



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение

высшего образования
«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра инженерной гидрологии

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

(бакалаврская работа)

На тему Математическое моделирование изменений
суммарных влагозапасов речных бассейнов

Исполнитель Султанова Полина Флеровна
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель К.Т.Н., доцент
(ученая степень, ученое звание)

Гайдукова Екатерина Владимировна
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»
Заведующий кафедрой

(подпись)

К.Т.Н., доцент

(ученая степень, ученое звание)

Хаустов Виталий Александрович
(фамилия, имя, отчество)

«10» июля 2022г.

Санкт-Петербург
2022

Содержание

Введение.....	3
1 Общие сведения о изменениях суммарных влагозапасов при моделировании речного стока	4
1.1 Методы расчета испарения	5
1.2 Общие сведения о водобалансовой станции	12
1.3 Расчёт испарения и погрешности по ВБС	15
1.4 Обоснование выбора объектов для исследования.....	16
2 Формирование базы данных для исследования	18
2.1 Изменение суммарных влагозапасов	18
2.2 Проверка на однородность и значимость тренда	22
3 Статистическая обработка рядов.....	25
4 Оценка погрешности.....	30
5 Фрактальная диагностика рядов изменения суммарных влагозапасов на водосборах	37
5.1 Интегральный метод.....	37
5.2 R/S –анализ.....	51
5.3 Функциональный метод	52
6 Моделирование изменений суммарных влагозапасов речных бассейнов	58
Заключение	61
Список использованных источников	62
Приложение А – Исходные данные	64
Приложение Б – Результаты	70

Введение

Величина суммарных влагозапасов является самой спорной составляющей водного баланса: её нужно уметь моделировать, прогнозировать, а также она не поддаётся измерению, напротив, вычисляется только уравнением водного баланса, в связи с чем возникает большая погрешность данной величины.

Цель данной выпускной квалификационной работы заключается в том, чтобы обработать ряды включая фрактальную размерность, которая позволяет определить число фазовых переменных необходимых для математической модели и произвести моделирование изменений суммарных влагозапасов речных бассейнов.

Для достижения поставленной цели решены следующие задачи:

- сформированы ряды параметров водного баланса: сток, испарение, осадки;
- посчитаны суммарные влагозапасы речных бассейнов;
- оценены погрешности, статистические характеристики;
- проведены проверки на значимость тренда и однородность рядов по Фишеру и Стьюденту;
- посчитана фрактальная размерность тремя методами: интегральным, R/S –анализ и функциональным;
- произведена апробация математической модели для изменения суммарных влагозапасов речных водосборов.

1 Общие сведения о изменениях суммарных влагозапасов при моделировании речного стока

Существует уравнение водного баланса (для годового интервала):

$$\dot{X} = Q + E \pm \Delta U,$$

где $\dot{X}$ – атмосферные осадки, выпавшие на территорию речного бассейна, мм;

Q – речной сток, мм;

E – испарение, мм.

Параметры Q и E – считаются конкурентными по причине того, что каждый из них пытается на свою сторону «перетащить» ресурс – осадки.

ΔU – изменение суммарных влагозапасов в речном бассейне. Эту величину можно объяснить ещё и как остаточный член уравнения водного баланса.

В ходе эмпирических расчетов по бассейнам северного полушария было выявлено, что изменение суммарных влагозапасов в речных бассейнах не равен нулю, что в свою очередь, вероятно, приводит к погрешностям определения многолетней нормы испарения с использованием существующих карт в тех регионах, где норма изменения влагозапасов статистически значимо отличается от нуля. В гидрологии считается, что для годового периода $\Delta U \neq 0$, а для многолетних же допускается $\Delta U = 0$.

Для того, чтобы понять ΔU равен или не равен нулю, нужно определять E , испарение, независимо от осадков и стока.

В наши дни из всех элементов водного баланса точнее определяются атмосферные осадки и речной сток. Оценка таких элементов как испарение и изменение влагозапасов речного бассейна вызывают затруднения. [1]

Для определения суммарных влагозапасов в речной бассейне существует уравнение водного баланса. В уравнение водного баланса входят осадки (измеряются), сток (измеряется), испарение (рассчитывается).

Поэтому точность определения ΔU зависит от формулы, которую применяют для нахождения испарения. Для этого ниже представлены способы для расчета испарения и общие сведения о воднобалансовой станции, по которой найден наиболее подходящий метод.

1.1 Методы расчета испарения

Измеренные данные по испарению

Приборы, которые предназначены измерить испарение с поверхности воды:

а) Испаритель ГГИ–3000. Это цилиндрический резервуар вместе с коническим дном и площадью поверхности 3 000 см², а также глубиной 60 см. Испаритель устанавливается в грунте, при этом его края на 7,5 см выступают над поверхностью почвы. В центре испарителя располагается железная измерительная трубка. На данную металлическую трубку при измерениях испарения устанавливают объемную бюретку. Бюретка оснащена клапаном, который открывается, с целью для того, чтобы уровень воды в ней сравнился с уровнем воды в испарителе. Далее клапан закрывается, и выполняется четкое измерение объема воды в бюретке. Уровень воды над металлической мерной трубкой определяется на основе объема воды в бюретке, а также ее размеров. Указатель, прикрепленный к металлической реперной трубке, демонстрирует высоту, на которую требуется установить уровень воды в испарителе. Уровень воды следует сохранять таким образом, чтобы он не опускался ниже или не поднимался выше острия указателя более чем на 5 и 10 мм соответственно. Как правило, рядом с испарителем ГГИ–3000 устанавливается дождемер ГГИ–3000 с приемной площадью 3 000 см².

б) Испарительный бассейн площадью 20 м^2 . Данный испарительный бассейн представляет собой цилиндрический бак с плоским дном площадью 20 м^2 , глубиной 2 м и диаметром 5 м. Бассейн производится путем сварки 4–5 миллиметровых листов железа и устанавливается в грунте, причем его края выступают над землей на 7,5 см. Внутренняя и выступающая наружная поверхности бака окрашены в белый цвет. Бассейн оборудован специальным доливным баком и успокоителем с мерной трубкой, на которую при измерении высоты уровня воды в бассейне устанавливается объемная бюретка. В успокоителе рядом с мерной трубкой установлен специальный стерженек, заканчивающийся острием иглы и служащий указателем высоты, до которой должен корректироваться уровень воды в бассейне. Уровень воды должен практически постоянно поддерживаться подобным способом, чтобы он был не ниже и не выше острия иглы более чем на 5 и 10 мм соответственно. К доливному баку прикреплена стеклянная трубка с делениями для измерения количества воды, доливаемой в испарительный бассейн, и с целью жесткого контролирования измерений по бюретке.

Измерения с помощью испарителей и испарительных бассейнов. Скорость испарения измеряется путем наблюдения изменения уровня свободной поверхности воды в испарителе или бассейне. Эти измерения можно проводить с помощью таких устройств, описанных выше. Используется несколько типов автоматических испарителей. Уровень воды в таком испарителе поддерживается путем постоянного долива воды в испаритель из доливного бака или отлива воды из испарителя после дождя. Количество доливаемой или отливаемой воды регистрируется. В некоторых испарительных бассейнах или испарителях уровень воды непрерывно регистрируется с помощью поплавка в успокоителе. Поплавок приводит в действие самописец. Измерения испарения с поверхности испарителя положены в основу ряда методик для оценки испарения и суммарного испарения с естественных поверхностей, потеря воды которыми представляет интерес. Измерениям, производимым с помощью испарителей, отдается предпочтение, поскольку в

любом случае они являются результатом воздействия всех метеорологических параметров, а данные измерений можно получить сразу же и за любой требуемый период времени. Поэтому испарители часто используются для получения текущей информации об испарении в пределах наблюдательной сети. [2]

Измеренные данные для выбранной ВБС по испарению представлены в приложении А в таблице А.1.

Номограмма Константинова

Данный метод основан на анализе процессов турбулентного обмена водяного пара в атмосфере, обуславливающих испарение. Для расчета испарения методом турбулентной диффузии необходимо иметь данные измерений градиентов температуры, влажности воздуха и скорости ветра в приземном слое. Константинов показал, что эти градиенты меняются с изменением температуры и влажности воздуха, измеряемых на высоте 2 метра. Используя эту зависимость, он составил номограмму (рисунок 1.1.1), позволяющую определить норму годового испарения Z по средним годовым температуре T и влажности воздуха e , получаемым по наблюдениям на сети метеорологических станций.

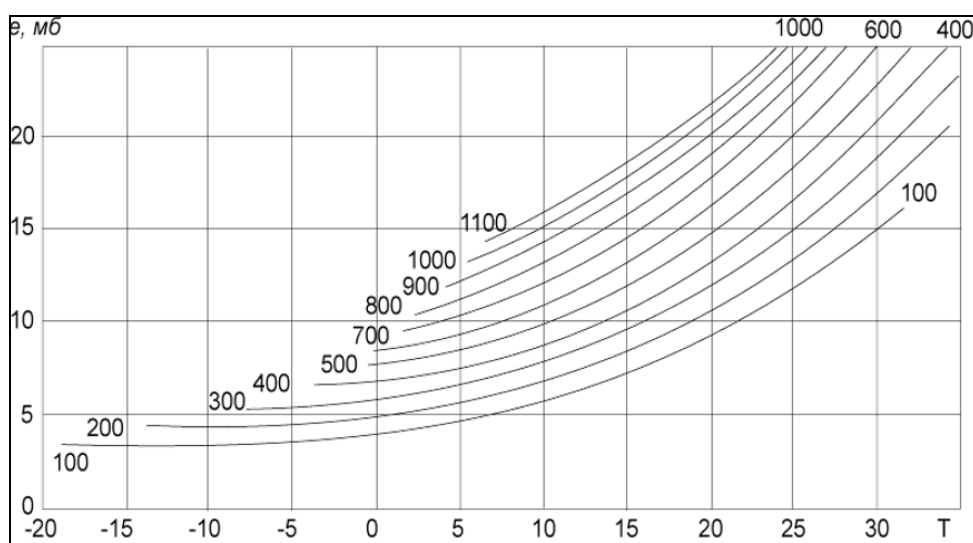


Рисунок 1.1.1 – Номограмма для вычисления среднегодового испарения E_0 (мм) по среднегодовой температуре T и влажности воздуха e (Па)

Для температуры и упругости водяного пара нужно предварительно посчитать поправки, которые можно снять с номограммы или воспользоваться эквивалентным вариантом – таблицей из учебника Константинова «Испарение в природе». Итог расчета поправок за период 1950–1961 год по станции Каменная Степь представлен в приложении А. в таблицах А.5, 7.

Испарение по номограмме находить не удобно, так как температура и упругость водяного пара, находятся за пределами номограммы, поэтому в этой работе использовалась таблица из приложения 14 учебника Константинова. Размерность в данной таблице в мм/сут, поэтому, для удобства дальнейших расчетов, осуществлён перевод из мм/сут в мм/мес путем умножения на количество дней в месяце.[4]

формула Будыко (Метод теплового баланса)

М. И. Будыко разработал метод определения суммарного испарения из уравнения теплового баланса

$$B = EL + P + V,$$

где B – радиационный баланс;

E – величина испарения с участка суши;

L – скрытая теплота испарения;

P – поток тепла в почву;

V – поток тепла от подстилающей поверхности в атмосферу.

Суммарное испарение из уравнения теплового баланса определится как

$$E = \frac{1}{L}(B - P - V),$$

Радиационный баланс B определяется из ежедневных актинометрических наблюдений, поток P – по изменению с глубиной температуры почвы, V – по градиентным наблюдениям над температурой и влажностью воздуха на разных высотах. Рабочая формула для определения величины испарения методом теплового баланса имеет вид

$$E = \frac{(B - P)\Delta e}{\Delta e + 0,64\Delta T},$$

где E – величина испарения в мм/час;

Δe – разность упругости водяного пара (в миллибарах) для высот 0,5 и 2,0 м;

ΔT – разность температур воздуха на высотах 0,5 и 2,0 м;

B, P – радиационный баланс и поток тепла в почву в кал/см²мин. [4]

формула Э.М. Ольдекопа

Ольдекопом была предложена следующая формула для определения средней многолетней величины испарения с водной поверхности речных бассейнов:

$$z = z_0 th \frac{x}{z_0},$$

где z – годовой слой испарения в мм;

z_0 – возможный максимум испарения при данных климатических условиях при предположении постоянного избытка влаги;

x – годовая сумма атмосферных осадков;

th – гиперболический тангенс.

По мнению Ольдекопа эту формулу лучше использовать отдельно к зимнему (ноябрь–апрель) и летнему (май–октябрь) полугодиям. В таком случае z_0 по данным Ольдекопа, принимает следующие значения:

–для зимнего полугодия

$$z_{0,з} = 96d_{з},$$

–для летнего полугодия

$$z_{0,л} = 136d_{л},$$

где $d_{з}$ и $d_{л}$ – средние значения недостатка насыщения влагой воздуха в миллиметрах зимнего и весеннего полугодий.

формула Мезенцева

В.С. Мезенцев предложил формулу для расчета суммарного испарения с поверхности суши за любой расчетный интервал времени в виде [5]:

$$E = E_0 \left[1 + \left(\frac{E_0}{x + \Delta W} \right)^n \right]^{-\frac{1}{n}},$$

где E_0 – максимальное возможное испарение

n – параметр, учитывающий гидравлические условия стока

x – осадки

ΔW – изменение влагозапасов мертвого слоя почвы за расчетный период.

формула А.Н. Постникова

Формула Постникова отображает зависимость испарения за безледоставный период с водоемов России и отдельных государств от температуры теплого периода года.

$$E = 4(21,3 t_{\pi} + 27)(0,026t_{\pi} + 0,62),$$

где t_{π} – температурная характеристика теплого периода года [6]

метод Пеймана (из руководства ВМО)

Метод Пенмана–Монтейна рекомендован Продовольственной и Сельскохозяйственной Организацией (ФАО) при Организации Объединенных Наций (ООН) совместно с Международным Комитетом по Ирригации и Дренажу (МКИД) и Всемирной метеорологической организацией (ВМО); с мая 1990 года принят в качестве стандарта для определения эталонного суммарного испарения. Формула Пенмана–Монтейна имеет следующий вид:

$$E = \frac{0,408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34u_2)},$$

где E – суммарное суточное испарение, мм/сут;

R_n – чистая радиация на поверхности растений, МДж м⁻² сут⁻¹;

G – плотность теплового потока почвы, МДж м⁻² сут⁻¹;

T – среднесуточная температура воздуха на высоте 2 м, °С;

u_2 – скорость ветра на высоте 2 м, м/с;

e_s – давление пара насыщения, кПа;

e_a – фактическое давление, кПа;

$(e_s - e_a)$ – дефицит давления пара насыщения, кПа;

Δ – уклон кривой давления пара, кПа°С⁻¹;

γ – психрометрическая постоянная, кПа°С⁻¹.

Данный метод, несмотря на рекомендации ФАО, очень трудоемкий. В нем требуется большое число суточных метеорологических характеристик

(солнечная радиация, температура и влажность воздуха, скорость ветра), измеренных на высоте 2 м. [7]

Climate explorer

Climate explorer – это сайт для статистического анализа климатических данных, в том числе и испарения. Данные наблюдений рассчитываются по моделям пятого оценочного доклада межправительственной группы экспертов по изменению климата.

На официальном сайте *Climate explorer* на главной странице выбирается модель «*CMIP5 scenario runs*». Затем нужно выбрать в представленной таблице нужный параметр. В данной работе это параметр *evspsbl* (испарение). После нажатия кнопки «*Select field*» нужно ввести координаты: для такой водобалансовой станции как Каменная степь были выбраны координаты: $52^{\circ} - 49^{\circ}$ северной широты (*N*) и $38^{\circ} - 42^{\circ}$ восточной долготы (*E*). Также нужно выбрать единицу измерения: *convert to mm/day* и выбрать года.

После нажатия кнопки *Select* на экране показан график изменения параметра. Чтобы получить сами данные в числовом варианте нужно идти поданной последовательности: *raw data – analyse separately – raw data*.

Исходные данные, взятые из официального сайта *Climate explorer* представлены в Приложении А в таблице А.3.

1.2 Общие сведения о водобалансовой станции

Водобалансовая станция Каменная Степь организована в 1950 году. Эта станция находится в степном районе Европейской территории Российской Федерации на водосборе реки Чигла, которая является левобережным притоком реки Битюг), на водораздельных участках притоков р. Чигла – балок Озерки и Таловая, в южной части Таловского района Воронежской области. Главные наблюдения производились на территории землепользования научно–

исследовательского института сельского хозяйства (НИИСХ) им. В.В. Докучаева, опытно–производственного хозяйства «Докучаевское» и федерального государственного унитарного предприятия «Знамя Октября». Ландшафт данного региона представляет собой недостаточно холмистую равнину, разделенную отлогими ложбинами и балками, глубина вреза каковых достигает до 15–20 м. Средняя высота территории приблизительно 185 м абс., более высокие участки имеют отметки от 195 до 200 м, наиболее низкие – у дна балки Таловая – от 135 до 140 м. Характерной чертой региона воднобалансовой станции Каменная Степь считается огромное количество лесных полос различных возрастов, конструкций и назначения. Значительная их доля обладает широтным и меридиональным направлением на территориях с малыми уклонами на водоразделах.

О геологическом строении. Территория представлена отложениями четвертичного периода, ниже которых залегают третичные палеогеновые и неогеновые пески и глины, а под ними – мел, подстилаемый кварцевыми песками, а также фосфоритовой галькой. Четвертичные отложения преимущественно образованы в период Днепровского оледенения. Мощность морены составляет от 3–5 до 32 м, а глубина ее залегания – от 2 до 22 м. Моренные отложения представлены суглинками и глинами от зеленовато–бурого до 17 кирпично–красного цвета, содержат валуны северных кристаллических пород, местных третичных песчаников, гнезда песка, прослойки красной глины, известняки. Почвообразующими породами Каменной Степи являются желто–бурые глины, местами валунные глины, а также лессовидные палево–бурые покровные суглинки. На территории Каменной Степи разделяют 9 основных видов почвы, а точнее: обыкновенный чернозем плато и пологих склонов; смытый чернозем крутых склонов; обыкновенный выщелоченный чернозем; дерново–подзолистые почвы; солонцы; обыкновенный солонцеватый чернозем; солончаковые почвы; аллювиальные черноземные почвы пойм. Мощность гумусового горизонта самых распространенных обыкновенных черноземов составляет 30–80 см.

Грунтовые воды верхнего водоносного горизонта в районе станции залегают в основном на глубинах от 3 до 10 м на водоразделах и склонах, а в прирусловой части балок – на 1–3 м. Самые низкие уровни грунтовых вод наблюдаются традиционно в период с августа по октябрь, наивысшие, вплоть до выклинивания на дневную поверхность – после схода снежного покрова, как правило, в апреле. В отдельные годы с избыточным увлажнением в осеннее время и мощными оттепелями зимнего периода уровни грунтовых вод могут достигать отметок весеннего подъема уже в ноябре–декабре. Высотные отметки поверхности морены и зеркала грунтовых вод возрастают снизу вверх по водосбору, а уклоны и направления движения грунтовых вод в большинстве случаев соответствуют уклонам поверхности водосборов.

Метеорологическая площадка Каменная степь размещена в 1 км северо–западнее от поселка Института им. Докучаева, в центральной части поля, на равнинном участке приводораздельного плато со слабым уклоном к ЮЗ, с абсолютной отметкой 193 м. Подстилающая поверхность – многолетняя залежь с естественным лугово–степным разнотравьем. Почва – обыкновенный чернозем. Находящаяся вокруг площадки территория – слабо всхолмленная равнина с отметками в радиусе 1 км – 185–195 м, в радиусе 5 км – 140–205 м абс. В 3 км к востоку, в балке Таловая, располагается водохранилище руслового типа протяженностью 5 км с юга на север, с отметками уреза воды 140–145 м. В окрестностях метеоплощадки территория в широтном и меридиональном направлениях пересекается лесополосами. Ближайшие из них находятся в 400 м на востоке и западе. В 300 м к северу находится многолетняя залежь с кустарниковой и древесной порослью. В 100 м к югу от площадки начинается поселок станции с жилыми, хозяйственными и служебными строениями. Со всех сторон на расстоянии 20–30 метров от ограды метеорологическая площадка окружена пахотными землями. Грунтовые воды залегают на 18 глубине 2–4 м, в засушливые годы понижаются до 5,0–5,5 м. Весной их уровни могут повышаться до 0,2–0,4 м от поверхности, в очень многоводные годы вода

может выклиниваться на поверхность в южной пониженной части площадки в течение 1–2 недель.

Климат Каменной Степи континентальный, с жарким летом и умеренно холодной зимой. Самый холодный месяц – январь, самый теплый – июль. Средняя годовая температура воздуха 6,5°C. Для Каменной Степи свойственны зимние оттепели, с повышением температуры иногда до 8–10°C тепла, то, что приводит к таянию, а иногда к сходу снежного покрова. Годовая сумма осадков – 487 мм (с поправкой на смачивание осадкомерного ведра), из них 75% выпадает в жидкой фазе, остальные – в твердой и смешанной. В течение года наибольшее количество осадков бывает в июле, наименьшее в марте. Распределение осадков от года к году и внутри года весьма неравномерно. [10]

Расположение пунктов с наиболее длительным периодом наблюдений приведено в приложении А рисунок А.1.

Исходные данные по водобалансовой и метеорологической станции по температуре, упругости водяного пара и испарению приведено в приложении А таблица А.4, 6.

1.3 Расчёт испарения и погрешности по ВБС

Основной целью данного раздела является расчет испарения за период 1950–1961 год по выбранной водобалансовой станции, и выбрать самый подходящий метод для определения испарения с поверхности воды. Для этого нужно сравнить все методы: метод Константинова, *Climate explorer* и измеренные (фактические) значения, то есть рассчитать погрешность по формуле:

$$\Delta = \frac{p - \phi}{\phi} \times 100\%$$

где p – расчетное значение;

Φ – фактическое, измеренное значение.

Итоги расчёта погрешности представлен в Приложении Б в таблице Б.1.

На рисунке 1.3.1 показан выбранный метод *Climate Explorer*, так как по данному методу погрешность составляет до 330%, когда по Константинову составляло 732%.

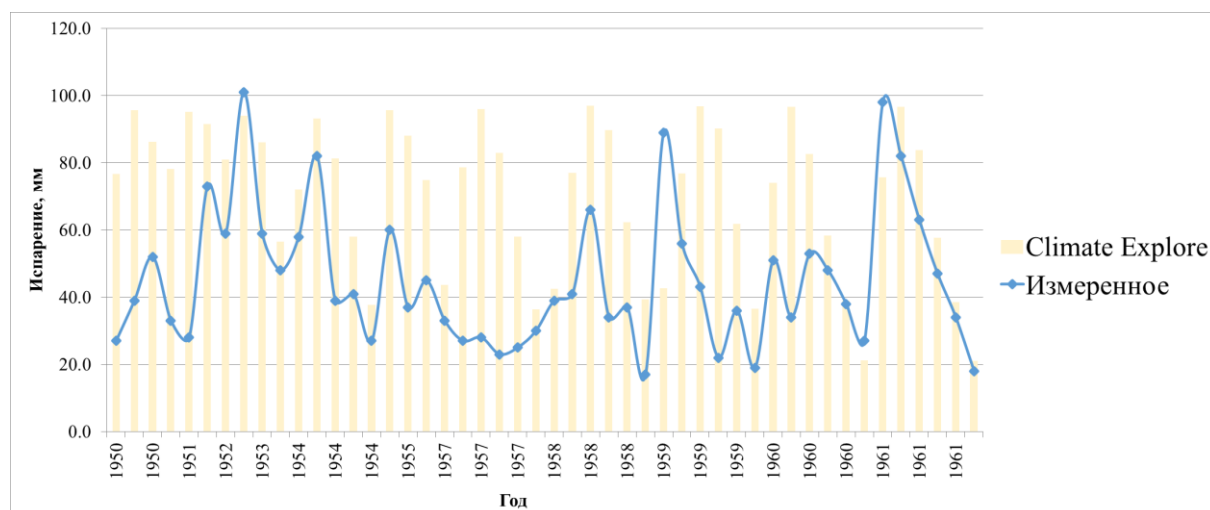


Рисунок 1.3.1 – Графики изменений испарения по измеренным значениям и по *Climate Explorer*

Теперь можно приступить к выбору станций и формированию базы данных для исследования.

1.4 Обоснование выбора объектов для исследования

Критерии выбора постов:

- Разные физико–географические и климатические районы.
- Доступна информация по всем составляющим водного баланса (осадкам, стоку, испарению).

- Водосборы должны быть зональными, т.е. площади водосборов от 1500 до 50000 км², но если воднобалансовые станции стоят на малых водосборах, то берем и их
- Ряды наблюдений без пропусков.
- Продолжительность рядов не менее 40 лет.

На основании вышеописанных критериев был осуществлен подбор одиннадцати постов для целевых расчетов, которые представлены на рисунке 1.4.1.

