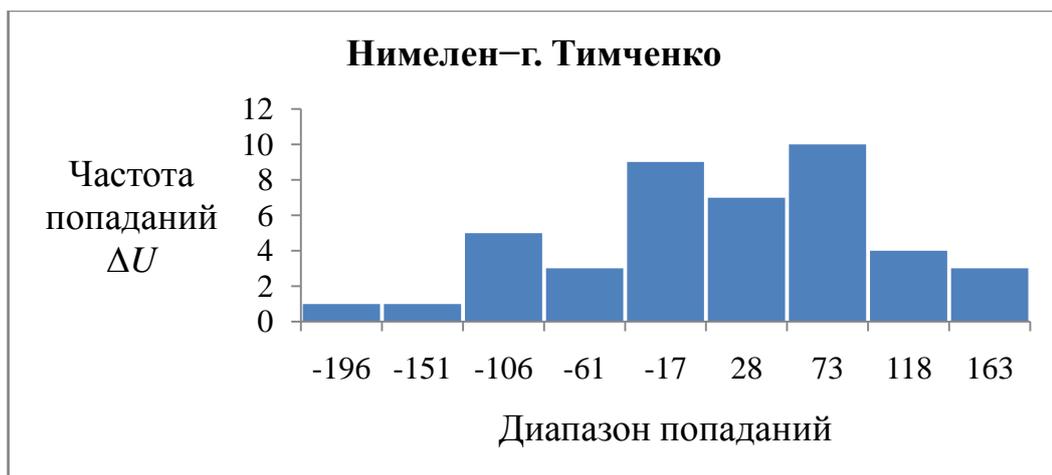


Рисунок Г1.2 16 – Гистограммы распределения  $\Delta U$  для станции Нимелен– г.Тимченко