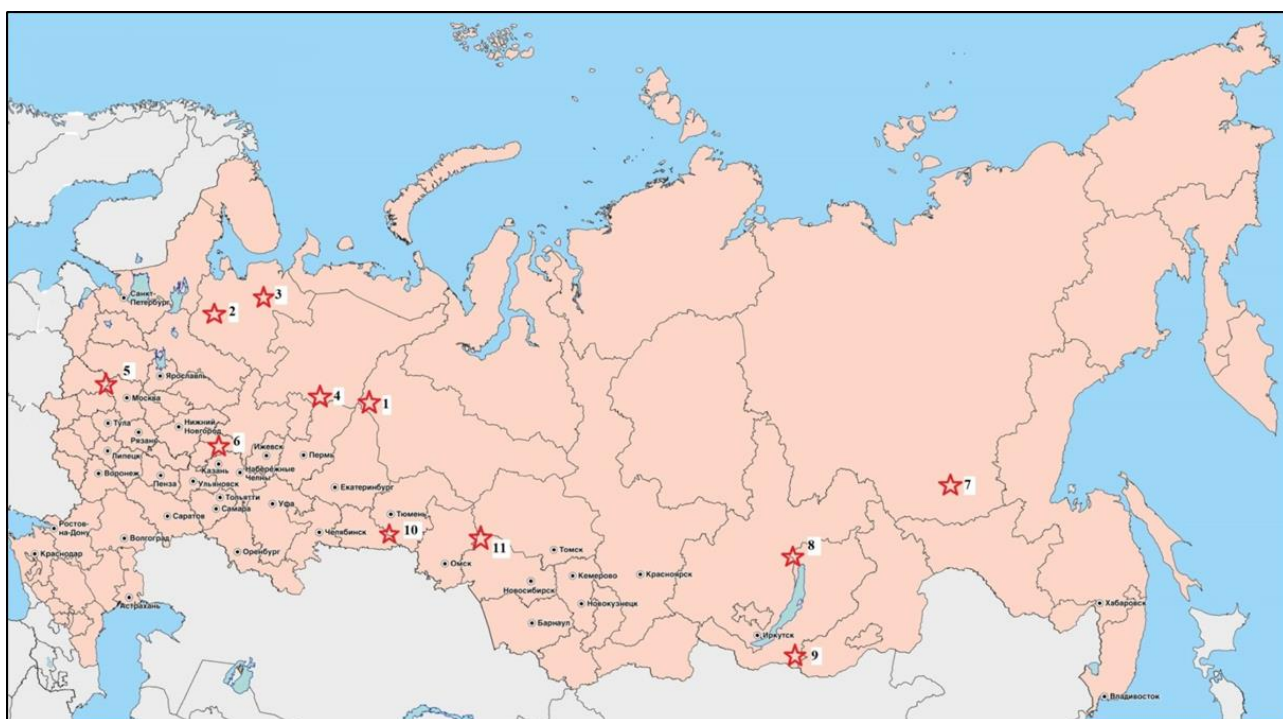


Рисунок 1.4.1 – Схема отобранных станций для исследования
влагозапасов

2 Формирование базы данных для исследования

Слой стока:

Данные по слою стока были получены из базы данных *Global Runoff Data Centre* по Европейской и Азиатской территории России.

Испарение:

Значения испарения были найдены по формуле, учитывающая номограммы Константинова [11]:

$$E = 73.17e + 4.47T + 5.05e^2 - 0.36T^2 - 0.205e^3 - 0.00317T^3 + 0.0036e^4 + 0.000401T^4 - 3.087eT - 265.49,$$

где T – температура воздуха

e – упругость водяного пара.

Примечание: для постов №5 и №6 (1951–1960 гг.) значения характеристики « e » были посчитаны по формуле Магнуса [12]:

$$e = E_0 \times 10^{at b + t},$$

где t – температура воздуха [1]

E_0 – упругость насыщения водяного пара при $T_0=273^\circ K$

a и b – безразмерные величины ($a=7,63$; $b=241,9$).

Осадки: данные по осадкам были получены из сайта *meteo.ru* [8]

2.1 Изменение суммарных влагозапасов

Изменение суммарных влагозапасов были посчитаны по формуле:

$$\Delta U = X - h - E,$$

где X – осадки, мм

h – слой стока, мм

E – испарение, мм.

Графики годовых изменений параметров водного баланса для каждого поста представлены ниже (рисунок 2.1.1–3).

Для дополнительной информации, на рисунке 2.1.4–6 показаны графики связи слоя стока и осадков по станциям №–3, показывающие, что зависимость одного от другого линейная.

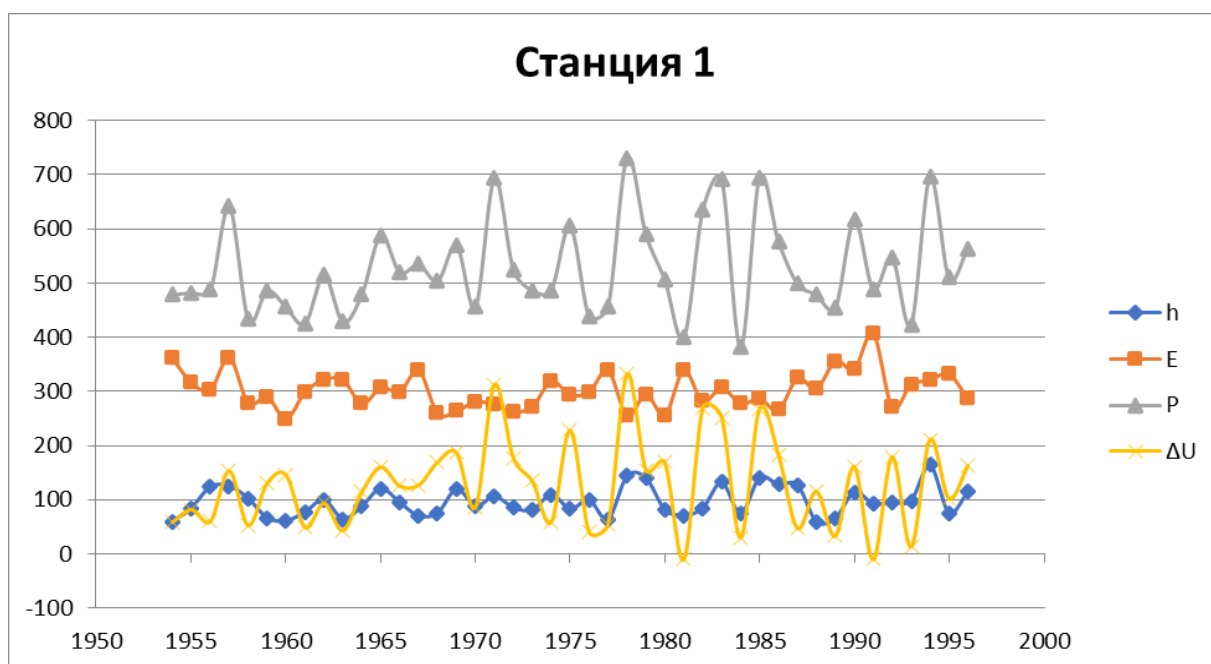


Рисунок 2.1.1 – график изменений параметров водного баланса станции 1

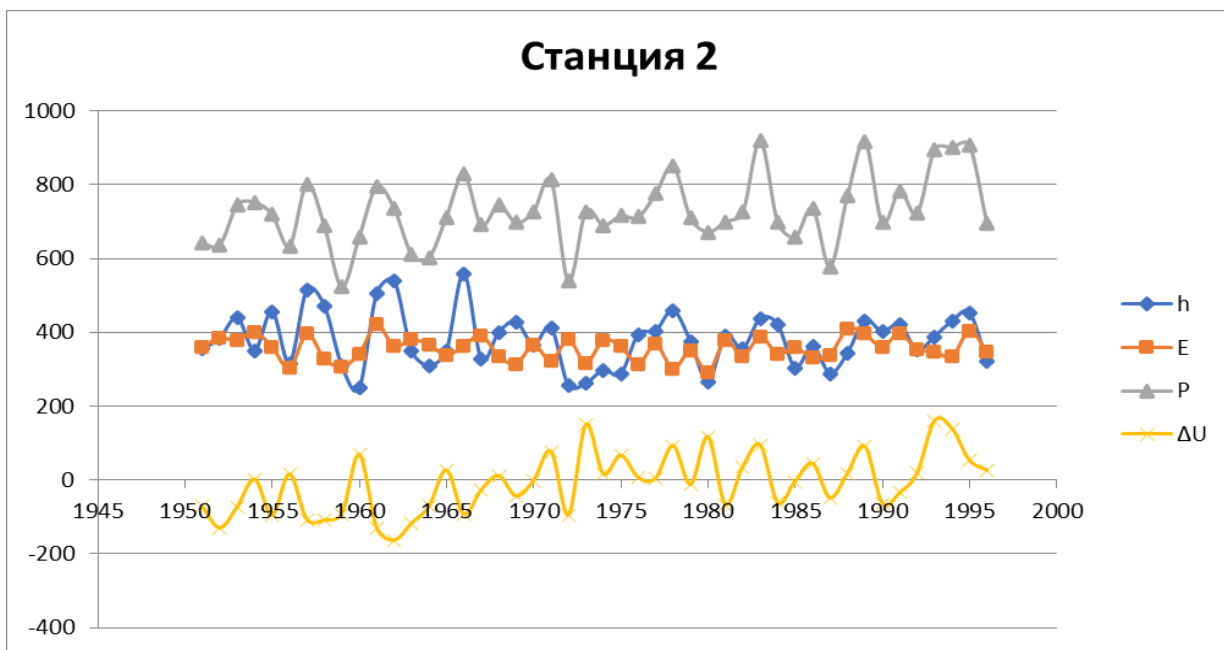


Рисунок 2.1.2 – график изменений параметров водного баланса станции 2

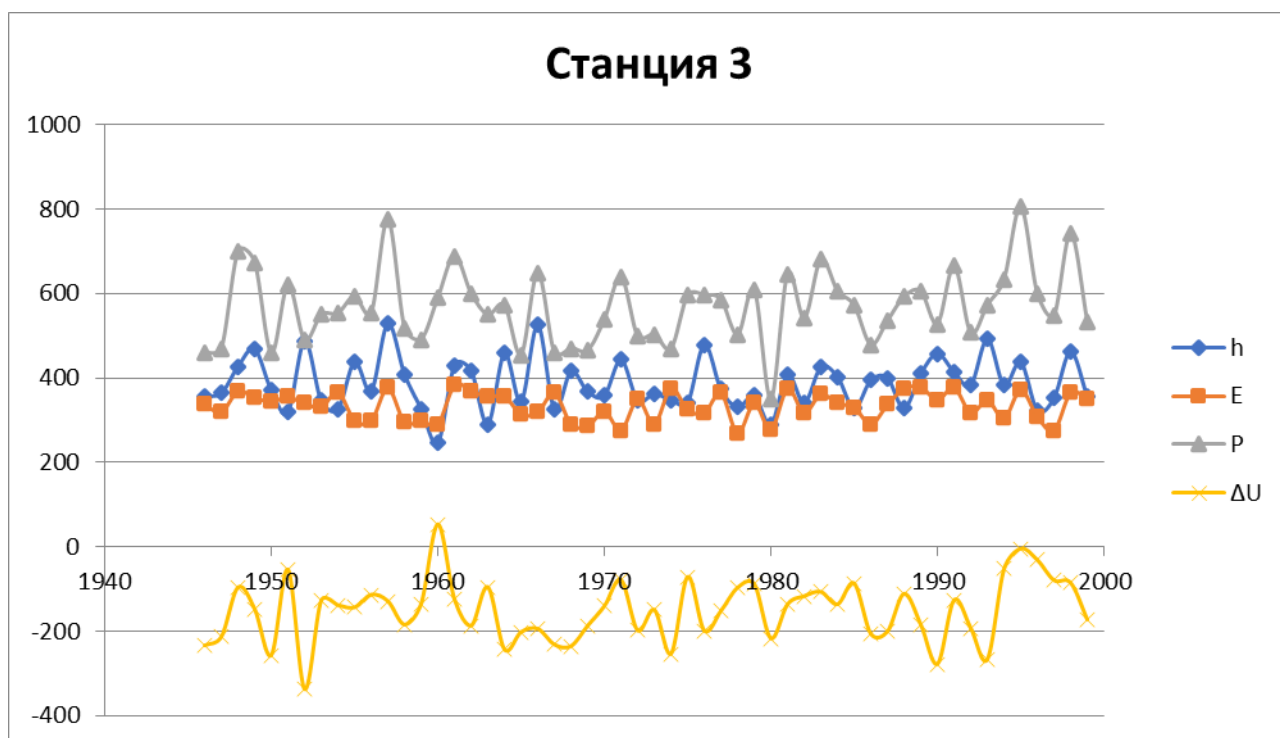


Рисунок 2.1.3 – график изменений параметров водного баланса станции 3

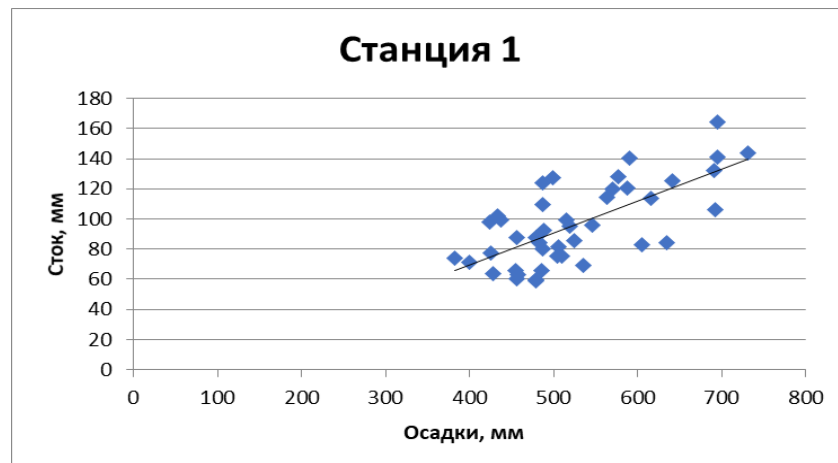


Рисунок 2.1.4 – График линейной связи между стоком и осадками на станции
№ 1

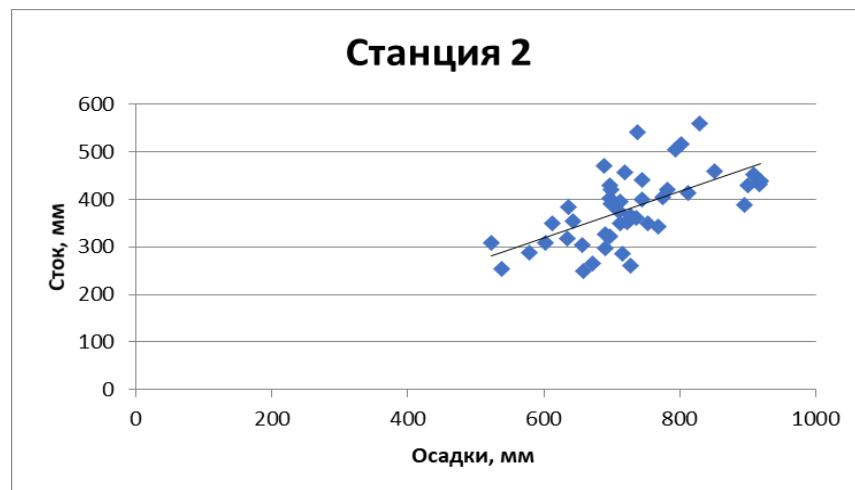


Рисунок 2.1.5 – График линейной связи между стоком и осадками на станции
№ 2

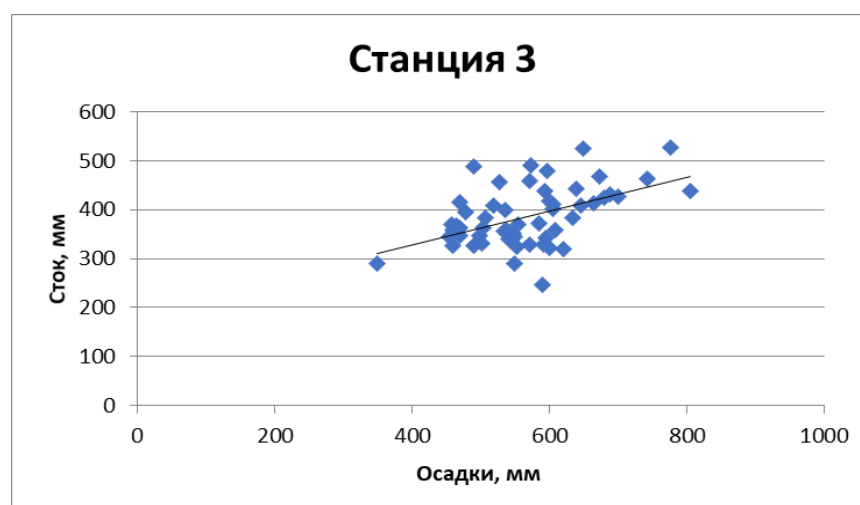


Рисунок 2.1.6 – График линейной связи между стоком и осадками на станции
№ 3

2.2 Проверка на однородность и значимость тренда

Вдобавок была проведена проверка на однородность по Фишеру и Стьюденту и на значимость тренда для каждого параметра водного баланса, результаты которой приведена в таблицах 2.2.1–2.2.2.

Таблица 2.2.1 – Результаты проверки на однородность

Река-Пост	Однородность							
	Слой стока		Испарение		Осадки		Изменение влагозапасов	
	по дисперсии	по среднему	по дисперсии	по среднему	по дисперсии	по среднему	по дисперсии	по среднему
1	-	+	-	+	+	+	+	+
2	-	+	+	+	-	-	+	-
3	+	+	-	+	-	+	+	+
4	-	+	-	+	-	-	-	+
5	+	+	+	+	+	-	+	-
6	-	+	-	+	-	+	-	+
7	-	+	-	-	+	-	-	+
8	-	+	+	+	-	+	+	-
9	-	+	+	+	+	-	-	-
10	-	+	+	+	-	-	-	-
11	-	+	+	-	-	+	+	-

Таблица 2.2.2 – Результаты проверки на значимость тренда

Река-Пост	Проверка на значимость тренда							
	Слой стока		Испарение		Осадки		Изменение влагозапасов	
	значимость	направление	значимость	направление	значимость	направление	значимость	направление
1	-	↗	-	↗	-	↗	-	↗
2	-	↘	-	↘	+	↗	+	↗
3	-	↗	-	↗	-	↗	-	↗
4	+	↗	-	↗	+	↗	-	↗
5	-	↘	-	↘	+	↗	+	↗
6	-	↗	-	↘	-	↗	-	↘
7	-	↗	+	↗	+	↗	+	↗
8	-	↗	+	↘	+	↗	+	↗
9	-	↗	+	↗	+	↗	+	↗
10	-	↗	+	↗	+	↗	+	↗
11	-	↘	+	↘	+	↗	+	↗

По дисперсии 5 неоднородных, но больший интерес представляет однородность по среднему – 6 неоднородных по среднему. Причем посты 9 и 10 неоднородны и по дисперсии, и по среднему. К данным рядам в дальнейших расчетах стоит относиться с осторожностью.

На неоднородность по влагозапасам могут влиять осадки: они не однородны в четырёх совпадениях из шести.

Анализ станций по значимости тренда:

На станции реки Северная Сосьва – Няксимволь (№ 1) тренды для слоя стока, испарения и осадков являются незначимыми и, как следовало ожидать, тренд у временного ряда влагозапасов тоже незначимый. Осадки равномерно распределяются между приходной частью.

На станции р. Онега – Казаково (№ 2) выявлены незначимые тренды для слоя стока и испарения. Для влагозапасов и осадков выявлены значимые тренды. Предполагается, что на данном водосборе происходит большее влияние осадков именно на влагозапасы. Тренды влагозапасов и осадков идут на повышение.

На станции р. Пинега – Кулогори (№ 3) ситуация с трендами по гидрометеорологическим характеристикам схожа с первой станцией: значимые тренды отсутствуют.

На станции р. Печора – Троицко-Печорск (№ 4) значимые тренды выявлены только для слоя стока и осадков. Замыкающий створ на реке Печора, Республика Коми, характеризует зону тайги, лесотундры, тундры. Для такой зоны характерно незначительное испарение. Предположительно, примерно сколько осадков выпало, столько и стекло. Влагозапасы особо не меняются. Тренды по всем гидрометеорологическим характеристикам идут на повышение.

На станции р. Волга – Старица (№ 5) выявлены значимые тренды у осадков и влагозапасов, по остальным характеристикам тренды незначимые. То есть на данном водосборе осадки больше влияют на влагозапасы. Чем больше осадки, тем больше величина влагозапасов. Водосбор находится в бассейне реки Волга, Тверская область – это зоны тайги, смешанных лесов, степей. Следует отметить, что территория покрыта в основном широколиственными лесами, значит, преобладает транспирация. Данный факт сказывается на величине испарения, которая обладает малой вариацией. Осадки – это единственный параметр, имеющий резкие изменения значений. И эти

изменения большее влияние оказывают на влагозапасы. Слой стока и испарение оба идут на понижение, когда осадки и влагозапасы на повышение.

На станции р. Вятка – Киров (№ 6) ситуация с трендами по гидрометеорологическим характеристикам схожа с первой и третьей станциями, отличие заключается в направлении тренда – тренд идет на понижение.

На станции р. Алдан – Томмот (№ 7) тренд незначим только для слоя стока. Испарение, осадки и влагозапасы имеют значимые тренды. Выявлено, что на влагозапасы очень влияет испарение и осадки. Значения всех параметров идут на увеличение. Аналогично и на станциях 9 (р. Чикой – поворот) и 10 (р. Пишма – Богадинское). Эти станции расположены ближе к югу России, чем предыдущие станции.

На станции р. Киренга – Шорохово (№ 8) только испарение идет на понижение, когда остальные три параметра на повышение.

На станции р. Иртиш – Тара (№ 11) тренды слоя стока и испарения идут на понижение, тренды осадков и влагозапасов – на повышение.

3 Статистическая обработка рядов

Статистическая обработка параметров водного баланса осуществлялась методом моментов [13]. Ниже приведены формулы по данному метода для каждой характеристики, а также результаты расчетов по каждому параметру и по каждому посту (таблицы 3.1– 4).

Среднее значение:

$$x_{\text{ср}} = \frac{\sum x_i}{n} ,$$

n – длина ряда

Среднеквадратическое отклонение:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (x_i - x_{\text{ср}})^2}{n}}$$

Коэффициент вариации:

$$C_v = \frac{\sigma}{x_{\text{ср}}}$$

Коэффициент асимметрии:

$$C_s = \frac{\mu_3}{\sigma_x^3}$$

Погрешность среднего значения:

$$\varepsilon_{ср.зн} = \frac{C_v}{\sqrt{n}} \times 100\%$$

Погрешность коэффициента вариации:

$$\varepsilon_{C_v} = \frac{1}{n + 4C_v^2} \sqrt{\frac{n(1 + C_v^2)}{2}} 100\%$$

Таблица 3.1 – Статистические характеристики слоя стока

№ поста	Слой стока, мм					
	ср.	ско	Cv	Cs	ε _{ср. зн.} , %	ε _{Cv} , %
1	96	27	0,28	0,54	4	1,10
2	380	75	0,20	0,31	3	1,06
3	387	61	0,16	0,34	2	0,97
4	542	76	0,14	0,21	2	1,04
5	147	38	0,26	0,59	4	1,12
6	362	73	0,20	−0,07	3	1,12
7	534	105	0,20	−0,07	3	1,06
8	645	96	0,15	0,09	2	1,11
9	269	77	0,29	0,77	4	1,11
10	43	22	0,50	0,74	7	1,06
11	9	4	0,43	0,43	6	1,05

Таблица 3.2 – Статистические характеристики испарения

№ поста	Испарение, мм					
	ср.	ско	Cv	Cs	ε _{ср. зн.} , %	ε _{Cv} , %
1	302	34	0,11	0,76	2	1,08
2	356	32	0,09	−0,09	1	1,05

№ поста	Испарение, мм					
	ср.	ско	Cv	Cs	$\epsilon_{\text{ср. зн.}}, \%$	$\epsilon_{Cv}, \%$
3	333	33	0,10	−0,27	1	0,97
4	316	34	0,11	−0,04	2	1,04
5	466	6	0,01	−0,24	0	1,09
6	379	24	0,06	0,13	1	1,11
7	264	31	0,12	−0,09	2	1,05
8	291	27	0,09	−0,39	1	1,11
9	315	18	0,06	−0,55	1	1,08
10	373	34	0,09	−0,28	1	0,97
11	359	31	0,09	0,31	1	0,98

Таблица 3.3 – Статистические характеристики осадков

№ поста	Осадки, мм					
	ср.	ско	Cv	Cs	$\epsilon_{\text{ср. зн.}}, \%$	$\epsilon_{Cv}, \%$
1	527	89	0,17	0,71	3	1,09
2	728	93	0,13	0,26	2	1,05
3	568	88	0,16	0,41	2	0,97
4	610	86	0,14	0,44	2	1,04
5	620	120	0,19	0,20	3	1,11
6	574	85	0,15	−0,07	2	1,11
7	509	101	0,20	0,01	3	1,06
8	400	70	0,17	0,18	3	1,12
9	474	134	0,28	−0,25	4	1,11
10	475	100	0,21	0,73	3	0,98
11	424	74	0,18	0,31	2	0,99

Таблица 3.4 – Статистические характеристики суммарных влагозапасов

№ поста	Изменение влагозапасов, мм					
	ср.	ско	C_v	C_s	$\varepsilon_{\text{ср. зн.}}, \%$	$\varepsilon_{C_v}, \%$
1	128	84	0,65	0,49	10	1,24
2	–8	81	–9,64	0,19	–142	1,11
3	–152	74	–0,49	0,11	–7	1,05
4	–247	93	–0,38	0,33	–5	1,09
5	6	106	16,53	0,06	255	0,67
6	–167	82	–0,49	–0,31	–8	1,20
7	–289	112	–0,39	–0,15	–6	1,10
8	–536	88	–0,17	–0,24	–3	1,12
9	–110	117	–1,07	–0,41	–16	1,43
10	59	89	1,51	0,65	21	1,49
11	56	77	1,36	0,34	19	1,45

Нахождение погрешности среднего значения связана с длиной ряда, а именно чем длиннее ряд, тем меньше погрешность. Именно поэтому данный метод показывает малые проценты погрешности среднего значения таких характеристик как слой стока, испарение и осадки, ибо длина каждого ряда составляет не менее 40 лет.

С влагозапасами ситуация обстоит немного иначе. Это знакопеременная величина: она может быть как положительная, так и отрицательная и поэтому погрешности среднего по влагозапасам имеют и разные знаки, и большой разброс значений. В этой работе она варьирует от –142 % до +255 %.

Также стоит отметить, что коэффициент вариации имеет слишком большие значения, так как деление происходит на значение близкое к нулю. Бывает и отрицательное C_v по причине того, что математическое ожидание

отрицательно. По этой причине стоит поставить вопрос о правомерности использования метода моментов для величины с переменным знаком.

Вследствие вышеперечисленного было принято решение провести оценку погрешности для каждого года.

4 Оценка погрешности

Было принято решение посчитать погрешность ещё другим способом, по самой большой (предельной) погрешности:

$$\delta_{dU} = \sqrt{(\varepsilon_h \times h)^2 + (\varepsilon_E \times E)^2 + (\varepsilon_P \times P)^2},$$

где ε_h – относительная погрешность слоя стока

ε_E – относительная погрешность испарения

ε_P – относительная погрешность осадков

h – слой стока, мм

E – испарение, мм

P – осадки, мм

И если dU больше, чем сама погрешность δ_{dU} , то величине можно доверять, то есть она не находится в пределах погрешности.

Относительные погрешности были заданы исходя из общих знаний: для слоя 10 %, для испарения 15 %, для осадков 5%. Уровень доверия взято равным 68,3 %, 95,4 % и 99,7 %.

Результаты приведены в таблице 4.1.

Из 43-х лет на станции № 1 получилось 11 значений, погрешность которых больше, чем сама величина.

На станции № 3, у которого длина ряда 54 года, получилось 5 значений, которым нельзя доверять.

24-м значениям нельзя доверять на 10-й станции, где тоже 54 года наблюдений.

Остальные станции приведены в Приложении Б в таблице Б.2–Б.4.

Для более наглядного представления посчитано процентное содержание не доверительных значений по всем станциям и сведены в таблицу 4.2.

Таблица 4.1 – Результаты оценки погрешности с доверительными погрешностями

<i>n</i>	Станция 1			Станция 3			Станция 10		
	68,3 %	95,4 %	99,7 %	68,3 %	95,4 %	99,7 %	68,3 %	95,4 %	99,7 %
1	0	0	0	–234	–234	–234	–108	0	0
2	82	0	0	–214	–214	–214	0	0	0
3	61	0	0	–96	0	0	0	0	0
4	153	153	0	–148	0	0	0	0	0
5	53	0	0	–257	–257	–257	0	0	0
6	130	130	0	0	0	0	–95	0	0
7	146	146	146	–338	–338	–338	0	0	0
8	0	0	0	–127	0	0	62	0	0
9	94	0	0	–138	0	0	0	0	0
10	0	0	0	–144	–144	0	0	0	0
11	114	114	0	–114	0	0	0	0	0
12	161	161	0	–129	0	0	–80	0	0
13	126	126	0	–185	–185	0	0	0	0
14	127	127	0	–135	–135	0	114	114	0
15	169	169	169	0	0	0	85	0	0
16	187	187	187	–125	0	0	0	0	0
17	87	0	0	–187	–187	0	0	0	0
18	312	312	312	–96	0	0	0	0	0
19	177	177	177	–244	–244	–244	0	0	0
20	135	135	0	–202	–202	–202	0	0	0
21	59	0	0	–195	–195	0	86	0	0
22	228	228	228	–232	–232	–232	0	0	0
23	0	0	0	–236	–236	–236	0	0	0
24	0	0	0	–187	–187	–187	81	0	0
25	331	331	331	–141	–141	0	185	185	185
26	155	155	0	–79	0	0	159	159	0
27	169	169	169	–199	–199	0	163	163	0
28	0	0	0	–150	–150	0	75	0	0
29	269	269	269	–254	–254	–254	–60	0	0

<i>n</i>	Станция 1			Станция 3			Станция 10		
	68,3 %	95,4 %	99,7 %	68,3 %	95,4 %	99,7 %	68,3 %	95,4 %	99,7 %
30	252	252	252	−71	0	0	81	0	0
31	0	0	0	−199	−199	0	83	0	0
32	268	268	268	−152	−152	0	0	0	0
33	183	183	183	−97	0	0	299	299	299
34	0	0	0	−89	0	0	68	0	0
35	116	116	0	−217	−217	−217	98	0	0
36	0	0	0	−137	0	0	0	0	0
37	161	161	0	−117	0	0	66	0	0
38	0	0	0	−107	0	0	183	183	0
39	179	179	179	−137	0	0	86	0	0
40	0	0	0	−87	0	0	0	0	0
41	211	211	211	−207	−207	−207	125	0	0
42	103	0	0	−201	−201	0	0	0	0
43	163	163	163	−112	0	0	0	0	0
44				−185	−185	0	0	0	0
45				−278	−278	−278	295	295	295
46				−127	0	0	0	0	0
47				−193	−193	0	143	143	0
48				−267	−267	−267	81	0	0
49				0	0	0	0	0	0
50				0	0	0	78	0	0
51				0	0	0	0	0	0
52				−80	0	0	232	232	232
53				−86	0	0	165	165	0
54				−173	−173	0	193	193	0

Таблица 4.2 – Процентное содержание не доверительных значений

№	Число лет	% доверительных
1	43	79
2	46	46

№	Число лет	% доверительных
3	54	91
4	47	96
5	42	40
6	41	93
7	46	98
8	41	100
9	43	70
10	54	56
11	52	48

В результате расчетов можно сделать вывод, что станции с наибольшим количеством незначимыми значениями это № 2 река Онега – Казаково, расположенная на Северо–Западе России, станции № 10 река Пишма – Богадинское и № 11 р. Иртыш – Тара, которые из всех считаются одними из южных станций России. Самое наибольшее процентное содержание у станции р. Волга – Старица, расположенное в Европейской части России – 60 %.

И в качестве эксперимента погрешности были увеличены, чтобы учесть максимальные возможные погрешности. Для слоя погрешности были увеличены до 15 %, для испарения – 25 %, для осадков – 7 %. Результаты приведены в таблице 4.3.

Таблица 4.3 – Результаты экспериментальных погрешностей с доверительными погрешностями

n	Станция 2			Станция 7			Станция 10		
	68,3 %	95,4 %	99,7 %	68,3 %	95,4 %	99,7 %	68,3 %	95,4 %	99,7 %
1	0	0	0	–305	–305	–305	–108	0	0
2	–131	0	0	–275	–275	0	0	0	0
3	0	0	0	–450	–450	–450	0	0	0

n	Станция 2			Станция 7			Станция 10		
	68,3 %	95,4 %	99,7 %	68,3 %	95,4 %	99,7 %	68,3 %	95,4 %	99,7 %
4	0	0	0	-483	-483	-483	0	0	0
5	0	0	0	-370	-370	0	0	0	0
6	0	0	0	-500	-500	-500	0	0	0
7	0	0	0	-277	-277	0	0	0	0
8	0	0	0	-391	-391	-391	0	0	0
9	0	0	0	-549	-549	-549	0	0	0
10	0	0	0	-453	-453	-453	0	0	0
11	0	0	0	-239	-239	0	0	0	0
12	-164	0	0	-379	-379	-379	0	0	0
13	-118	0	0	-111	0	0	0	0	0
14	0	0	0	-181	0	0	114	0	0
15	0	0	0	-206	-206	0	0	0	0
16	0	0	0	-289	-289	-289	0	0	0
17	0	0	0	-351	-351	-351	0	0	0
18	0	0	0	-361	-361	-361	0	0	0
19	0	0	0	-275	-275	0	0	0	0
20	0	0	0	-108	0	0	0	0	0
21	0	0	0	-189	0	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23	150	0	0	-316	-316	-316	0	0	0
24	0	0	0	-243	-243	0	0	0	0
25	0	0	0	-303	-303	0	185	0	0
26	0	0	0	-319	-319	-319	159	0	0
27	0	0	0	-282	-282	0	163	0	0
28	0	0	0	-358	-358	0	0	0	0
29	0	0	0	-397	-397	0	0	0	0
30	117	0	0	-427	-427	-427	81	0	0
31	0	0	0	-336	-336	-336	0	0	0
32	0	0	0	-111	0	0	0	0	0
33	0	0	0	-142	0	0	299	299	0

n	Станция 2			Станция 7			Станция 10		
	68,3 %	95,4 %	99,7 %	68,3 %	95,4 %	99,7 %	68,3 %	95,4 %	99,7 %
34	0	0	0	-124	0	0	0	0	0
35	0	0	0	-274	-274	0	98	0	0
36	0	0	0	-229	0	0	0	0	0
37	0	0	0	-290	-290	0	0	0	0
38	0	0	0	-174	0	0	183	0	0
39	0	0	0	-252	-252	0	0	0	0
40	0	0	0	-184	0	0	0	0	0
41	0	0	0	-249	-249	0	125	0	0
42	0	0	0	-211	-211	0	0	0	0
43	161	0	0	-278	-278	0	0	0	0
44	139	0	0	-413	-413	0	0	0	0
45	0	0	0	-311	-311	0	295	295	0
46	0	0	0	-255	-255	0	0	0	0
47							143	0	0
48							0	0	0
49							0	0	0
50							0	0	0
51							0	0	0
52							232	232	0
53							165	0	0
54							193	0	0

Следует отметить, что, исходя из таблицы 3, значений останется очень мало. В результате расчетов вышло, что если судить по процентному содержанию не доверительных значений, то на 7-й станции получились очень большие значения dU , не доверительных всего 1 %, а остальным можно доверять. Станция № 2 и № 10 имеют большой процент не доверительных значений: 85 % и 72 % соответственно.

Можно предположить, что рассчитанные не доверительные интервалы стоит исключить, но это не так. По теории $dU \rightarrow 0$, и если их убрать, то можно потерять нулевые значения, а так погрешность больше и нужно проанализировать все значения.

5 Фрактальная диагностика рядов изменения суммарных влагозапасов на водосборах

5.1 Интегральный метод

Этот метод показывает сколько переменных учувствует в изучаемом процессе, тем самым предоставляет необходимую информацию для надежных прогнозов. Недостатки метода: самый сложный, самый трудоёмкий и требует продуманного подбора расчетных параметров.

В данном методе последовательность измерений, взятая с временной сдвижкой τ , рассматривается в качестве компонент вектора, описывающего систему. По рядам со сдвижками строятся псевдоаттракторы, для каждого из которых определяется нарастающий (стремящийся к единице) корреляционный интеграл (или корреляционная сумма – отношение числа точек, расстояния между которыми меньше заданных расстояний r , к общему числу точек), входящий в выражение для вычисления фрактальной (корреляционной) размерности:

$$D = \lim_{r \rightarrow 0} (\ln (C(r)) / \ln r)$$

Результатом вычислений является неизменяющееся значение размерности при последовательных сдвижках τ , то есть кривая насыщения становится прямой. [14]

На рисунке 5.1.1–12 указаны графики, по которым был проведен анализ по 3–м станциям. Остальные графики приведены в Приложении Б на рисунке Б.1–Б.28. В таблице 1 представлены результаты расчета. Прочерк – это означает, что кривая насыщения не вышла напрямую.

По итогу расчета (таблица 5.1.1) по данному методу можно прийти к следующим выводам для объяснения размерности у суммарных влагозапасов:

Никакой связи обнаружено не было между влагозапасами со стоком и испарением, так как это разные предметные области, разные характеристики процессов, происходящих на водосборе.

Если немного подробнее рассмотреть вопрос о том, что может быть связано с исследуемой характеристикой, тогда это можно предположить, на примере таких станций как № 4, 6, 10, где размерность dU составляет 4–м: возможно изменение влажности в почвогрунтах, испарение с поверхности почвы, с зоны аэрации, подповерхностный сток, а также грунтовые воды (насколько близко они расположены к поверхности). Также на примере станции № 9, которая находится в АТР, можно предположить о влиянии такого большого водного объекта как озеро Байкал.

Таблица 5.1.1 – Результаты интегрального метода

Река	Пост	Сток		Испарение		Осадки		Влагозапасы		Число f и r				Примечание
		ф.р.	р.п.в.	ф.р.	р.п.в.	ф.р.	р.п.в.	ф.р.	р.п.в.	h	E	P	dU	
Северная Сосьва	Няксимволь	1,95	2	2,90	3	2,8	3	1,90	2	4–6	6–5	6–9	6–4	h: кривая хотела загнуться на 2–ке, но пошла на вверх E: хотела загнуться на 3–ке, но пошла на вверх P: загнулась на 3–ке, но в итоге пошла на вверх dU:могла загнуться на 2–ке, но в итоге пошла на вверх
Онега	Казаково	–	–	6,9	7	4,9	5	3	3	–	6–5	6–5	5–7	E: почти загнулась P: загнулась

Река	Пост	Сток		Испарение		Осадки		Влагозапасы		Число f и r				Примечание
		ф.р.	р.п.в.	ф.р.	р.п.в.	ф.р.	р.п.в.	ф.р.	р.п.в.	h	E	P	dU	
														полностью dU : загнулась полностью
Пинега	Кулогори	5,6	6	4,5	5	3,7	4	2,5	3	6–7	6–5	5–5	5–8	h : загнулась до конца в право E : могла загнуться на 5–ке, но в итоге нет P : вышла на прямую dU : могла выйти на прямую на 3– ке, но не вышла
Печора	Троицко– Печорск	1,90	2	5	5	3,99	4	3,5	4	5–7	6–5	6–7	6–7	h : могла загнуться на 2–ке, но нет E : вышла P : на 4 могла выйти на прямую, но пошла на

Река	Пост	Сток		Испарение		Осадки		Влагозапасы		Число f и r				Примечание
		ф.р.	р.п.в.	ф.р.	р.п.в.	ф.р.	р.п.в.	ф.р.	р.п.в.	h	E	P	dU	
														вверх dU: могла выйти на прямую на 2 и 3,5, потом пошла на вверх, затем полностью загнулась на 3,5
Волга	Старица	4,1	5	4,5	5	—	—	2,90	3	6–8	6–6	—	5–6	h: загнулась до конца в право E: загнулась P: линейный график dU: могла выйти на прямую на 3, но пошла дальше на вверх
Вятка	Киров	3,2	4	2,5	3	3,5	4	3,5	4	6–9	5–6	4–8	6–6	h: загнулась и плавно пошла вниз E: могла выйти на

Река	Пост	Сток		Испарение		Осадки		Влагозапасы		Число f и r				Примечание
		ф.р.	р.п.в.	ф.р.	р.п.в.	ф.р.	р.п.в.	ф.р.	р.п.в.	h	E	P	dU	
														прямую на 2,5 P : начала загибаться на 3,5 dU : загнулась
Алдан	Томмот	3,5	4	1,90	2	—	—	4,2	5	5–7	6–6	—	6–6	h : загнулась E : есть прогиб на 2–ке, но не вышла на прямую P : линейный график dU : загнулась
Киренга	Шорохово	3,5	4	1,5	2	2,5	3	—	—	5–7	6–6	5–7	—	h : хочет загнуться на 3,5, но пошла на вверх E : начала загибаться на 1,5, но не вышла на прямую P : могла загнуться на 3–ке,

Река	Пост	Сток		Испарение		Осадки		Влагозапасы		Число f и r				Примечание
		ф.р.	р.п.в.	ф.р.	р.п.в.	ф.р.	р.п.в.	ф.р.	р.п.в.	h	E	P	dU	
														но нет dU : не загнулась
Чикой	Поворот	4,5	5	3,7	4	1,5	2	1,85	2	6–7	5–8	6–9	6–4	h : загнулась E : загнулась P : попытка выйти на прямую на 2 dU : на 2 могла выйти на прямую, но пошла на вверх
Пишма	Богадинское	3,5	4	–	–	3,5	4	3,2	4	6–7	–	5–8	5–6	h : попытка выйти на прямую на 3, но пошла на вверх E : не вышла на прямую P : попытка выйти на прямую на 3,5 dU : попытка

Река	Пост	Сток		Испарение		Осадки		Влагозапасы		Число f и r				Примечание
		ф.р.	р.п.в.	ф.р.	р.п.в.	ф.р.	р.п.в.	ф.р.	р.п.в.	h	E	P	dU	
														выйти на прямую на 3,2
Иртыш	Тара	4,5	5	4,5	5	4,01	4	2,8	3	5–8	6–9	6–8	6–6	h : загнулась и чуть пошла вниз E : вышла на прямую P : загнулась dU : есть прогиб на 2,8, но затем пошла на вверх

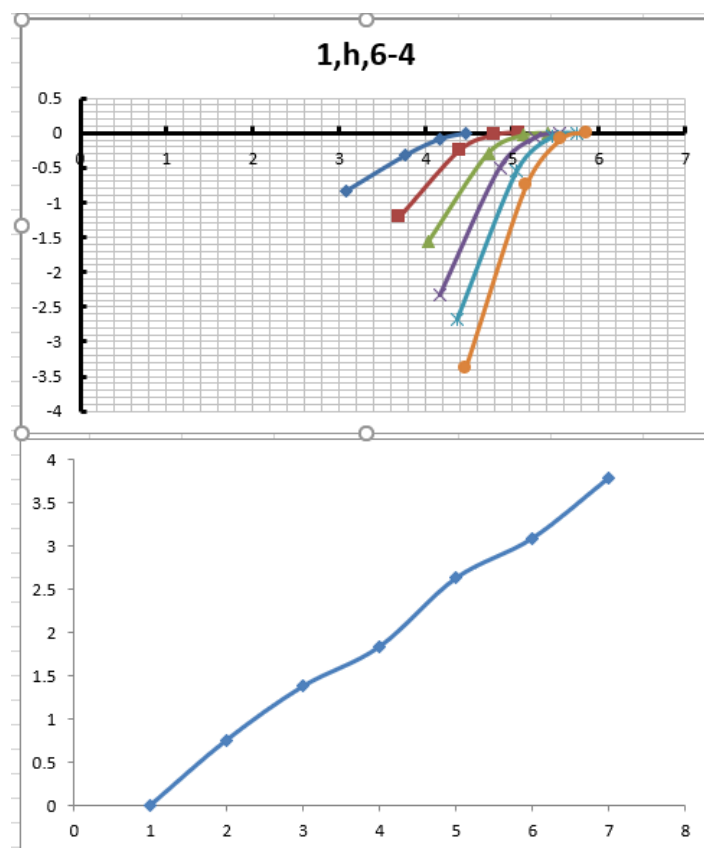


Рисунок 5.1.1 – График кривой насыщения станции № 1 по стоку.

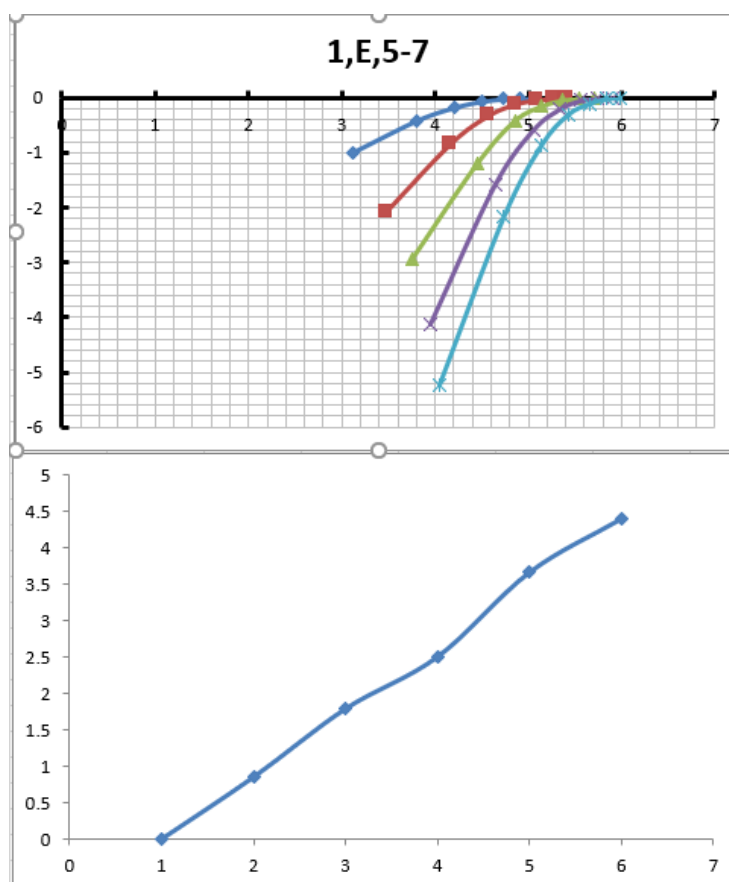


Рисунок 5.1.2 – График кривой насыщения станции № 1 по испарению.

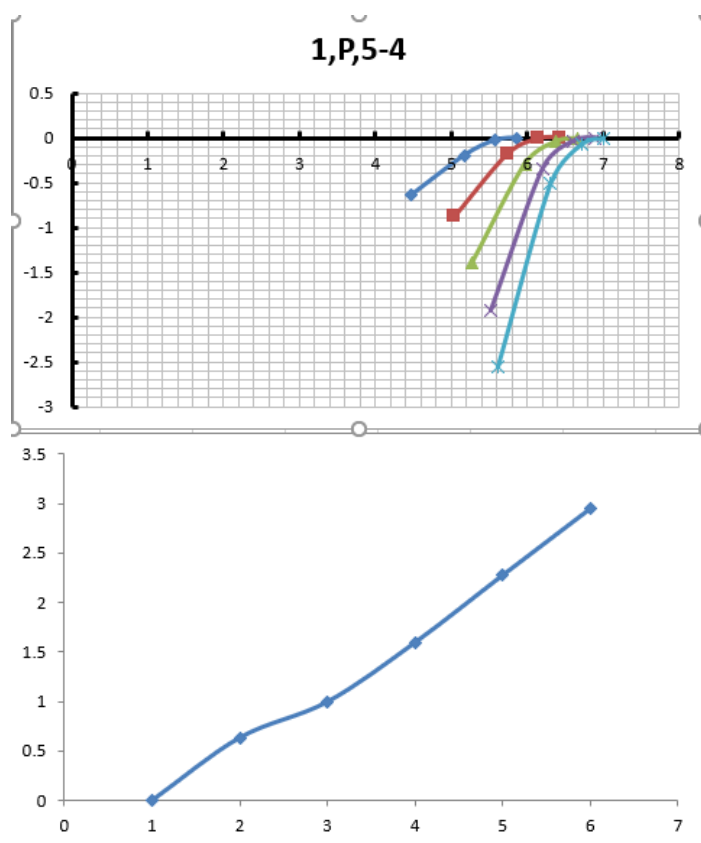


Рисунок 5.1.3 – График кривой насыщения станции № 1 по осадкам.

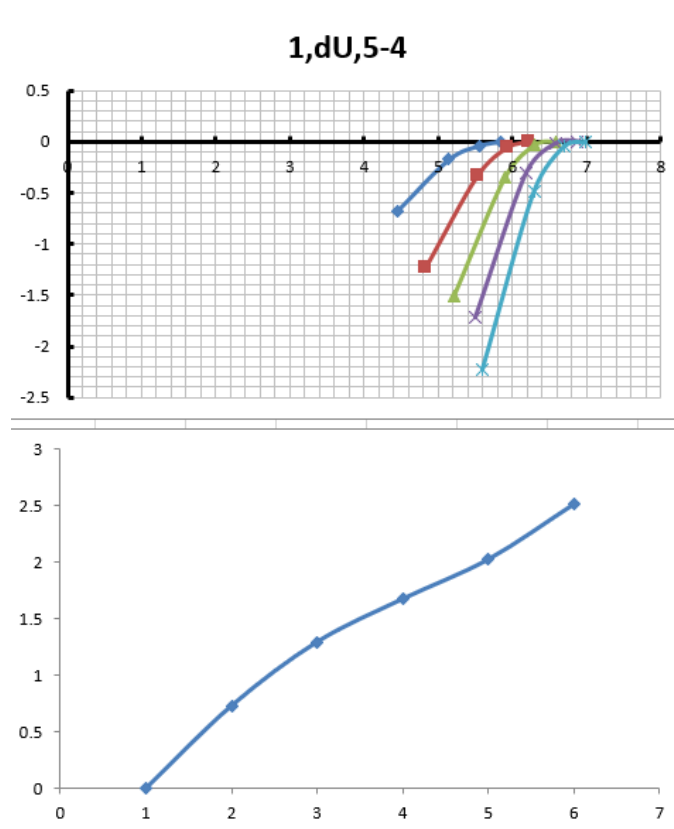


Рисунок 5.1.4 – График кривой насыщения станции № 1 по влагозапасам.

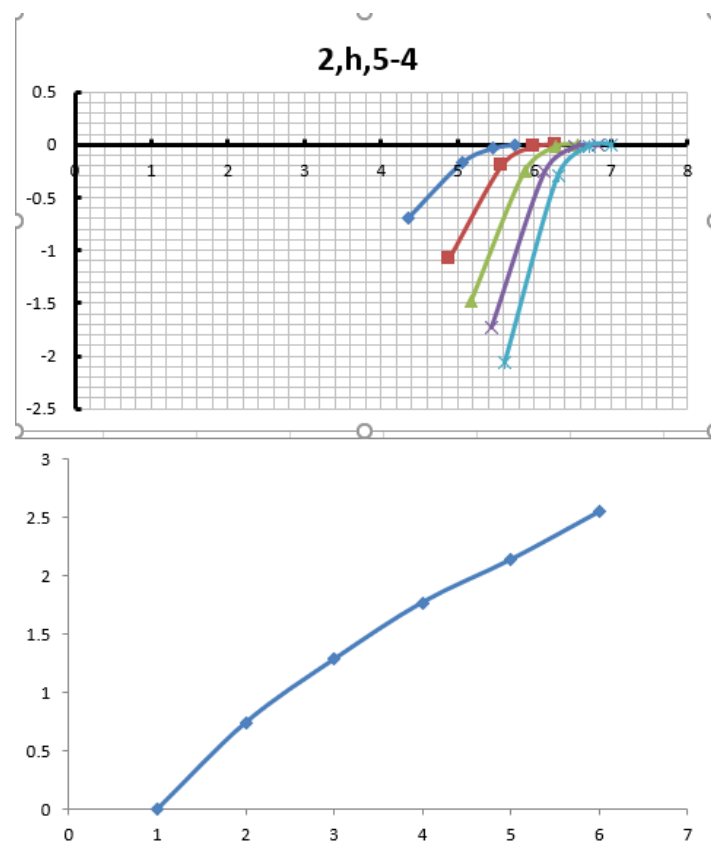


Рисунок 5.1.5 – График кривой насыщения станции № 2 по стоку.

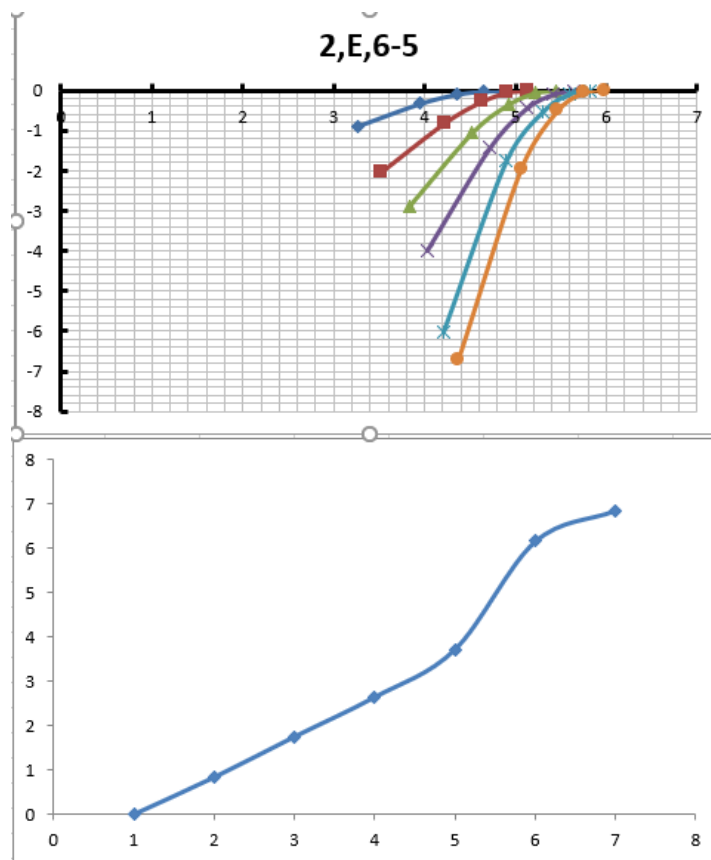


Рисунок 5.1.6 – График кривой насыщения станции № 2 по испарению.

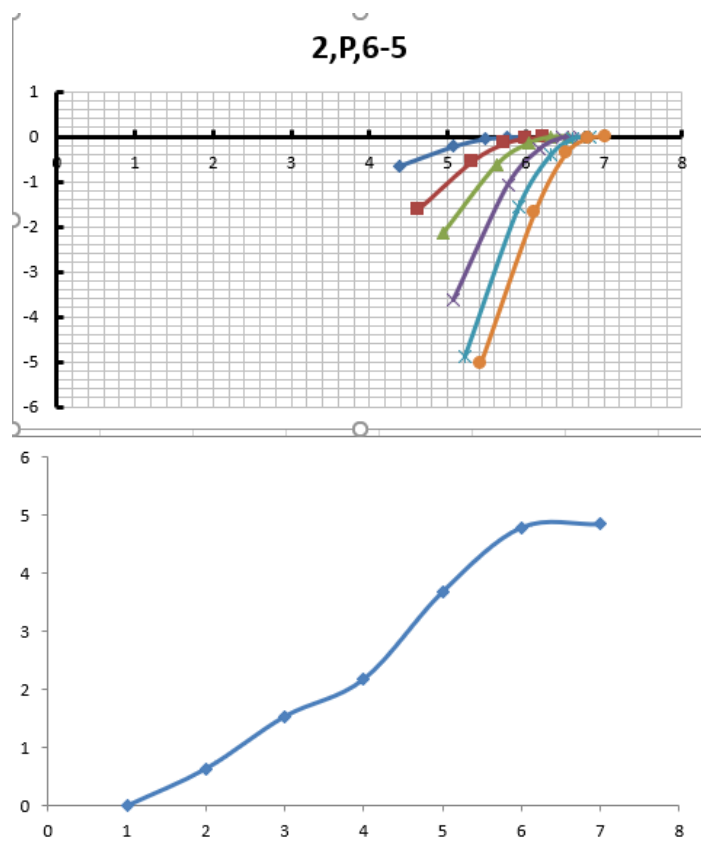


Рисунок 5.1.7 – График кривой насыщения станции № 2 по осадкам.

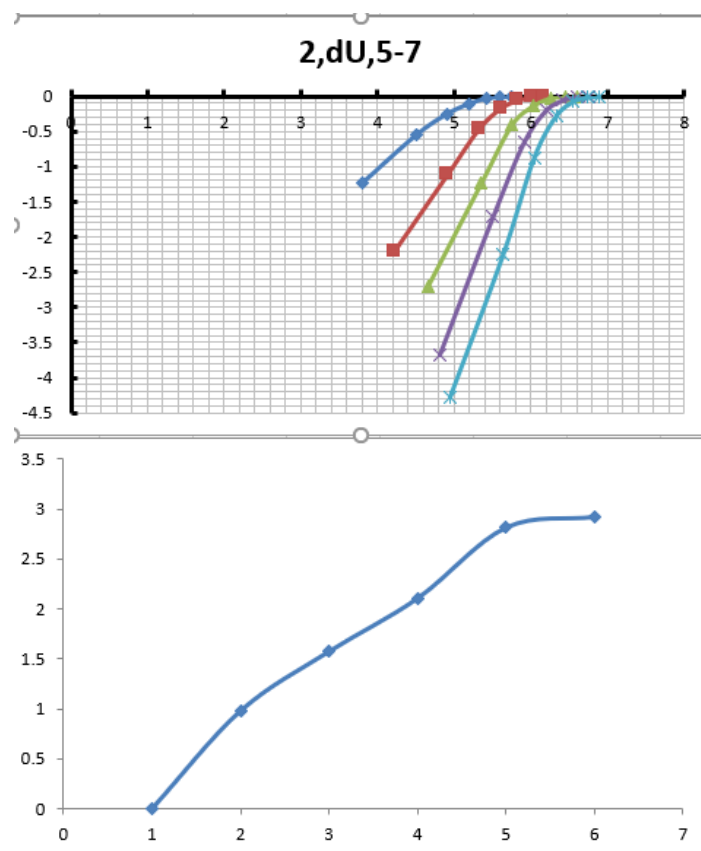


Рисунок 5.1.8 – График кривой насыщения станции № 2 по влагозапасам.

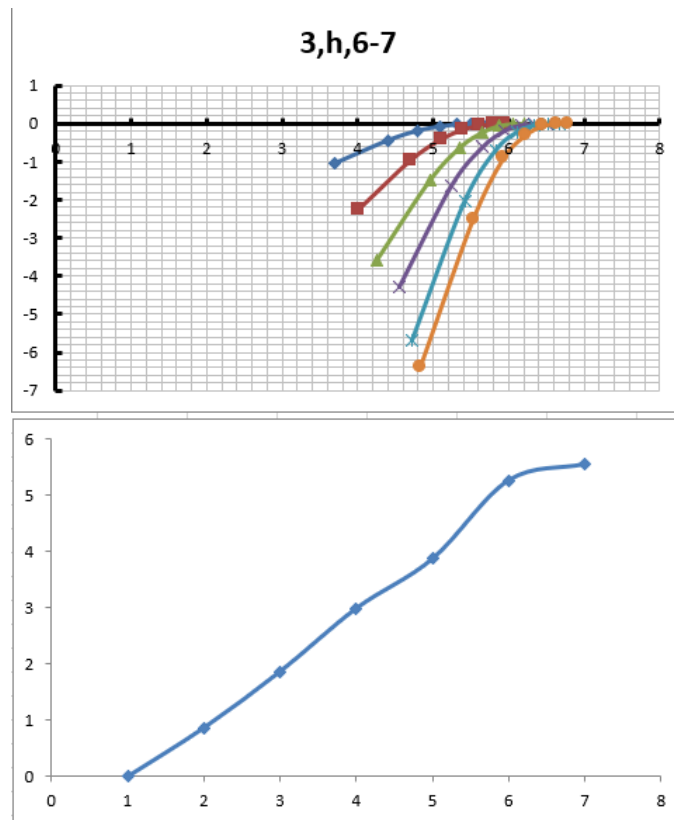


Рисунок 5.1.9 – График кривой насыщения станции № 3 по стоку.

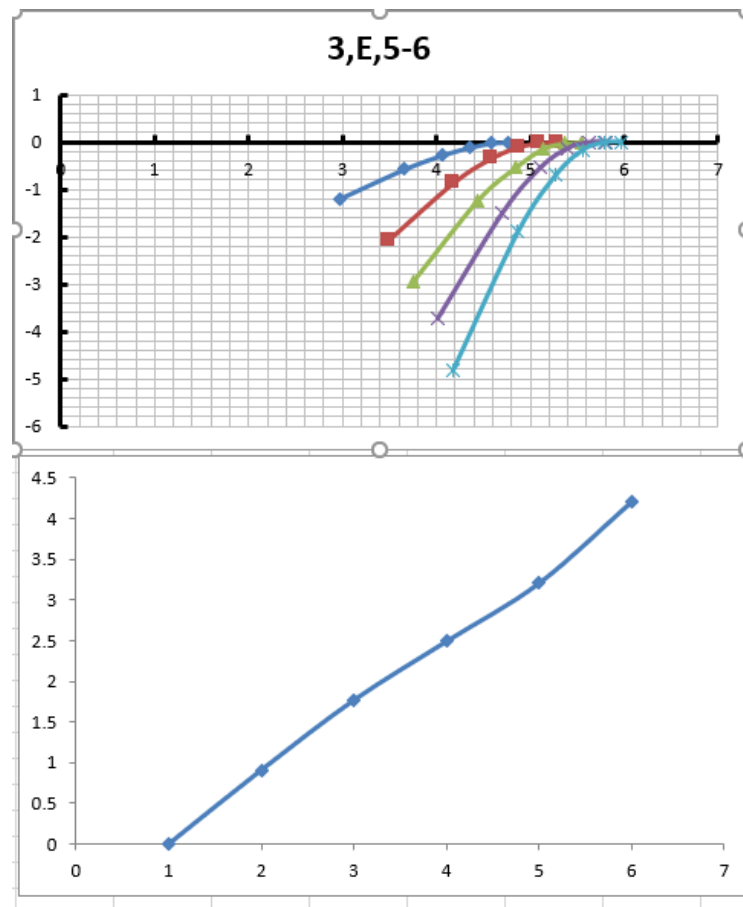


Рисунок 5.1.10 – График кривой насыщения станции № 3 по испарению.

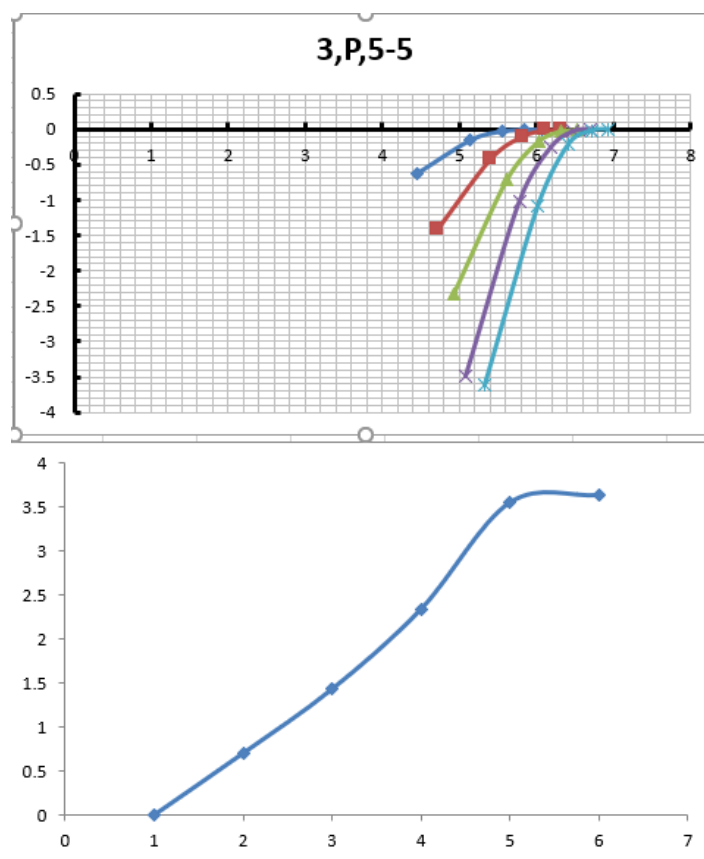


Рисунок 5.1.11 – График кривой насыщения станции № 3 по осадкам.

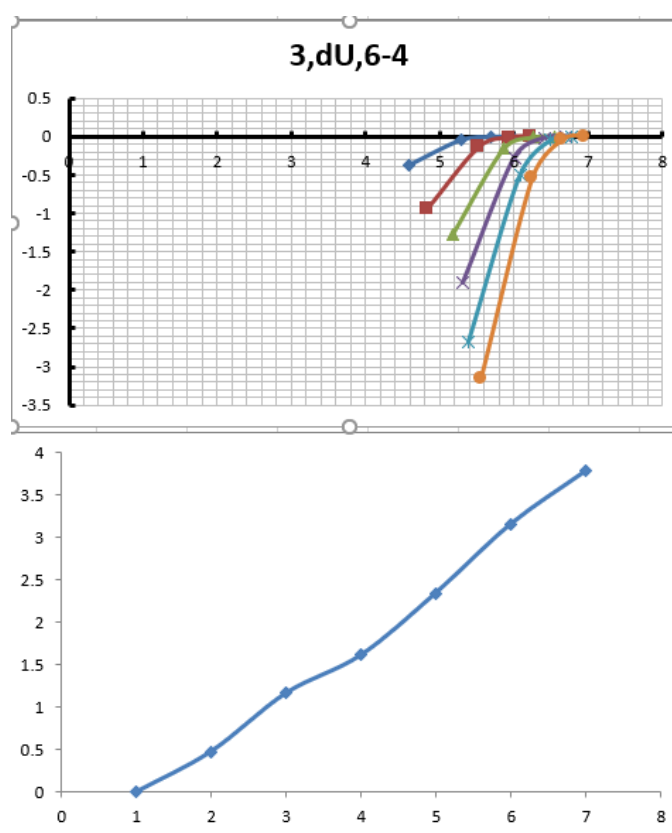


Рисунок 5.1.12 – График кривой насыщения станции № 3 по влагозапасам.

5.2 R/S-анализ

Для анализа нормально–распределенных систем Херстом был предложен метод Нормированного размаха (R/S-анализ). По большей части этот метод предоставляет возможность различить случайный и фрактальный временные ряды и вдобавок делать выводы о наличии непериодических циклов, долговременной памяти и т.д.

Алгоритм метода:

а) Дан исходный ряд S_t . Рассчитываются логарифмические отношения:

$$N_t = \ln \frac{S_t}{S_{t-1}}$$

б) Ряд делится (N) на A смежных периодов длиной n . Отмечается каждый период как I_a , где $a = 1, 2, \dots, A$. Определяется для каждого I_a среднее значение:

$$E(I_a) = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n N_{k,a}$$

в) Рассчитывается отклонения от среднего значения для каждого периода I_a :

$$X_{k,a} = \sum_{i=1}^k (N_{i,a} - E(I_a))$$

г) Рассчитывается размах в пределах каждого периода:

$$R_{I_a} = \max(X_{k,a}) - \min(X_{k,a})$$

д) Рассчитывается стандартное отклонения для каждого периода I_a :

$$S_{I_a} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{k=1}^n (N_{k,a} - E(I_a))^2}$$

е) Каждый R_{I_a} делиться на S_{I_a} . Далее вычисляется среднее значение R/S:

$$R/S(n) = \frac{\sum_{a=1}^A R/S(A)}{A}$$

ж) Увеличивается n и повторяются шаги 2–6 до тех пор, пока $n \leq N/2$

Строится график зависимости $\log(R/S(n))$ от $\log(n)$ и с помощью МНК находить регрессию.

Иначе говоря, всё связано с показателем Херста. Показатель фрактальной размерности высчитывается как $2 - H$. В итоге имеем нахождение в пределе от единицы до двух, а при округлении в любом случае получается 2.

Для наглядности результаты по R/S -анализу для каждой станции сведены в таблицу 5.2.1.

Таблица 5.2.1 – Результаты R/S -анализа

Река	Пост	Фр. разм–ть	Размерность пр.в.
Северная Сосьва	Няксимволь	1,50	2
Онега	Казаково	1,40	2
Пинега	Кулогори	1,55	2
Печора	Троицко– Печорск	1,41	2
Волга	Старица	1,45	2
Вятка	Киров	1,50	2
Алдан	Томмот	1,42	2
Киренга	Шорохово	1,42	2
Чикой	Поворот	1,37	2
Пишма	Богатинское	1,43	2
Иртыш	Тара	1,41	2

5.3 Функциональный метод

Смысл данного способа: в последовательности $y_n, y_{n+1}, \dots$ установить наличие функциональной зависимости, которая описывала бы рассматриваемый временной ряд. Иными словами, между y_{n+1} и предыдущими k величинами y_n, y_{n-1}, y_{n-k+1} должна быть функция f . В этой последовательности

выбирается, произвольная подпоследовательность длиной k и рассматриваются все возможные векторы: $\vec{\omega}^{(n)} = \{y_{n-k+1}, y_{n-k+2}, \dots, y_{n-1}, y_n\}$.

Фиксируется одна из последовательностей, начинающаяся с какого-то номера n_0 , и обозначается $\omega(0)$. Рассматривается расстояние между произвольным вектором $\omega(n)$ и этим $\omega(0)$:

$$\rho_k(n, n_0) = |\vec{\omega}^{(n)} - \vec{\omega}^{(0)}| = \left[\sum_{i=1}^k (y_{n-k+i} - y_{n_0-k+i})^2 \right]^{1/2},$$

а также величина

$$r(n, n_0) = |y_{n+1} - y_{n_0+1}|.$$

Алгоритм нахождения количества переменных данным методом:

- для разных n находятся значения $\rho_k(n, n_0)$ и $r(n, n_0)$;
- соответствующие точки наносятся на плоскость (r, ρ) ;
- полученные точки последовательности соединяются.

Точки должны группироваться у нуля и иметь функциональную зависимость между собой. Если при выбранном k , наблюдается функциональная зависимость, то это k характеризует размерность пространства вложения, другими словами количество переменных в математической модели.

В настоящей работе используется полином 6-й степени. Результаты приведены в таблице 5.3.1. На рисунке 5.3.1–6 изображены графики по станциям Няксимволь (№ 1), Казаково (№ 2) и Кулогори (№ 3) с полиномом и линейным графиком. Остальные графики представлены в Приложении Б на рисунке Б.29–Б.44.

В случае линейного графика коэффициент детерминации принимает небольшие отрицательные значения. Модель получилась бесполезной, перефразируя, ее предсказания хуже, чем оценки на основе среднего значения.

Коэффициент детерминации у полинома имеет положительные значения, а размерность практически у всех станций равна 2–м.

Таблица 5.3.1 – Результаты функционального метода

№	Река	Пост	Полином			Линейная		
			R^2	разм– ть	Прим.	R^2	разм– ть	Прим.
1	Северная Сосьва	Няксимволь	0,39	2		0,105	3	
2	Онега	Казаково	0,10	2		–0,97	1	От нуля
3	Пинега	Кулогори	0,069	2		–0,92	1	Близко к 0
4	Печора	Троицко– Печорск	0,125	2	Близко к 0	–0,39	1	От нуля
5	Волга	Старица	0,127	2		–0,82	1	От нуля
6	Вятка	Киров	0,116	2	Близко к 0	–0,29	2	От нуля
7	Алдан	Томмот	0,152	2	Близко к 0	–0,32	2	Близко к 0
8	Киренга	Шорохово	0,051	1	Близко к 0	–0,97	1	От нуля
9	Чикой	Поворот	0,152	2		–0,75	1	Близко к 0
10	Пишма	Богадинское	0,113	1	Близко к 0	–0,37	2	Близко к 0
11	Иртыш	Тара	0,123	1	Близко к 0	–0,33	2	Близко к 0

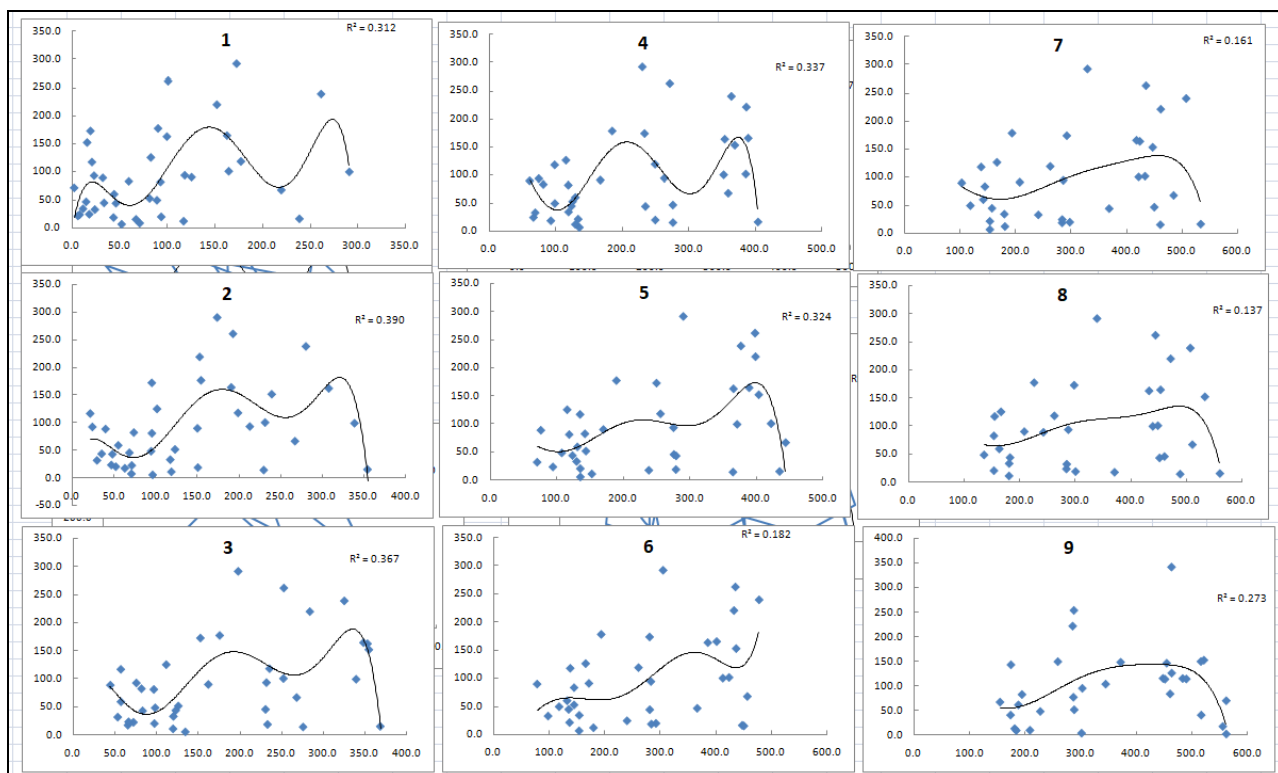


Рисунок 5.3.1 – Графики зависимостей $r(\rho)$ станции № 1 (полином)

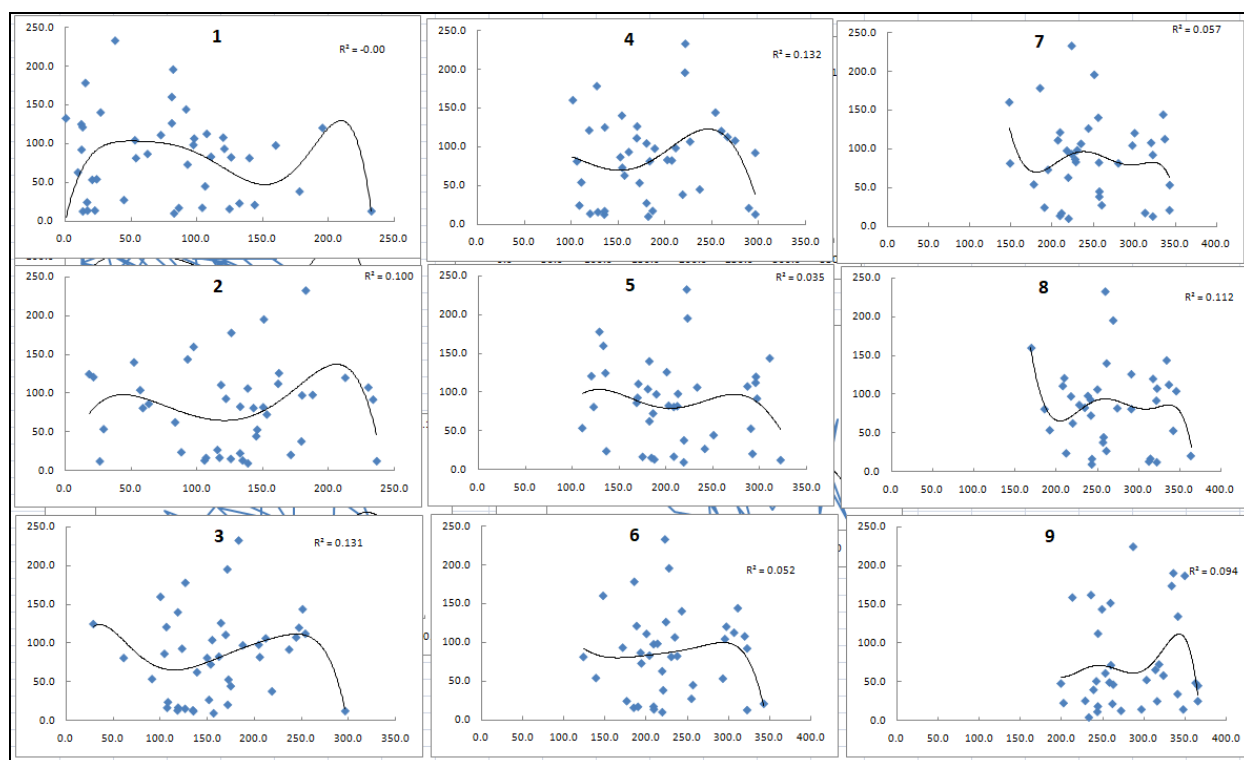


Рисунок 5.3.2 – Графики зависимостей $r(\rho)$ станции № 2 (полином)

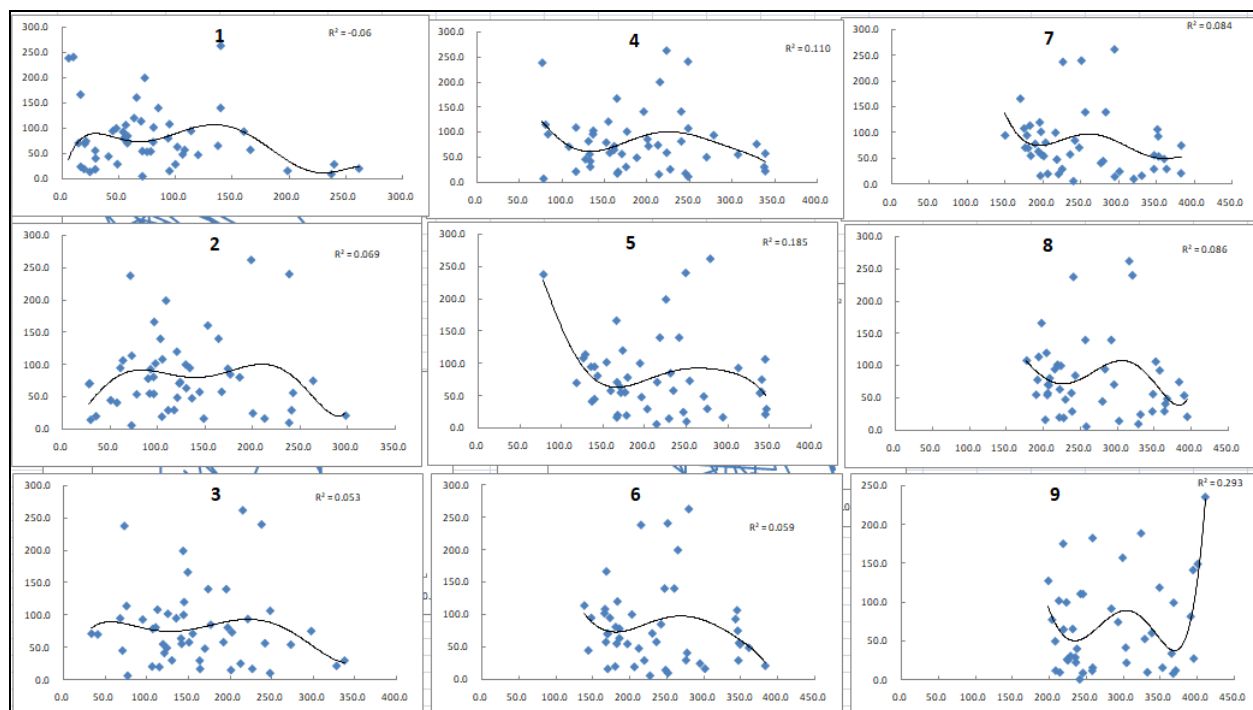


Рисунок 5.3.3 – Графики зависимостей $r(\rho)$ станции № 3 (полином)

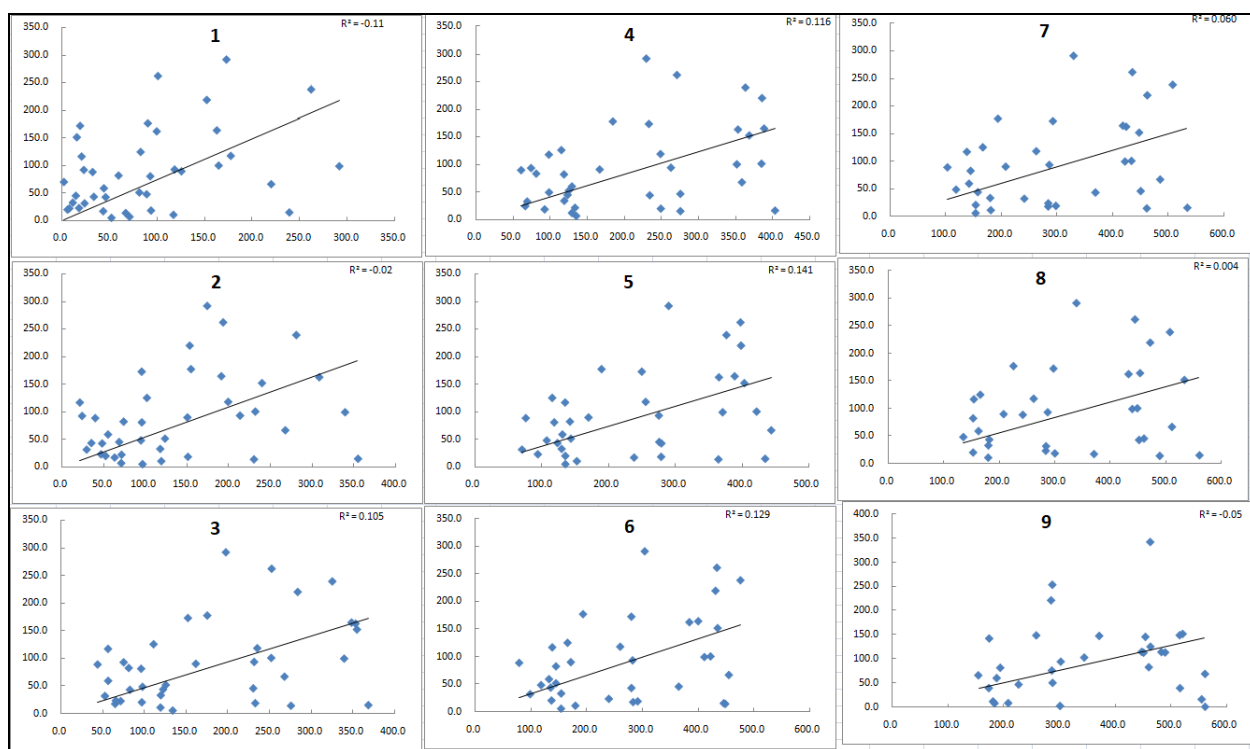


Рисунок 5.3.4 – Графики зависимостей $r(\rho)$ станции № 1 (линейный график)

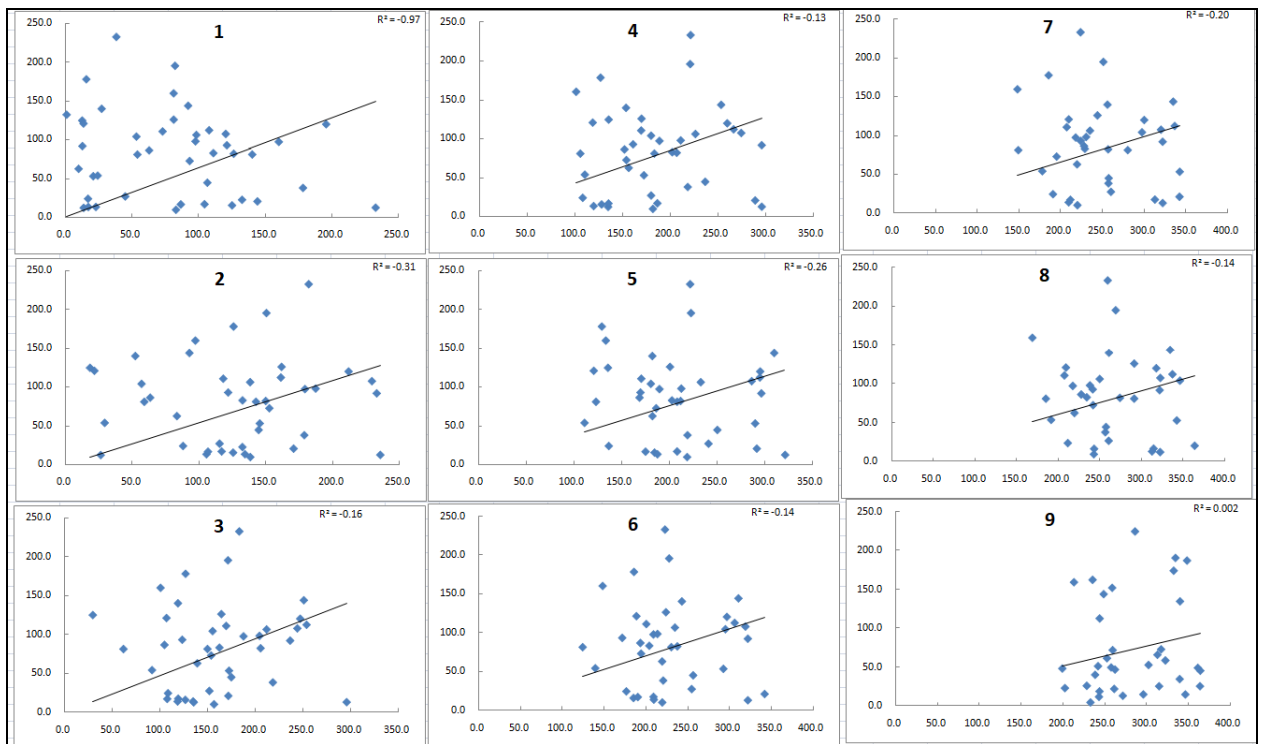


Рисунок 5.3.5 – Графики зависимостей $r(\rho)$ станции № 2 (линейный график)

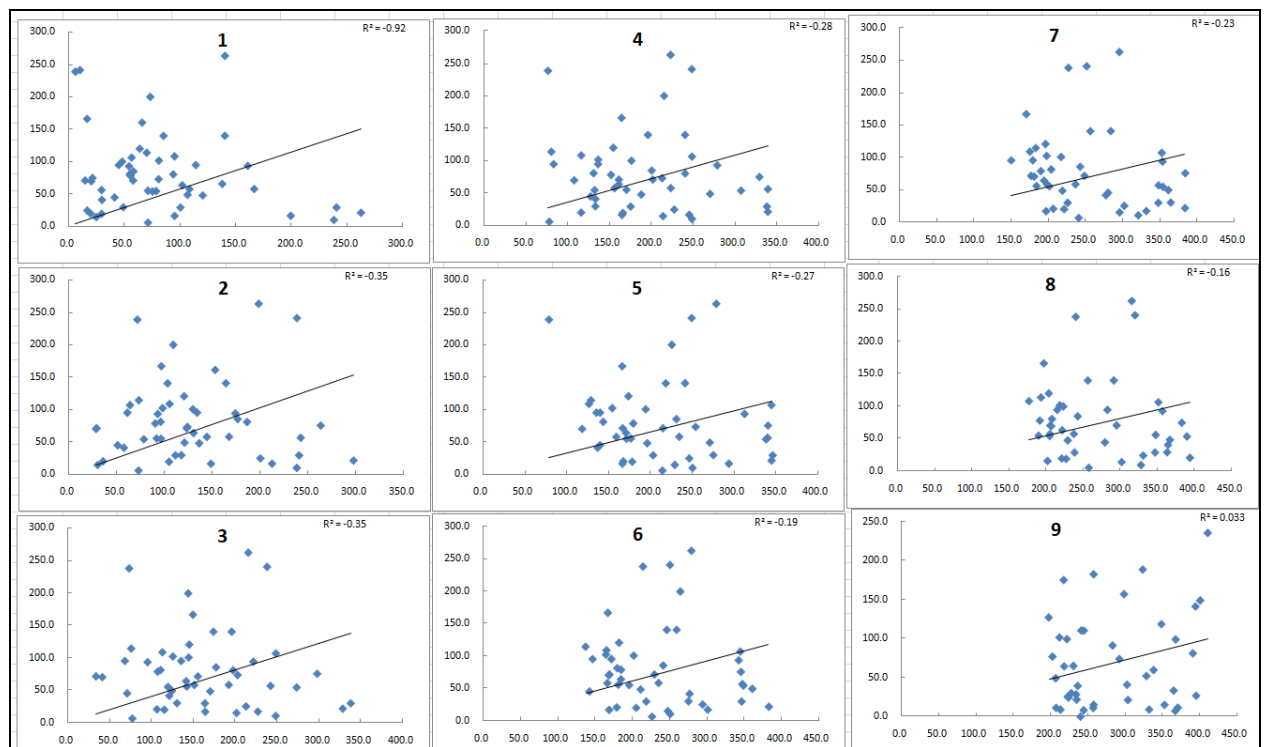


Рисунок 5.3.6 – Графики зависимостей $r(\rho)$ станции № 3 (линейный график)

6 Моделирование изменений суммарных влагозапасов речных бассейнов

В данной работе математическое моделирование используется по следующему уравнению:

$$\frac{d\Delta U}{dt} = \frac{(\dot{X} - Q - E - c \operatorname{sign}(X - Q - E))}{\tau_{\Delta U}},$$

где $\operatorname{sign}(\dot{X} - Q - E)$ – знаковая функция;

c – скорость накопления (отдачи) влаги в почвогрунтах,

$\tau_{\Delta U}$ – время релаксации почвогрунтов;

$(\dot{X} - Q - E) \sim \Delta U$.

Использовалось 2 подхода математического моделирования:

Первым делом были использованы численные решения. В этом случае идеально подобраны параметры (τ , c) и построены графики (пример изображен на рисунке 6.1), имеющие всего один шаг на сдвиг, но при этом идеально повторяют друг друга. Вместе с тем параметры теряют свой физический смысл.

И второй подход. При данном подходе наблюдается та же сдвигка, алгоритм тот же, но с параметрами, близкими к реальности. Параметр τ колеблется в пределах 1,71–6,0 лет, а параметр c в пределах ± 0.10 мм/год. При данном подходе средняя ошибка прогноза составляет примерно 30%. Графики к данному подходу изображены на рисунке 6.2–6.4.



Рисунок 6.1 – Моделирование суммарных влагозапасов при первом подходе



Рисунок 6.2 – Моделирование суммарных влагозапасов при втором подходе по станции № 1



Рисунок 6.3 – Моделирование суммарных влагозапасов при втором подходе по станции № 2



Рисунок 6.4 – Моделирование суммарных влагозапасов при втором подходе по станции № 6

Заключение

В данной работе были посчитаны суммарные влагозапасы речных водосборов по ЕТР и АТР по уравнению водного баланса, где параметр испарение рассчитан по номограмме Константинова, а значения по остальным двум параметрам были найдены в БД. Каждый параметр проходил проверку на однородность по Фишеру и Стьюденту, а также на значимость тренда.

В ходе выполнения исследования были получены следующие результаты:

а) Поставлен вопрос о правомерности использования метода моментов для влагозапасов как для знакопеременной величины.

б) Метод нормированного размаха не подходит для определения числа фазовых переменных, так как показатель фрактальной размерности высчитывается как $2-H$, то есть находится в пределе от единицы до двух, а при округлении в любом случае получается 2.

в) Исходя из интегрального метод фрактальной диагностики никакой связи между влагозапасами со стоком и испарением не обнаружено, так как это разные характеристики процессов, происходящих на водосборе.

г) «Поиск решения» – инструмент, позволяющий получать идеальные результаты моделирования, но при этом не учитывается физический смысл параметров (τ , c).

д) Нужно менять численный метод, а точнее перейти с численного метода второго порядка на Рунге–Кутте 4-го порядка точности.

Список использованных источников

- 1 Голованова, Е.Ю. Статистические характеристики рядов многолетних изменений суммарных влагозапасов речных бассейнов (на примере России) [Текст] // Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета, 2014. – С. 24–30.
- 2 ВМО Измерение испарения / ВМО. – [Текст] // Руководство по метеорологическим приборам и методам наблюдений, 2014. – С. 357.
- 3 Иваньо, Я.М. Практикум по гидрологии [Текст] / Я.М. Иваньо, Е.С. Тулунова. – Иркутск: Из-дво ИрГСХА, 2012. – С. 28.
- 4 Куцкая, Н.Б. Конспект лекций по курсу “Метеорология и климатология” для студентов специальности “Экология и охрана окружающей среды”/– Рубежное: РФ ВНУ, 2002.– С. 62.
- 5 Давыдов, Л.К. Водоносность рек и ее колебание, и влияние физико–географических факторов / Л.К. Давыдов. – Ленинград: Гидрометеорологическое издательство, 1947. – 7 с.
- 6 Постников, А. Н. О распределении испарения с водной поверхности на территории России / А. Н. Постников. – [Текст] // Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета, 2014. – С. 22–28.
- 7 Гайдукова, Е.В., Диавара, Х. Долгосрочная оценка вероятностных распределений многолетнего годового испарения при изменении климата на примере Африканского континента / Е.В. Гайдукова, Х. Диавара; под научной ред. В.В. Коваленко. – СПб.: изд–во РГГМУ, 2016. – С. 41.
- 8 Всемирная метеорологическая организация [Электронный ресурс]. URL: <https://climexp.knmi.nl/start.cgi> (дата обращения 20.01.2022).
- 9 Константинов, А.Р. Испарение в природе – 2–е изд. – Ленинград: Гидрометеорологическое издательство, 1968. – С. 530.
- 10 Научно – прикладной справочник: Многолетние изменения элементов водного баланса на воднобалансовых и болотных станциях. – СПб.: ООО "РИАЛ", 2021. – С.202.

11 Гайдукова, Е.В., Голованова, Е.Ю., Коваленко, В.В. Явление ненулевой нормы многолетних изменений суммарных влагозапасов речных бассейнов: Монография. – СПб.: Астерион, 2019. – С. 76.

12 Панин, Б.Д., Репинская, Р.П. Прогноз влажности, облачности и осадков// Ленинградский гидрометеорологический институт – 1982.– С. 5.

13 Сикан, А.В. Методы статистической обработки гидрометеорологической информации. Учебник. Специальность «Гидрология» направления подготовки «Гидрометеорология». – СПб.: изд. РГГМУ. 2007. – С. 15–18.

14 Гайдукова, Е.В. Задание параметров метода фрактальной диагностики гидрологических рядов, основанного на корреляционном интеграле // Международный научно–исследовательский журнал. –№ 12. С. 80 – 84.

Приложение А – Исходные данные

Таблица А.1 – Исходные данные по испарению (измеренные)

Год	Месяц	Испарение	Год	Месяц	Испарение
1950	5	27	1958	4	39
1950	6	39	1958	5	41
1950	7	52	1958	6	66
1951	5	33	1958	7	34
1951	6	28	1958	8	37
1952	6	73	1958	9	17
1952	7	59	1959	4	89
1953	6	101	1959	5	56
1953	7	59	1959	6	43
1953	8	48	1959	7	22
1954	5	58	1959	8	36
1954	6	82	1959	9	19
1954	7	39	1960	5	51
1954	8	41	1960	6	34
1954	9	27	1960	7	53
1955	6	60	1960	8	48
1955	7	37	1960	9	38
1956	5	45	1960	10	27
1957	4	33	1961	5	98
1957	5	27	1961	6	82
1957	6	28	1961	7	63
1957	7	23	1961	8	47
1957	8	25	1961	9	34
1957	9	30	1961	10	18

Таблица А.2 – Исходные данные по испарению (номограмма Константинова)

Год	Месяц	Испарение	Год	Месяц	Испарение
1950	5	132	1958	4	27
1950	6	108	1958	5	111
1950	7	102	1958	6	84
1951	5	99	1958	7	108
1951	6	180	1958	8	108
1952	6	102	1958	9	57
1952	7	108	1959	4	63
1953	6	159	1959	5	135
1953	7	138	1959	6	138
1953	8	144	1959	7	183
1954	5	120	1959	8	138
1954	6	156	1959	9	66
1954	7	183	1960	5	96
1954	8	165	1960	6	138
1954	9	105	1960	7	144
1955	6	102	1960	8	102
1955	7	144	1960	9	60
1956	5	99	1960	10	45
1957	4	72	1961	5	84
1957	5	150	1961	6	132
1957	6	159	1961	7	126
1957	7	150	1961	8	138
1957	8	150	1961	9	69
1957	9	138	1961	10	51

Таблица А.3 – Исходные данные по испарению (*Climate explorer*)

Испарение	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь
1950	43,8	76,6	95,6	86,2	60,3	36,7	20,2
1951	43,1	78,1	95,2	84,9	57,8	37,7	20,6
1952	44,8	75,8	91,4	81,0	55,6	37,3	22,7
1953	43,3	77,2	94,1	86,0	56,6	35,0	21,3
1954	40,9	72,1	93,1	81,3	58,0	37,7	21,1
1955	43,6	77,3	95,6	88,0	57,5	38,3	21,3
1956	43,8	74,9	93,1	85,2	58,2	38,1	22,5
1957	43,7	78,6	96,0	83,0	58,0	36,3	21,9
1958	42,5	77,0	97,0	89,6	62,3	39,3	20,6
1959	42,7	76,8	96,7	90,2	61,9	36,6	20,6
1960	43,7	74,1	96,7	82,6	58,3	39,1	21,2
1961	43,0	75,7	96,7	83,7	57,7	38,5	21,1
1962	41,6	76,8	98,9	86,5	60,2	34,3	20,5

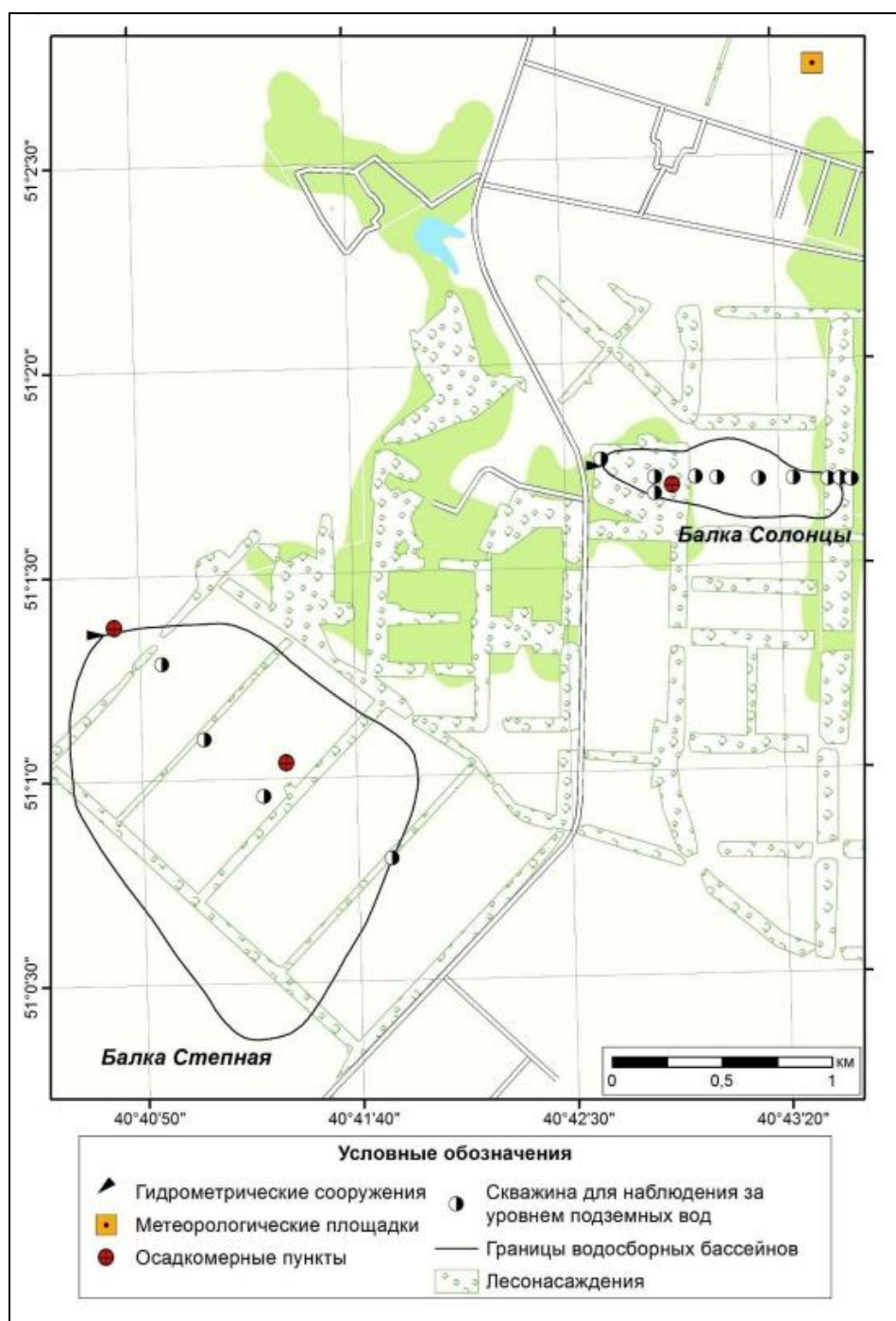


Рисунок А.1 – Расположение водобалансовой станции Каменная Степь

Таблица А.4 – Исходные данные по температуре

	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь
1950	11,3	15,2	16,4	17	16,2	14,4	5,5
1951	11,7	13	20,3	21,1	20,8	13,8	2,5
1952	4,8	13,6	17,8	19	20	15,4	7,6

	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь
1953	5,9	13,7	20,5	21,3	20,9	12,9	4,9
1954	4,9	15,7	21,8	23,5	22,1	15,2	6,8
1955	4,8	13,9	16,8	20,7	18,6	15	10,2
1956	6,1	12,7	21,3	17	19,1	10,2	6,7
1957	9,1	17,7	20	20,9	20,5	16,9	4,8
1958	4,3	15,1	16	18,6	18,1	10	6,4
1959	7,7	15,7	18,2	23	18,8	10,3	2,5
1960	5,9	12,1	19,8	22	18	10,5	6,1
1961	6,5	12,6	20	20,1	19,4	11,6	6,2

Таблица А.5 – Исходные данные по температуре с учетом поправки

	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь
1950		16	17	17			
1951		14	21				
1952			18	19			
1953			21	21	21		
1954		17	22	24	22	16	
1955			17	21			
1956		14					
1957	10	19	20	21	21	18	
1958	5	16	16	19	18	10	
1959	9	17	19	23	19	11	
1960		13	20	22	18	11	8
1961		14	20	20	20	12	8

Таблица А.6 – Исходные данные по упругости водяного пара

	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь
1950	7,5	7,6	11,7	13	12,3	10,8	6,9

	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь
1951	7,7	8,9	9,8	12,7	15,5	11,2	6,1
1952	5,9	9,4	14,5	15,8	13,7	9,7	9
1953	7,2	10,3	12,3	14,7	13,6	9,7	6,4
1954	6,1	10,6	14	15,3	12,9	10,8	8,4
1955	6,2	9,4	13	13,6	14,6	8,6	8,8
1956	7	8,9	12,2	13,4	14,2	8,8	7,8
1957	7,4	9,6	10,2	12,8	12,6	9,6	6,6
1958	6,8	9,9	13,6	15,6	14,4	8,6	6,9
1959	7,4	8,1	10,6	13,3	11,6	9,2	6,4
1960	6,4	7,7	13	15,4	14,6	9,8	8,2
1961	6,2	10,5	13,7	15,2	13,2	10	7

Таблица А.7 – Исходные данные по упругости водяного пара с учетом поправки

	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь
1950		7	12	13			
1951		9	9				
1952			15	16			
1953			12	15	14		
1954		10	14	15	13	11	
1955			13	14			
1956		9					
1957	7	9	10	13	13	9	
1958	7	10	14	16	14	9	
1959	7	8	11	13	11	9	
1960		8	13	16	15	10	8
1961		11	14	15	13	10	7

Приложение Б – Результаты

Таблица Б.1. – Вычисление погрешности

Год	Месяц	$\Delta_{\text{Константинов}}$	$\Delta_{\text{Climate explorer}}$
1950	5	389	184
1950	6	177	145
1950	7	96	66
1951	5	200	137
1951	6	543	240
1952	6	40	25
1952	7	83	37
1953	6	57	–7
1953	7	134	46
1953	8	200	18
1954	5	107	24
1954	6	90	14
1954	7	369	109
1954	8	302	41
1954	9	289	40
1955	6	70	59
1955	7	289	138
1956	5	120	66
1957	4	118	32
1957	5	456	191
1957	6	468	243
1957	7	552	261
1957	8	500	132
1957	9	360	21

Год	Месяц	$\Delta_{\text{Константинов}}$	$\Delta_{\text{Climate explorer}}$
1958	4	−31	9
1958	5	171	88
1958	6	27	47
1958	7	218	164
1958	8	192	68
1958	9	235	131
1959	4	−29	−52
1959	5	141	37
1959	6	221	125
1959	7	732	310
1959	8	283	72
1959	9	247	92
1960	5	88	45
1960	6	306	184
1960	7	172	56
1960	8	113	22
1960	9	58	3
1960	10	67	−22
1961	5	−14	−23
1961	6	61	18
1961	7	100	33
1961	8	194	23
1961	9	103	13
1961	10	183	17

Таблица Б.2 – Результаты оценки погрешности с доверительными погрешностями по станциям № 2, 4, 5

<i>n</i>	Станция 2			Станция 4			Станция 5		
	68,3 %	95,4 %	99,7 %	68,3 %	95,4 %	99,7 %	68,3 %	95,4 %	99,7 %
1	–72	0	0	–399	–399	–399	–231	–231	–231
2	–131	0	0	–216	–216	0	0	0	0
3	0	0	0	–370	–370	–370	–139	0	0
4	0	0	0	–309	–309	–309	–88	0	0
5	–96	0	0	–386	–386	–386	–137	0	0
6	0	0	0	–289	–289	–289	0	0	0
7	–108	0	0	–286	–286	–286	0	0	0
8	–109	0	0	–289	–289	–289	–206	–206	0
9	–93	0	0	–314	–314	–314	109	0	0
10	69	0	0	–226	–226	–226	0	0	0
11	–131	0	0	–76	0	0	0	0	0
12	–164	0	0	–356	–356	–356	0	0	0
13	–118	0	0	–381	–381	–381	0	0	0
14	–72	0	0	–343	–343	–343	0	0	0
15	0	0	0	–222	–222	0	0	0	0
16	–93	0	0	–331	–331	–331	0	0	0
17	0	0	0	–231	–231	0	–106	0	0
18	0	0	0	–232	–232	0	–170	–170	0
19	0	0	0	–157	–157	0	0	0	0
20	0	0	0	–225	–225	–225	0	0	0
21	77	0	0	–133	0	0	0	0	0
22	–95	0	0	–161	–161	0	106	0	0
23	150	150	0	–267	–267	–267	0	0	0
24	0	0	0	–173	–173	0	0	0	0

n	Станция 2			Станция 4			Станция 5		
	68,3	95,4	99,7	68,3	95,4	99,7	68,3	95,4	99,7
	%	%	%	%	%	%	%	%	%
25	0	0	0	−261	−261	−261	0	0	0
26	0	0	0	−190	−190	0	0	0	0
27	0	0	0	−231	−231	−231	145	0	0
28	93	0	0	−127	0	0	0	0	0
29	0	0	0	−157	0	0	−130	0	0
30	117	0	0	−381	−381	−381	0	0	0
31	0	0	0	0	0	0	0	0	0
32	0	0	0	−341	−341	−341	0	0	0
33	94	0	0	0	0	0	115	0	0
34	0	0	0	−243	−243	0	134	0	0
35	0	0	0	−286	−286	−286	114	0	0
36	0	0	0	−180	−180	0	0	0	0
37	0	0	0	−225	−225	0	312	312	312
38	0	0	0	−284	−284	−284	162	0	0
39	91	0	0	−151	−151	0	0	0	0
40	0	0	0	−250	−250	−250	0	0	0
41	0	0	0	−174	0	0	0	0	0
42	0	0	0	−210	−210	0	89	0	0
43	161	161	0	−135	0	0			
44	139	0	0	−374	−374	−374			
45	0	0	0	−309	−309	−309			
46	0	0	0	−367	−367	−367			
47				−301	−301	−301			
48									
49									
50									

Таблица Б.3 – Результаты оценки погрешности с доверительными погрешностями по станциям № 6, 7, 8

<i>n</i>	Станция 6			Станция 7			Станция 8		
	68,3 %	95,4 %	99,7 %	68,3 %	95,4 %	99,7 %	68,3 %	95,4 %	99,7 %
1	–132	0	0	–305	–305	–305	–365	–365	–365
2	–147	0	0	–275	–275	–275	–609	–609	–609
3	–131	0	0	–450	–450	–450	–529	–529	–529
4	–147	0	0	–483	–483	–483	–440	–440	–440
5	–143	0	0	–370	–370	–370	–581	–581	–581
6	–196	–196	0	–500	–500	–500	–613	–613	–613
7	–208	–208	0	–277	–277	–277	–606	–606	–606
8	–131	0	0	–391	–391	–391	–611	–611	–611
9	–146	–146	0	–549	–549	–549	–522	–522	–522
10	–73	0	0	–453	–453	–453	–711	–711	–711
11	–127	0	0	–239	–239	–239	–657	–657	–657
12	0	0	0	–379	–379	–379	–586	–586	–586
13	–241	–241	0	–111	0	0	–772	–772	–772
14	–96	0	0	–181	–181	0	–611	–611	–611
15	–109	0	0	–206	–206	–206	–567	–567	–567
16	–127	0	0	–289	–289	–289	–532	–532	–532
17	–173	–173	0	–351	–351	–351	–584	–584	–584
18	–274	–274	–274	–361	–361	–361	–468	–468	–468
19	–262	–262	–262	–275	–275	–275	–461	–461	–461
20	–250	–250	–250	–108	0	0	–520	–520	–520
21	–261	–261	–261	–189	–189	0	–553	–553	–553
22	–328	–328	–328	0	0	0	–505	–505	–505
23	–176	–176	0	–316	–316	–316	–485	–485	–485

<i>n</i>	Станция 6			Станция 7			Станция 8		
	68,3 %	95,4 %	99,7 %	68,3 %	95,4 %	99,7 %	68,3 %	95,4 %	99,7 %
24	−140	0	0	−243	−243	−243	−570	−570	−570
25	−137	0	0	−303	−303	−303	−594	−594	−594
26	−193	−193	0	−319	−319	−319	−531	−531	−531
27	−151	0	0	−282	−282	−282	−490	−490	−490
28	−287	−287	−287	−358	−358	−358	−513	−513	−513
29	0	0	0	−397	−397	−397	−659	−659	−659
30	−364	−364	−364	−427	−427	−427	−423	−423	−423
31	−155	−155	0	−336	−336	−336	−523	−523	−523
32	0	0	0	−111	0	0	−495	−495	−495
33	−85	0	0	−142	−142	0	−486	−486	−486
34	−137	0	0	−124	−124	0	−600	−600	−600
35	−205	−205	0	−274	−274	−274	−467	−467	−467
36	−75	0	0	−229	−229	0	−448	−448	−448
37	−302	−302	−302	−290	−290	−290	−489	−489	−489
38	−241	−241	−241	−174	−174	0	−373	−373	−373
39	−144	0	0	−252	−252	−252	−594	−594	−594
40	−122	0	0	−184	−184	0	−454	−454	−454
41	−196	−196	0	−249	−249	−249			
42				−211	−211	−211			
43				−278	−278	−278			
44				−413	−413	−413			
45				−311	−311	−311			
46				−255	−255	−255			
47									
48									
49									

Таблица Б.4 – Результаты оценки погрешности с доверительными погрешностями по станциям № 9, 11

<i>n</i>	Станция 9			Станция 11		
	68,3 %	95,4 %	99,7 %	68,3 %	95,4 %	99,7 %
1	−398	−398	−398	0	0	0
2	−306	−306	−306	0	0	0
3	−293	−293	−293	0	0	0
4	−289	−289	−289	0	0	0
5	−287	−287	−287	0	0	0
6	−176	−176	−176	−75	0	0
7	−255	−255	−255	−86	0	0
8	−254	−254	−254	0	0	0
9	−207	−207	−207	0	0	0
10	−97	0	0	0	0	0
11	−274	−274	−274	75	0	0
12	−100	0	0	0	0	0
13	−154	−154	0	0	0	0
14	69	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0
16	−102	0	0	0	0	0
17	−74	0	0	0	0	0
18	−154	−154	0	0	0	0
19	−88	0	0	76	0	0
20	0	0	0	0	0	0
21	0	0	0	142	142	0
22	0	0	0	118	118	0
23	−76	0	0	0	0	0

<i>n</i>	Станция 9			Станция 11		
	68,3	95,4	99,7	68,3	95,4	99,7
	%	%	%	%	%	%
24	−179	−179	0	0	0	0
25	−101	0	0	255	255	255
26	−109	0	0	108	0	0
27	96	0	0	55	0	0
28	−152	−152	0	143	143	0
29	0	0	0	0	0	0
30	0	0	0	138	138	0
31	−123	−123	0	157	157	0
32	0	0	0	72	0	0
33	0	0	0	0	0	0
34	0	0	0	64	0	0
35	−70	0	0	0	0	0
36	0	0	0	0	0	0
37	−219	−219	−219	67	0	0
38	−162	−162	−162	195	195	195
39	0	0	0	91	0	0
40	−97	0	0	187	187	187
41	−81	0	0	112	0	0
42	0	0	0	130	0	0
43	0	0	0	0	0	0
44				0	0	0
45				0	0	0
46				0	0	0
47				159	159	0
48				149	149	0
49				131	131	0

n	Станция 9			Станция 11		
	68,3 %	95,4 %	99,7 %	68,3 %	95,4 %	99,7 %
50				0	0	0
51				174	174	0
52				104	0	0

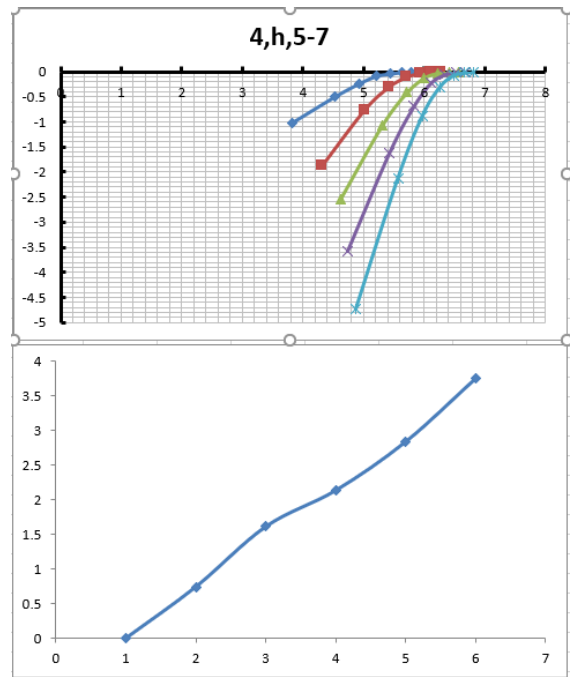


Рисунок Б.1 – График кривой насыщения станции № 4 по стоку

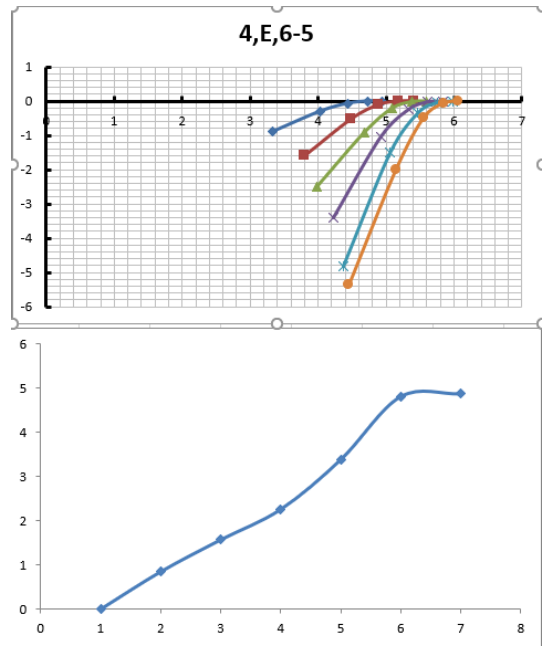


Рисунок Б.2 – График кривой насыщения станции № 4 по испарению

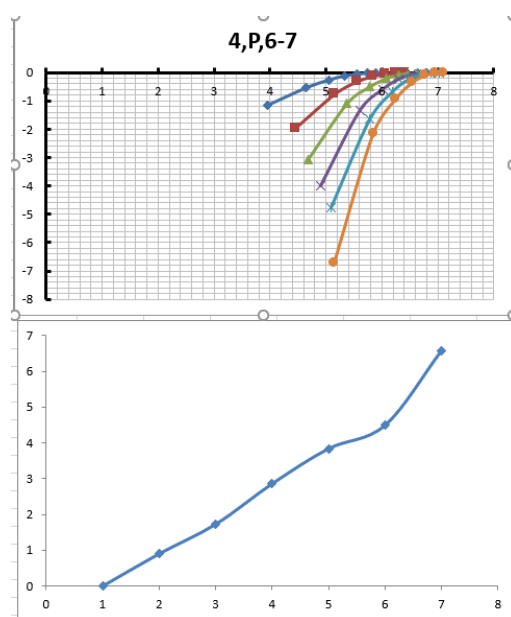


Рисунок Б.3 – График кривой насыщения станции № 4 по осадкам

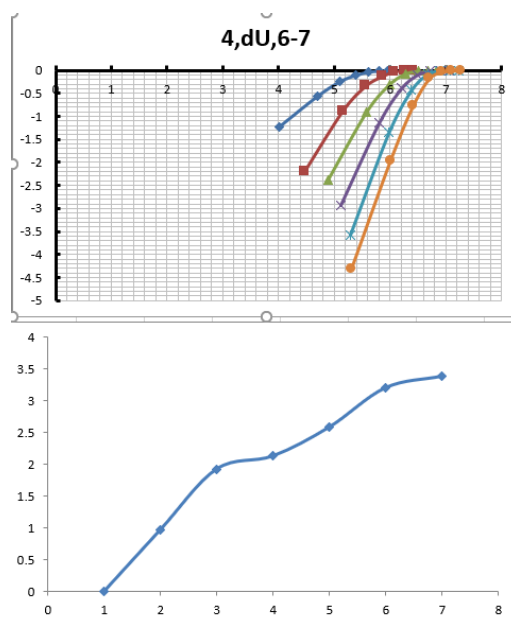


Рисунок Б.4 – График кривой насыщения станции № 4 по влагозапасам

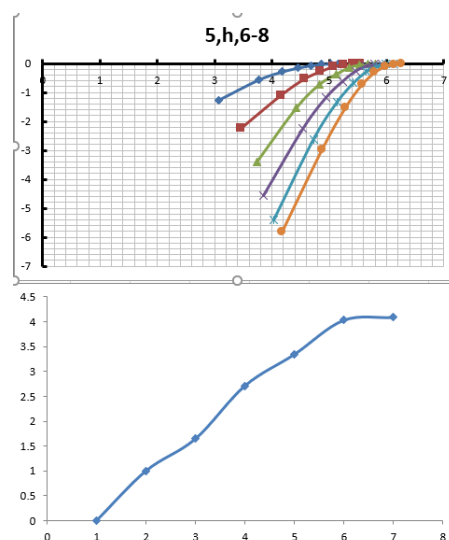


Рисунок Б.5 – График кривой насыщения станции № 5 по стоку

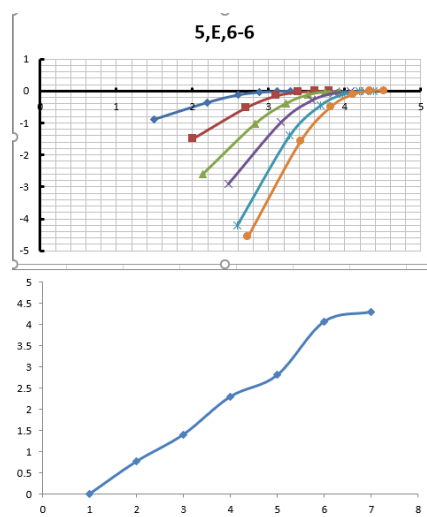


Рисунок Б.6 – График кривой насыщения станции № 5 по испарению

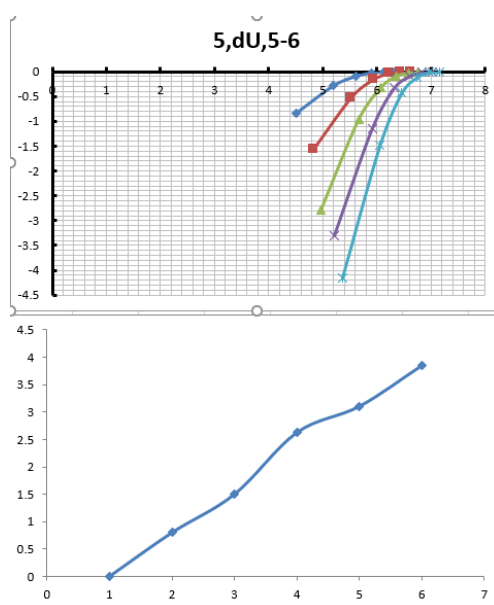


Рисунок Б.7 – График кривой насыщения станции № 5 по влагозапасам

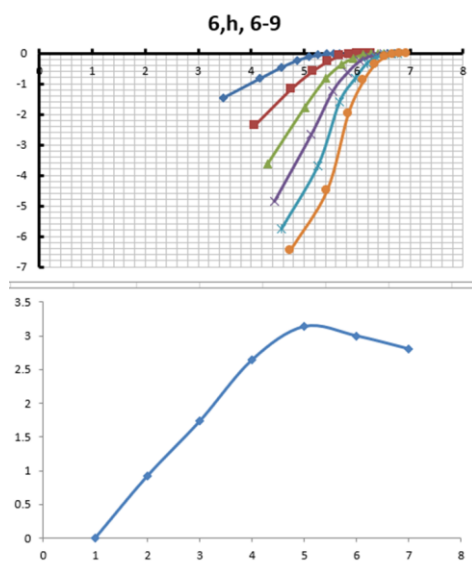


Рисунок Б.8 – График кривой насыщения станции № 6 по стоку

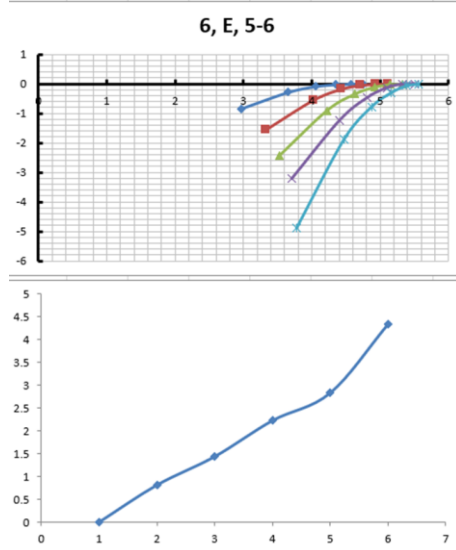


Рисунок Б.9 – График кривой насыщения станции № 6 по испарению

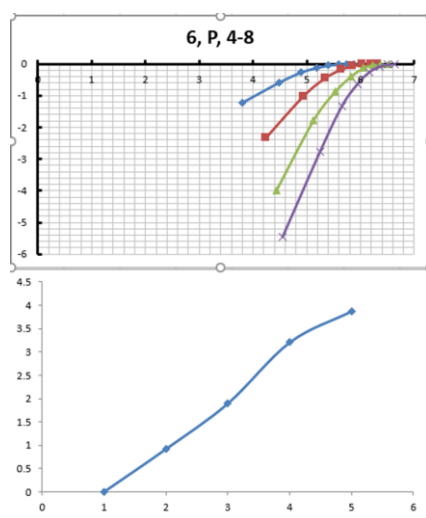


Рисунок Б.10 – График кривой насыщения станции № 6 по осадкам

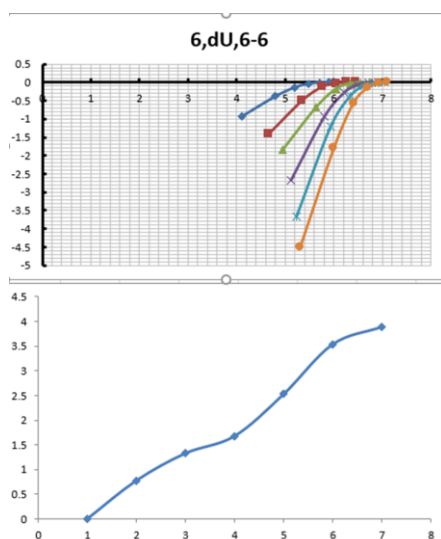


Рисунок Б.11 – График кривой насыщения станции № 6 по влагозапасам

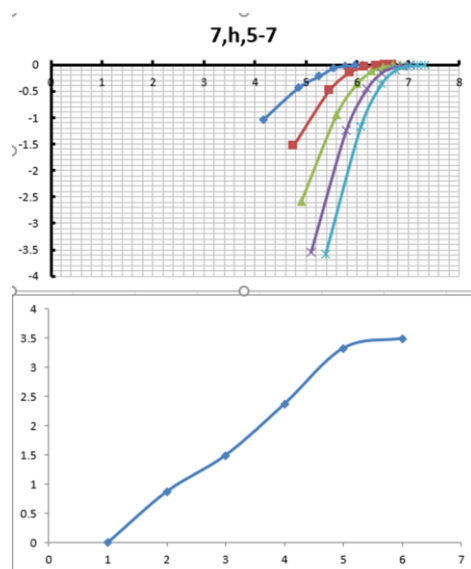


Рисунок Б.12 – График кривой насыщения станции № 7 по стоку

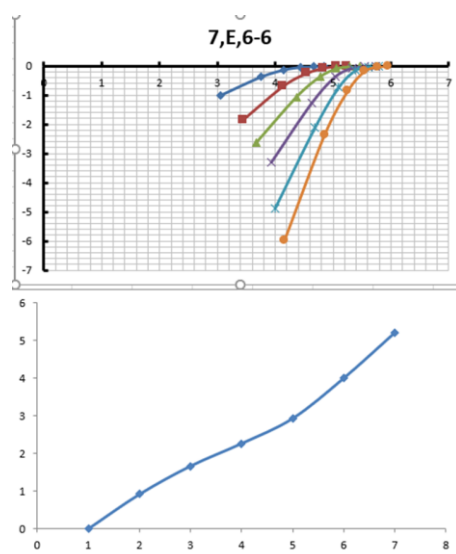


Рисунок Б.13 – График кривой насыщения станции № 7 по испарению

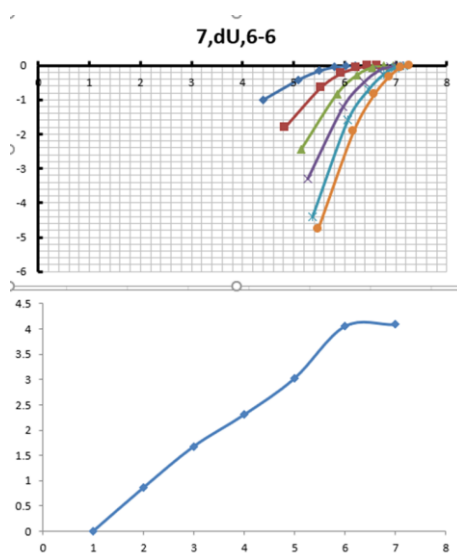


Рисунок Б.14— График кривой насыщения станции № 7 по влагозапасам

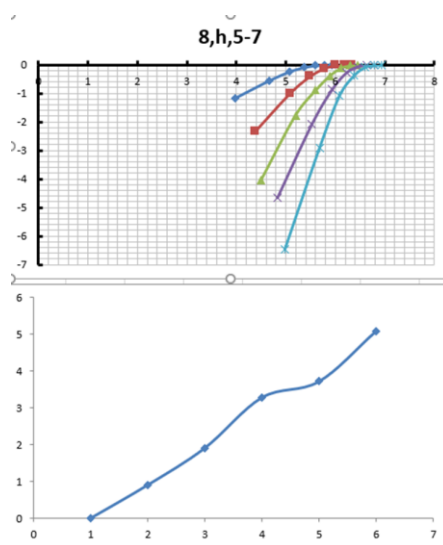


Рисунок Б.15 – График кривой насыщения станции № 8 по стоку

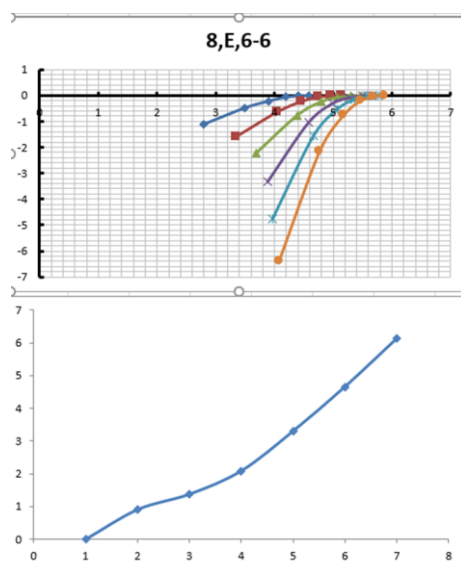


Рисунок Б.16 – График кривой насыщения станции № 8 по испарению

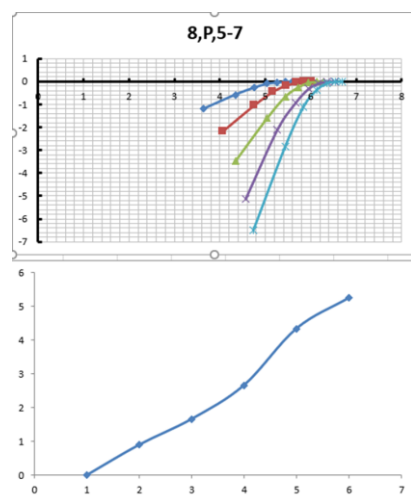


Рисунок Б.17 – График кривой насыщения станции № 8 по осадкам

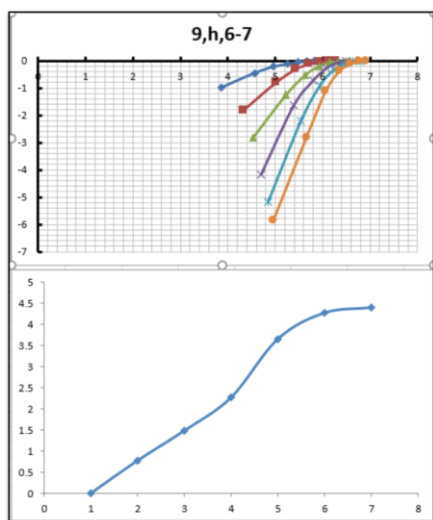


Рисунок Б.18 – График кривой насыщения станции № 9 по стоку

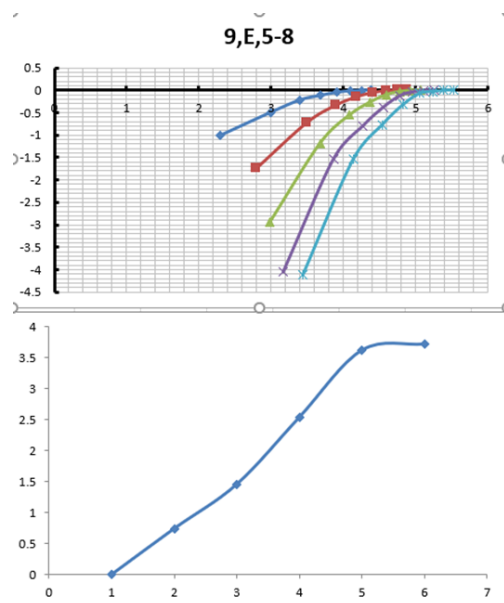


Рисунок Б.19 – График кривой насыщения станции № 9 по испарению

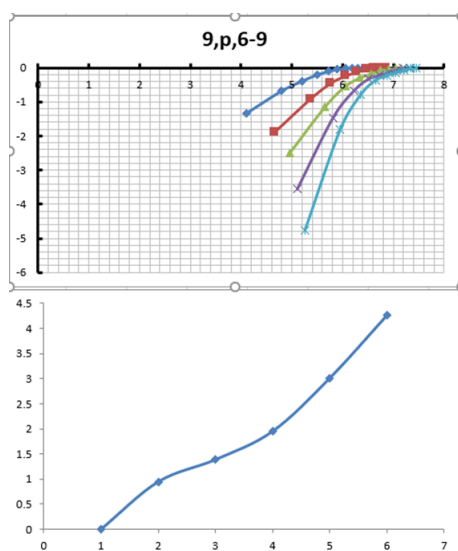


Рисунок Б.20 – График кривой насыщения станции № 9 по осадкам

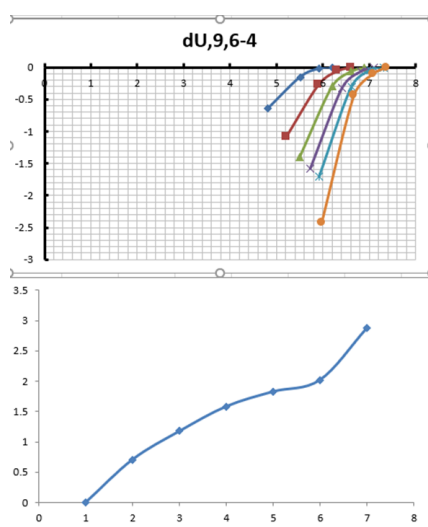


Рисунок Б.21 – График кривой насыщения станции № 9 по влагозапасам

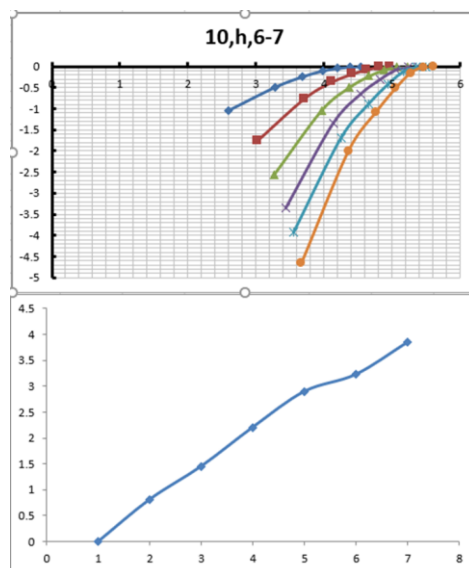


Рисунок Б.22– График кривой насыщения станции № 10 по стоку

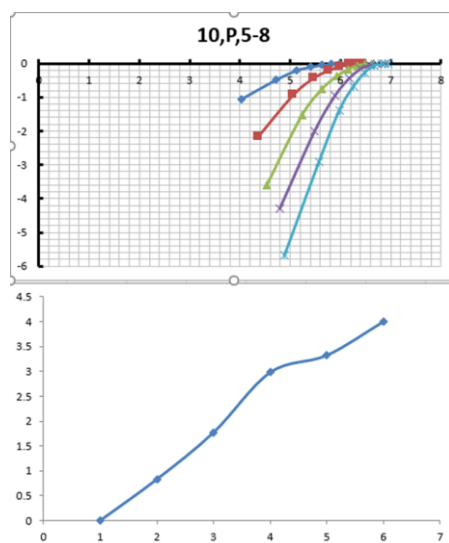


Рисунок Б.23– График кривой насыщения станции № 10 по осадкам

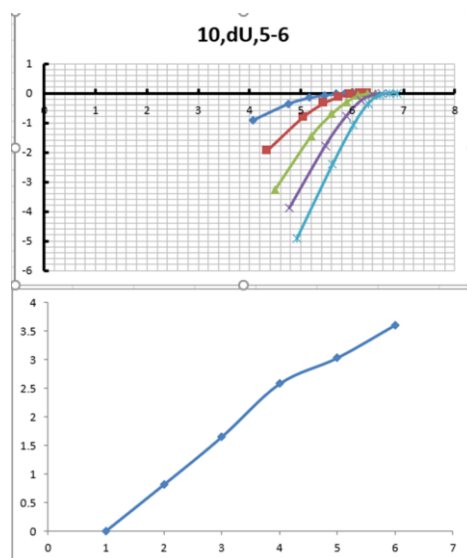


Рисунок Б.24 – График кривой насыщения станции № 10 по влагозапасам

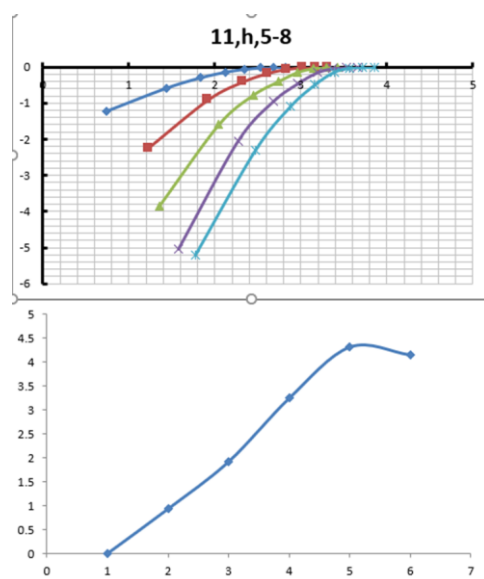


Рисунок Б.25 – График кривой насыщения станции № 11 по стоку

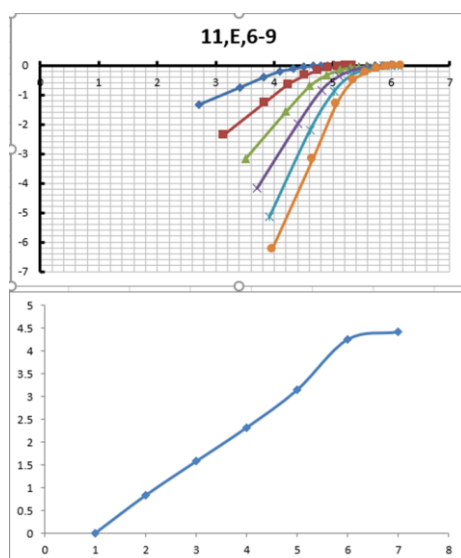


Рисунок Б.26— График кривой насыщения станции № 11 по испарению

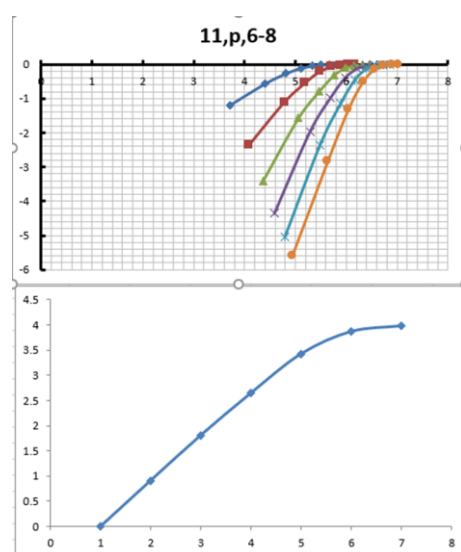


Рисунок Б.27 – График кривой насыщения станции № 11 по осадкам

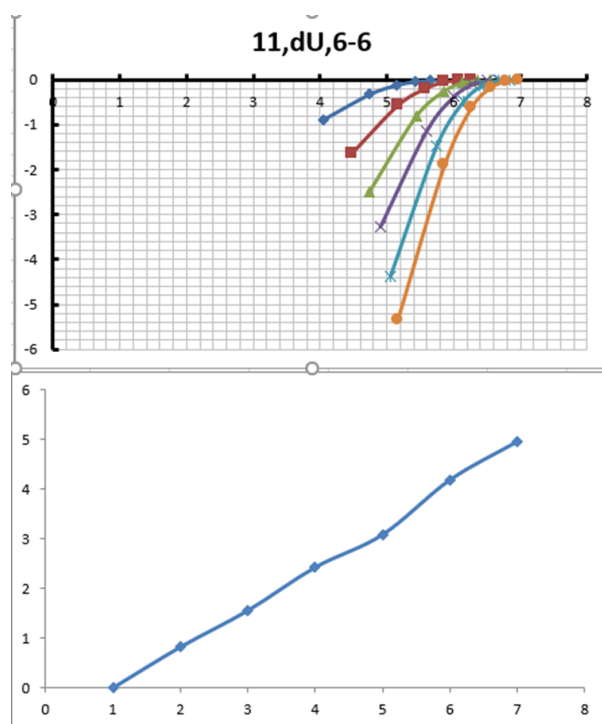


Рисунок Б.28 – График кривой насыщения станции № 11 по влагозапасам

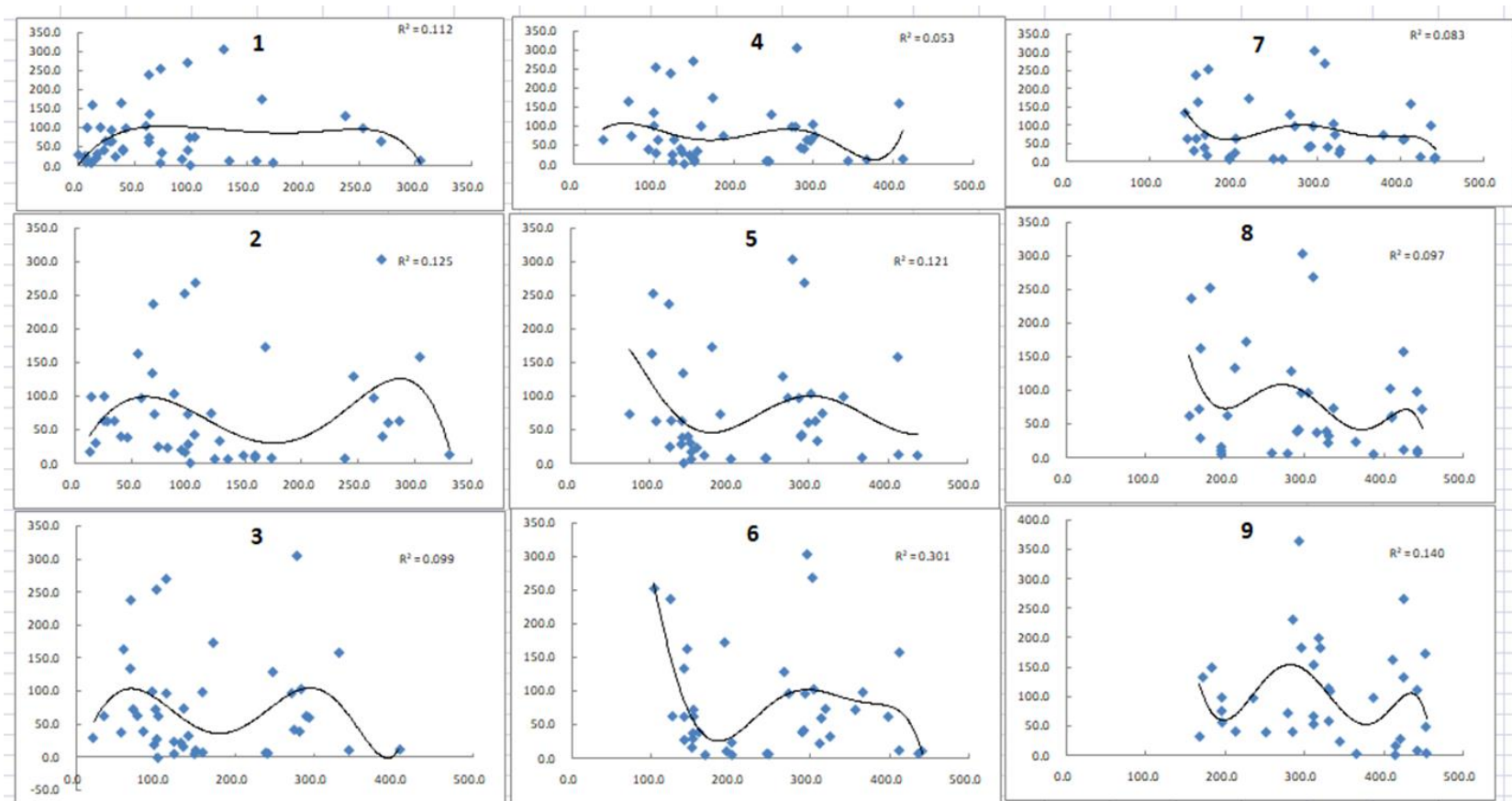


Рисунок Б.29 – Графики зависимостей $r(\rho)$ станции № 4 (полином)

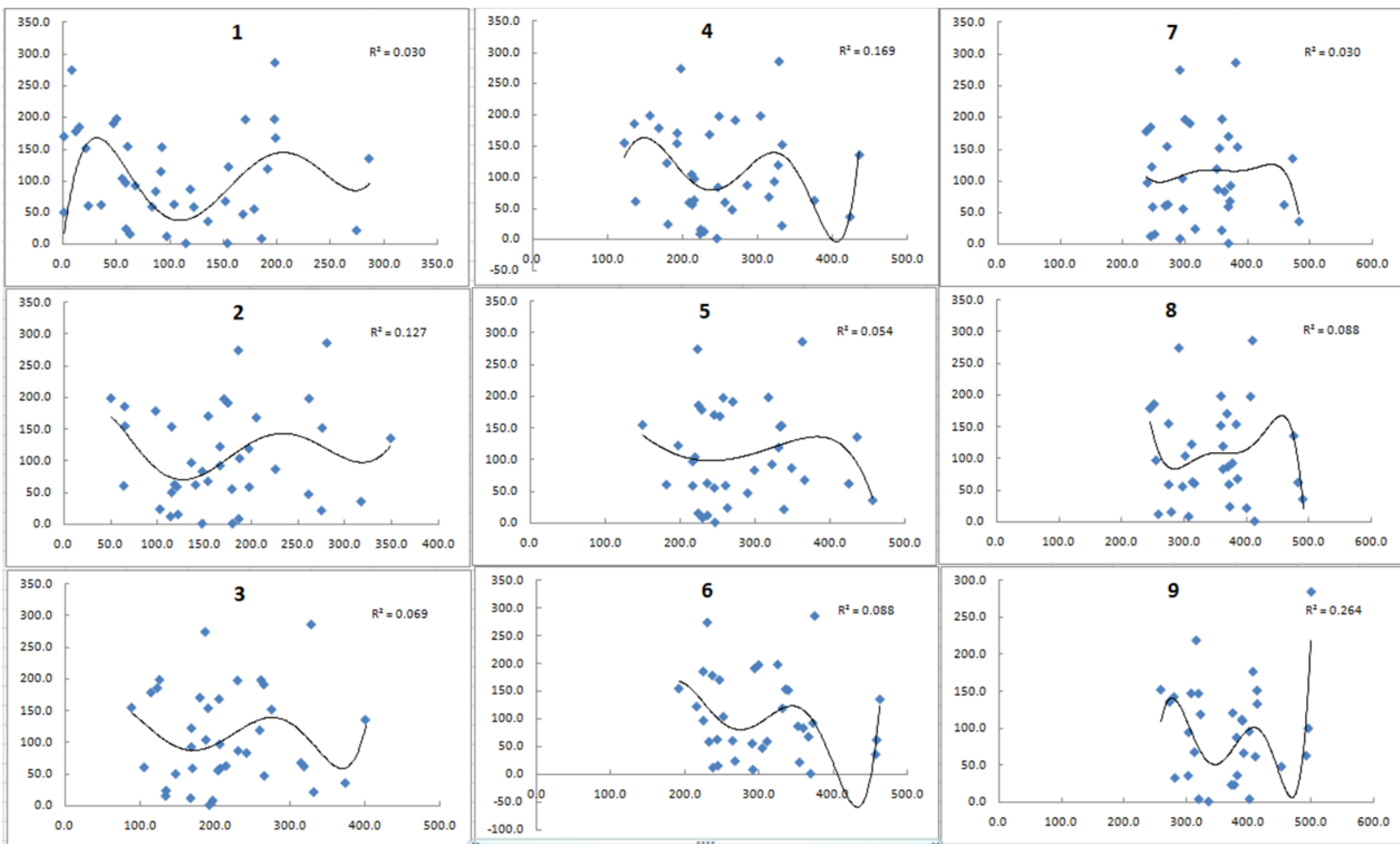


Рисунок Б.30 – Графики зависимостей $r(\rho)$ станции № 5 (полином)

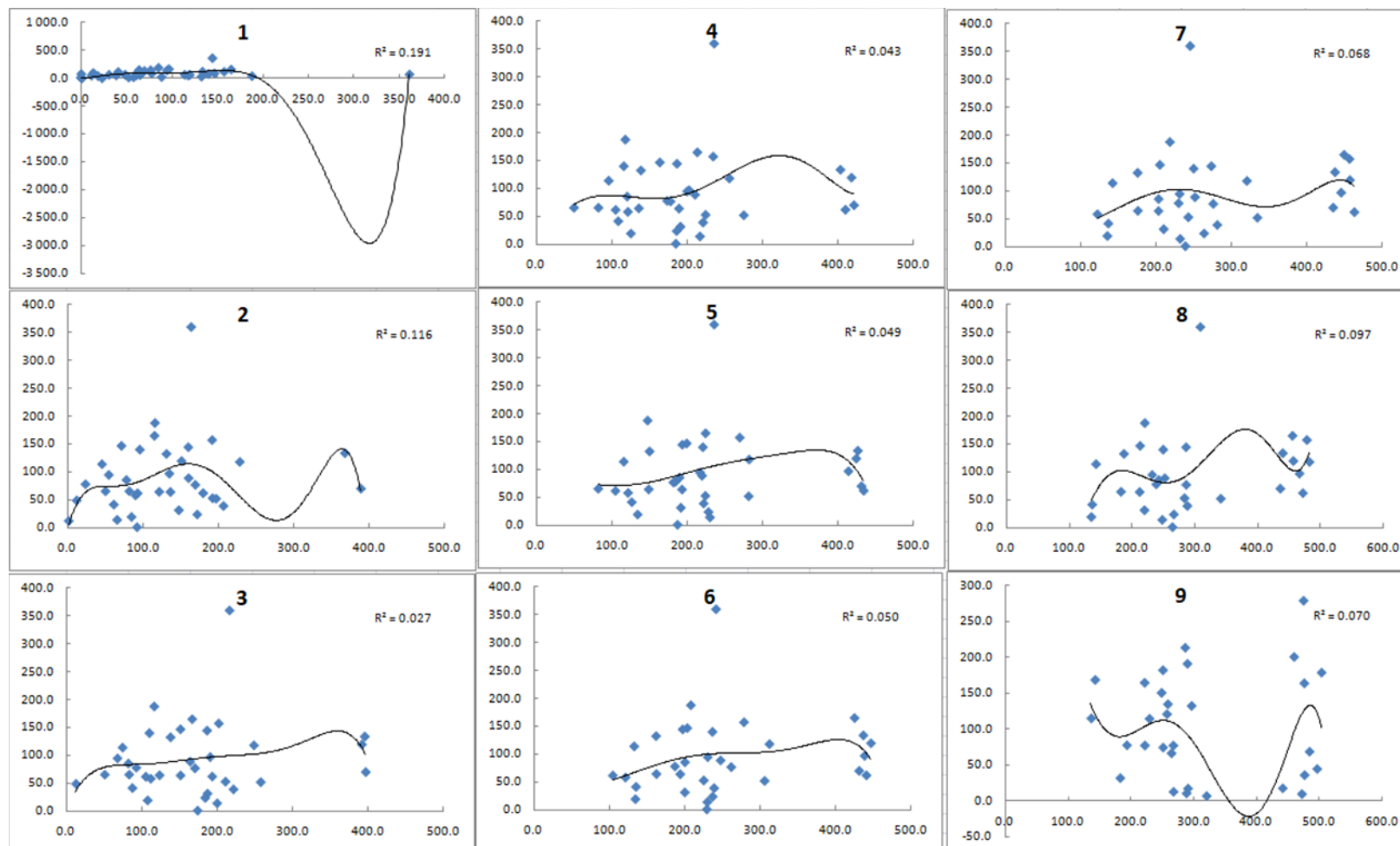


Рисунок Б.31 – Графики зависимостей $r(\rho)$ станции № 6 (полином)

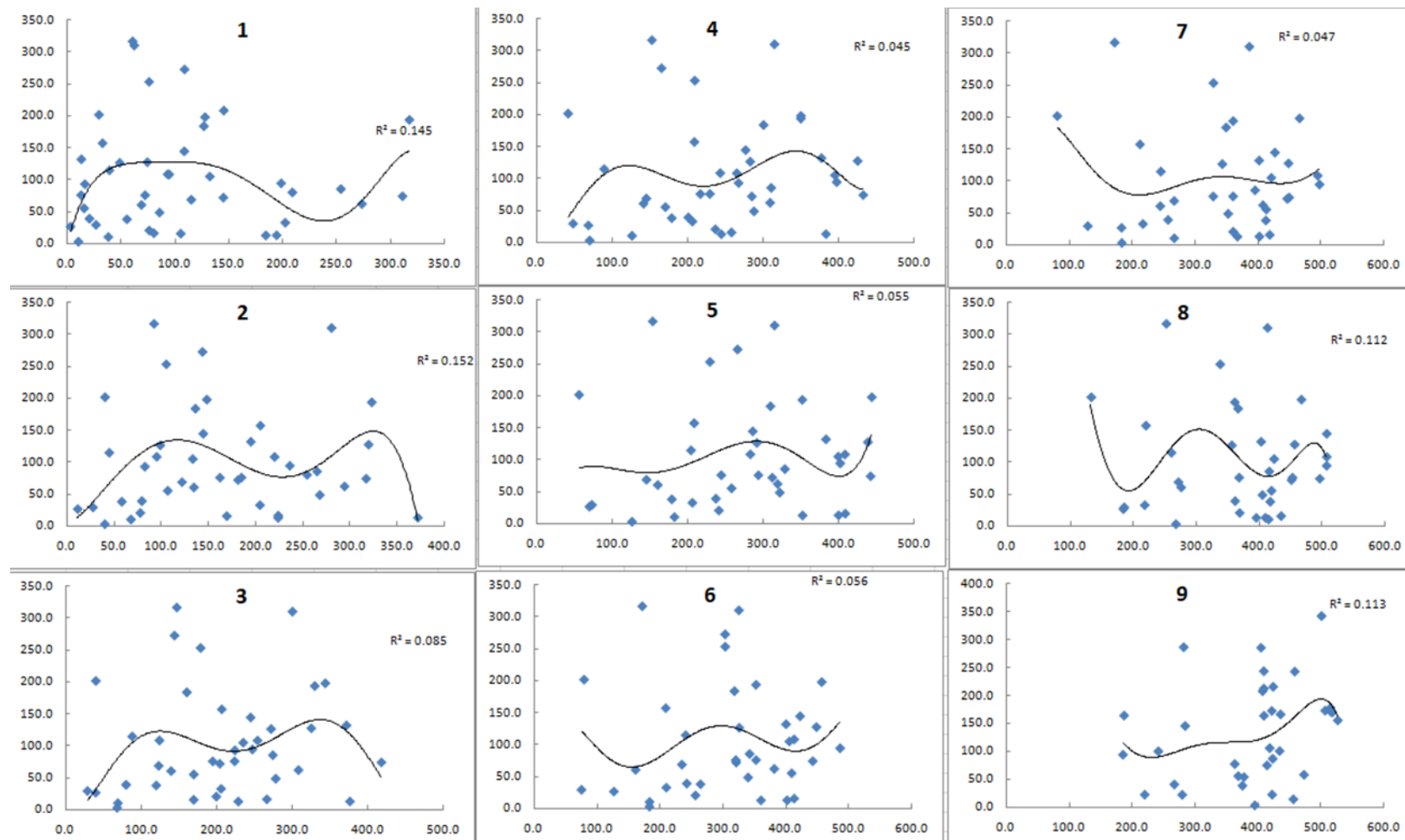


Рисунок Б.32 – Графики зависимостей $r(\rho)$ станции № 7 (полином)

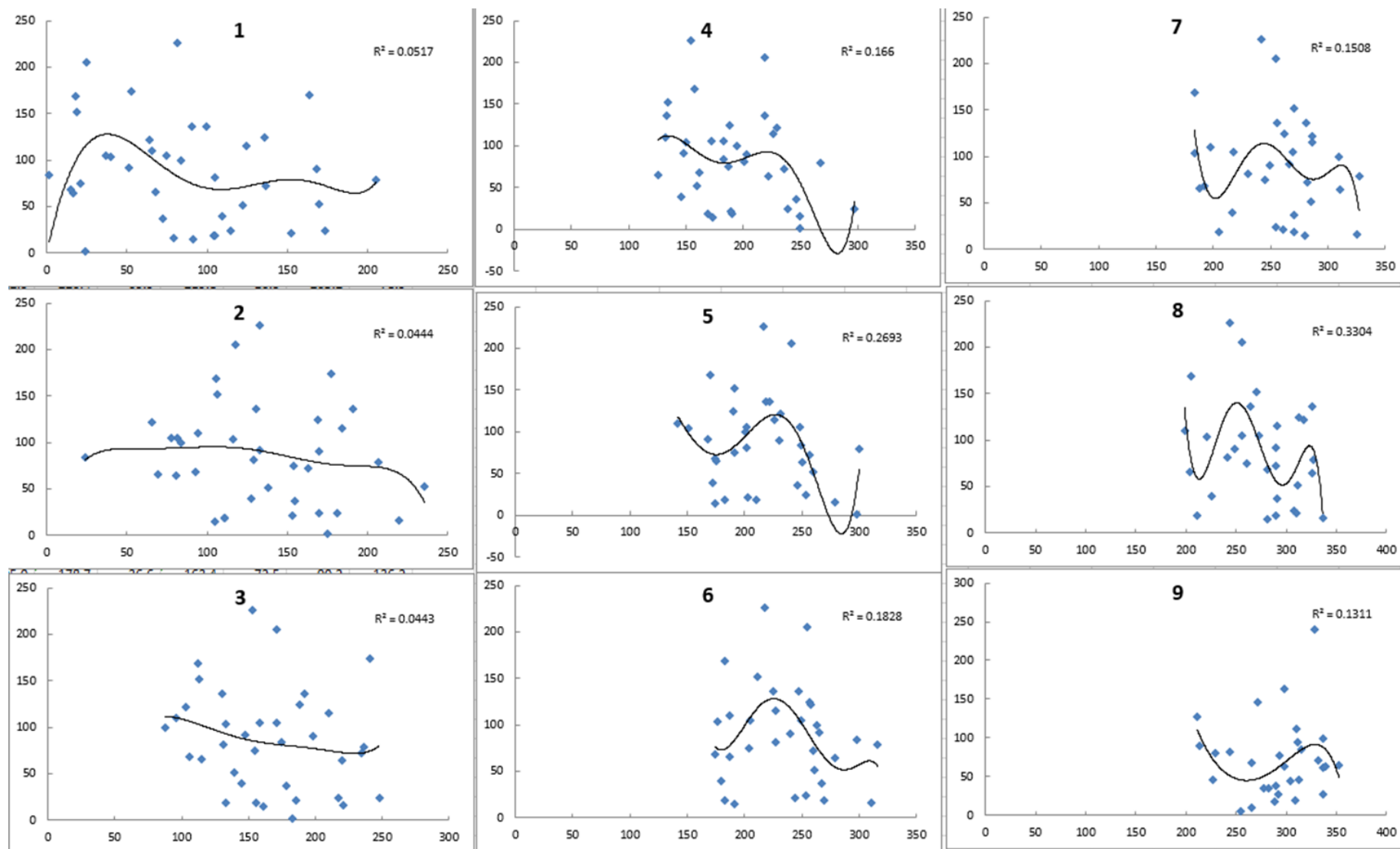


Рисунок Б.33 – Графики зависимостей $r(\rho)$ станции № 8 (полином)

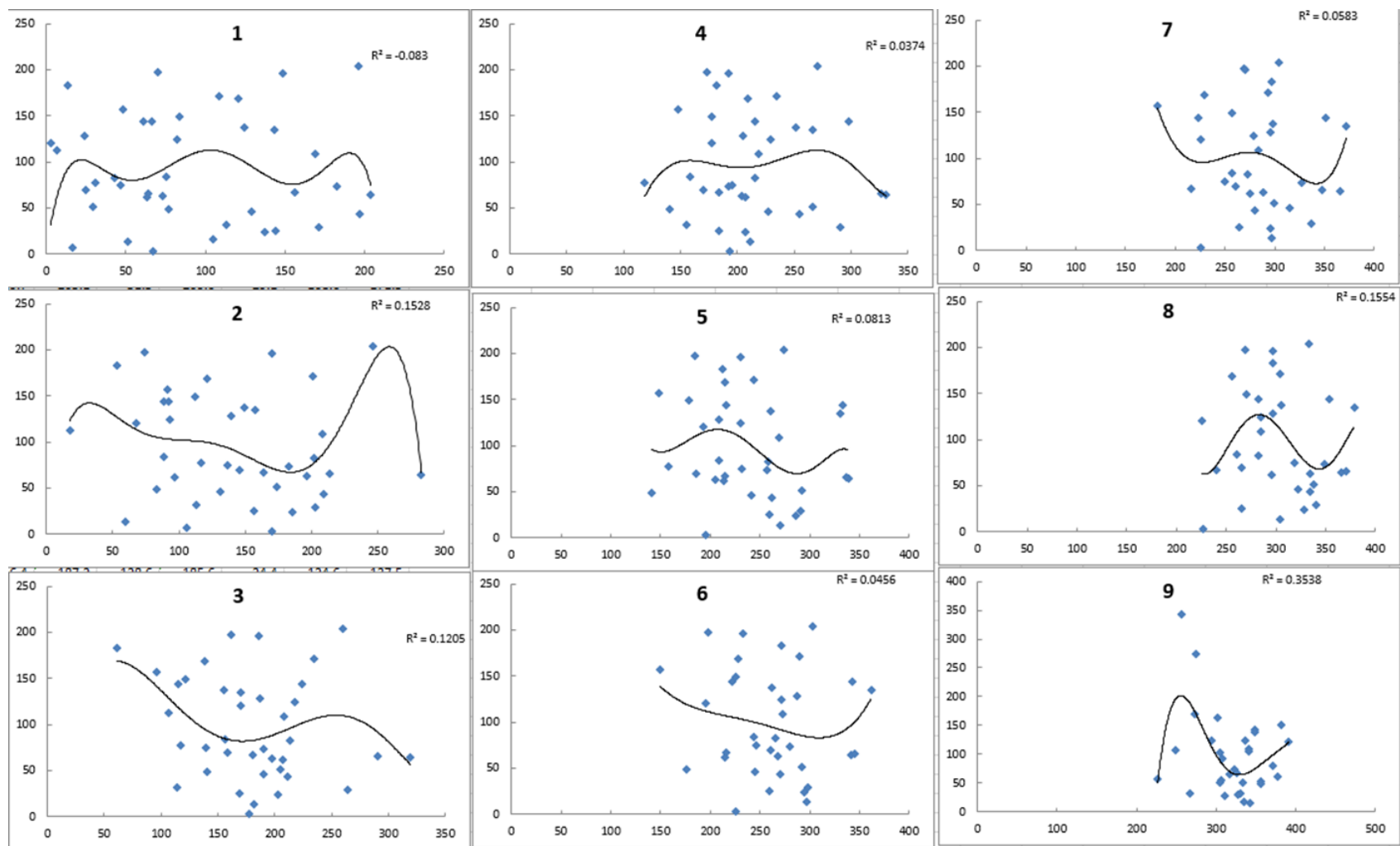


Рисунок Б.34 – Графики зависимостей $r(\rho)$ станции № 9 (полином)

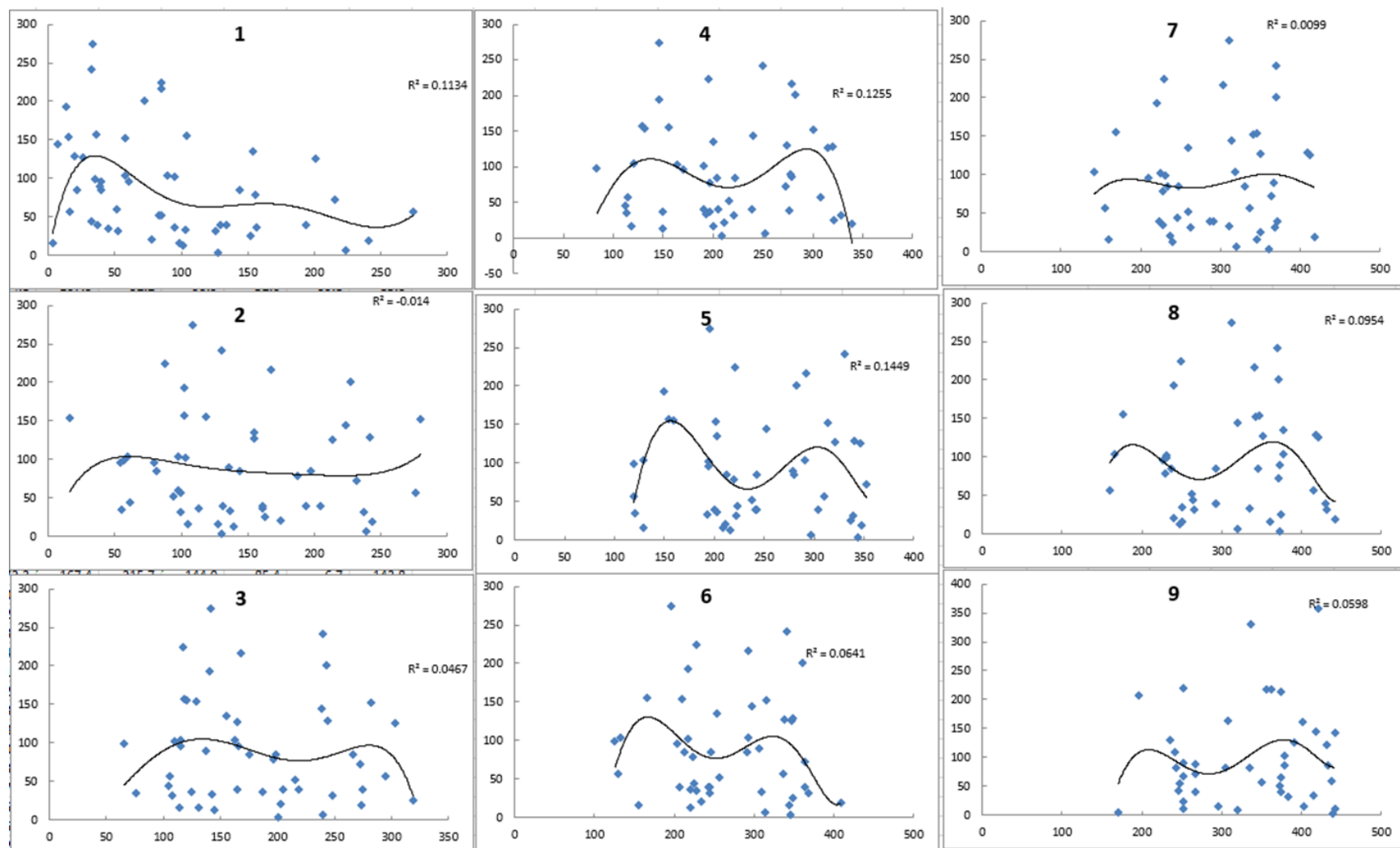


Рисунок Б.35 – Графики зависимостей $r(\rho)$ станции № 10 (полином)

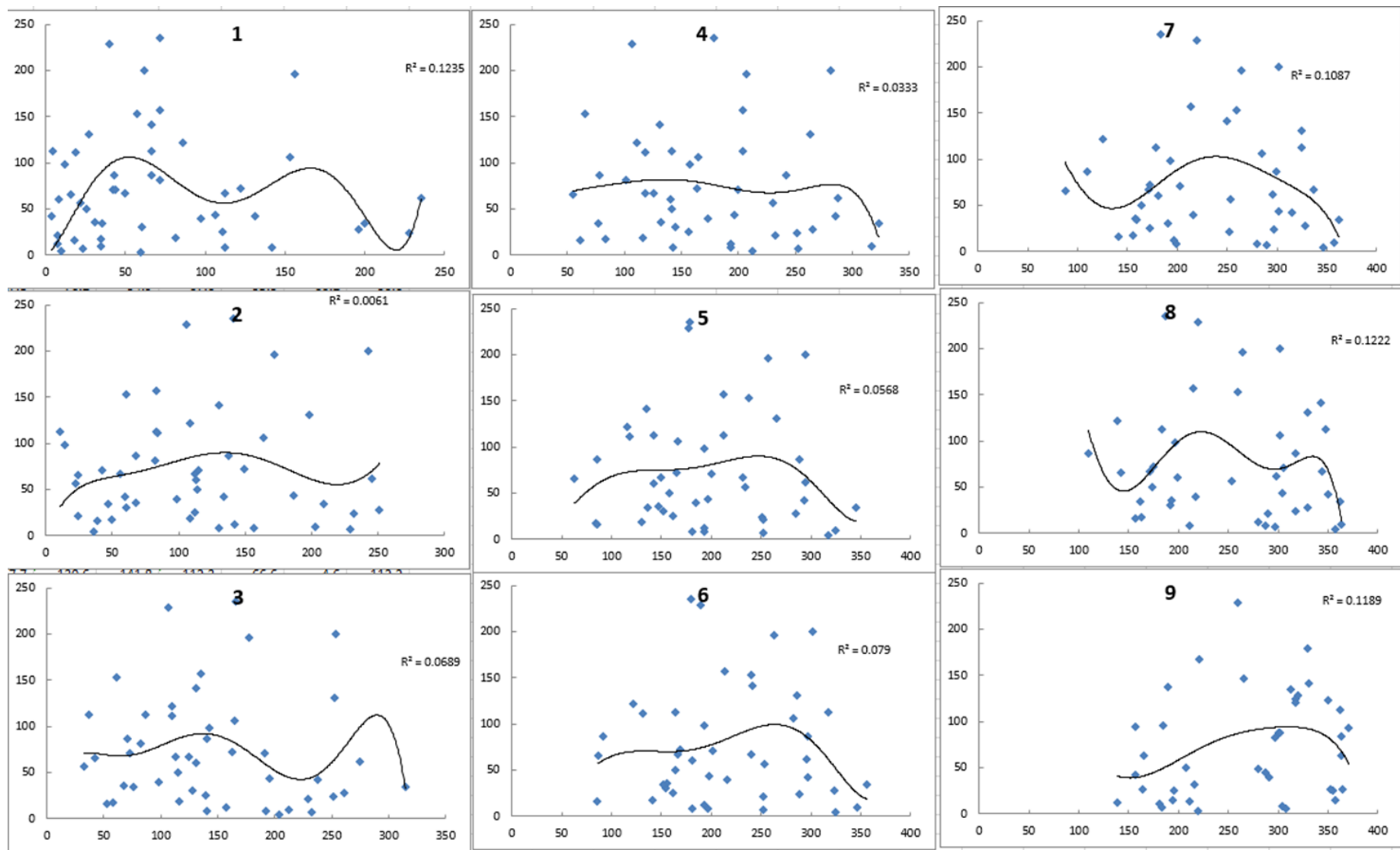


Рисунок Б.36 – Графики зависимостей $r(\rho)$ станции № 11 (полином)

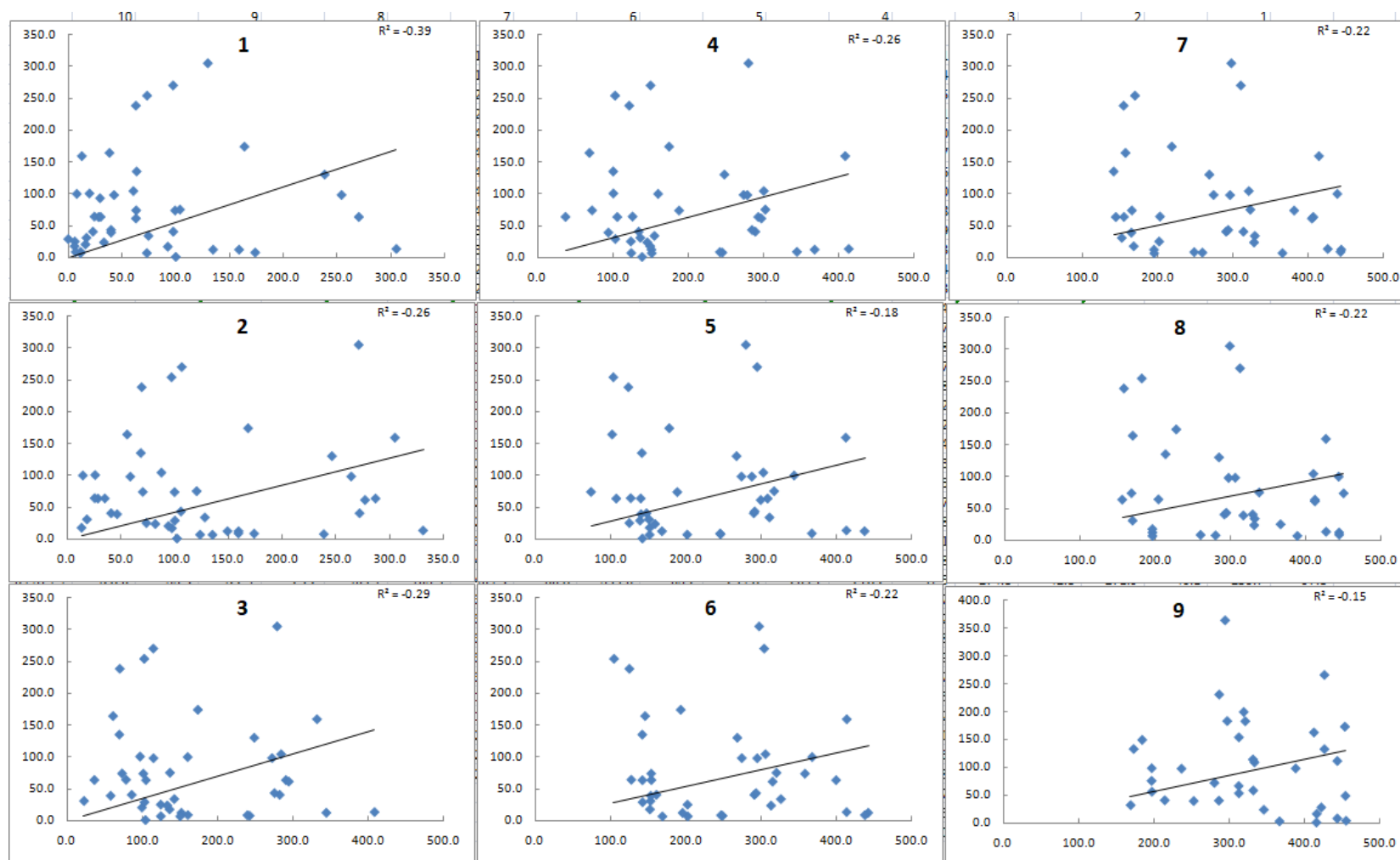


Рисунок Б.37 – Графики зависимостей $r(\rho)$ станции № 4 (линейный график)

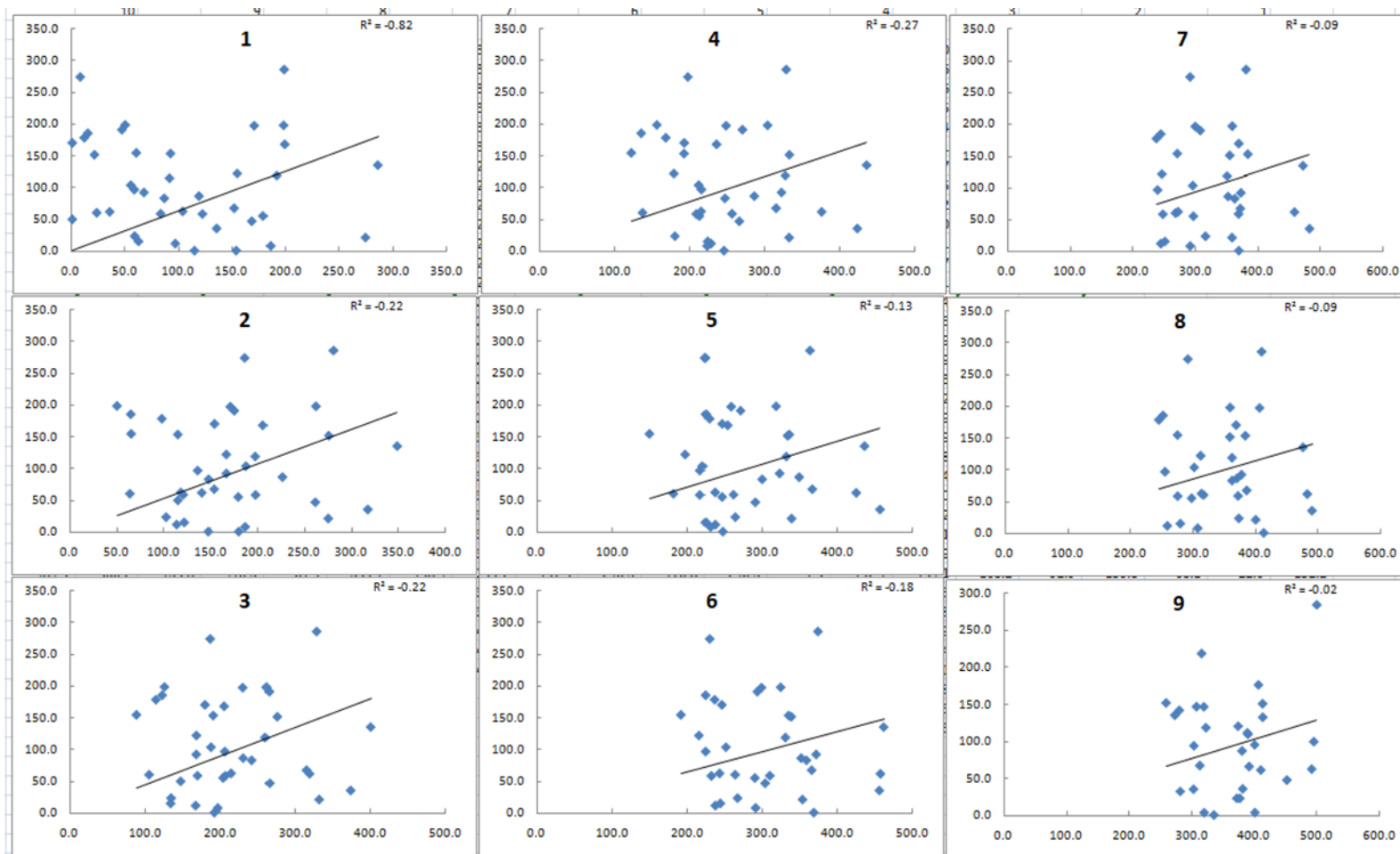


Рисунок Б.38 – Графики зависимостей $r(\rho)$ станции № 5 (линейный график)

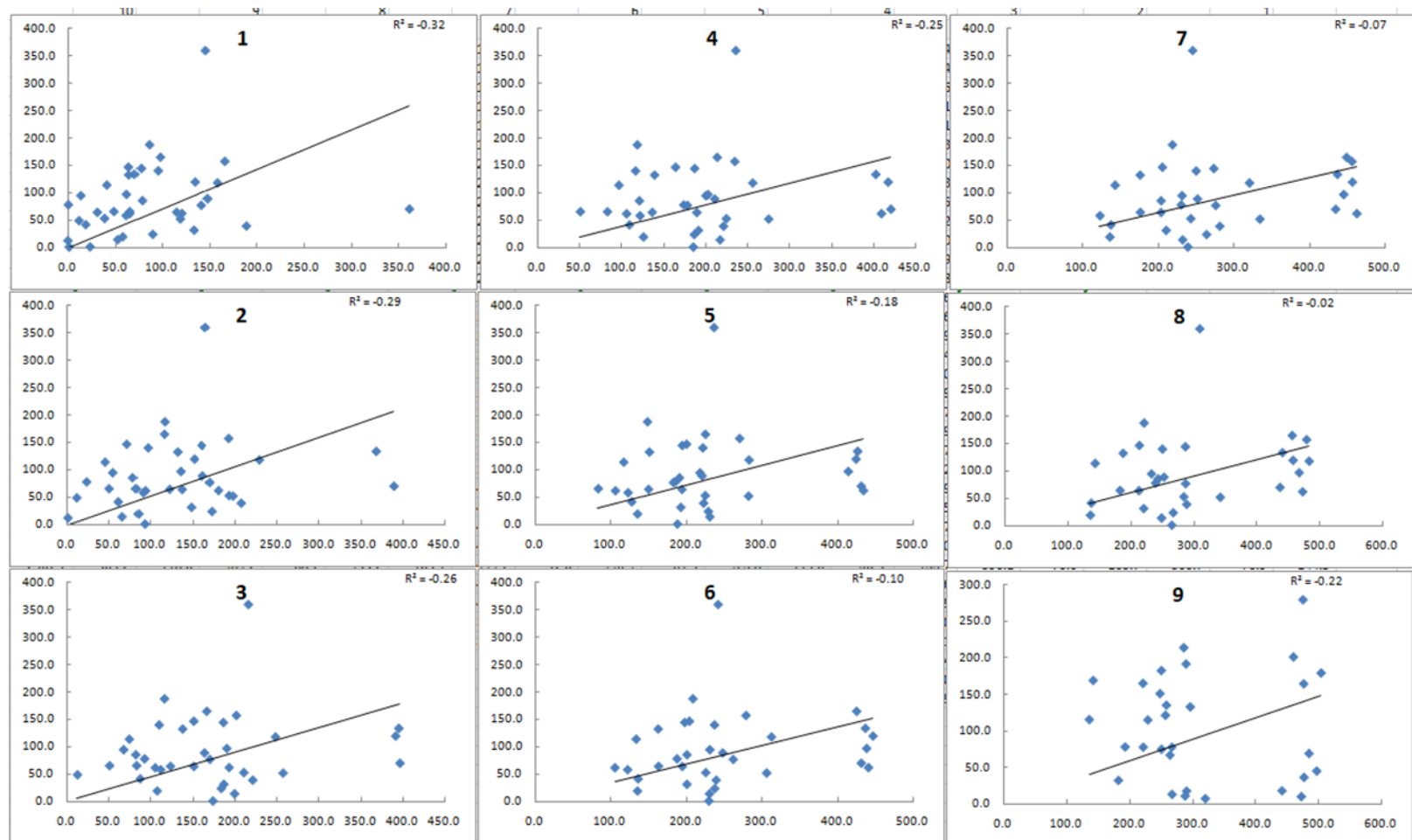


Рисунок Б.39 – Графики зависимостей $r(\rho)$ станции № 6 (линейный график)

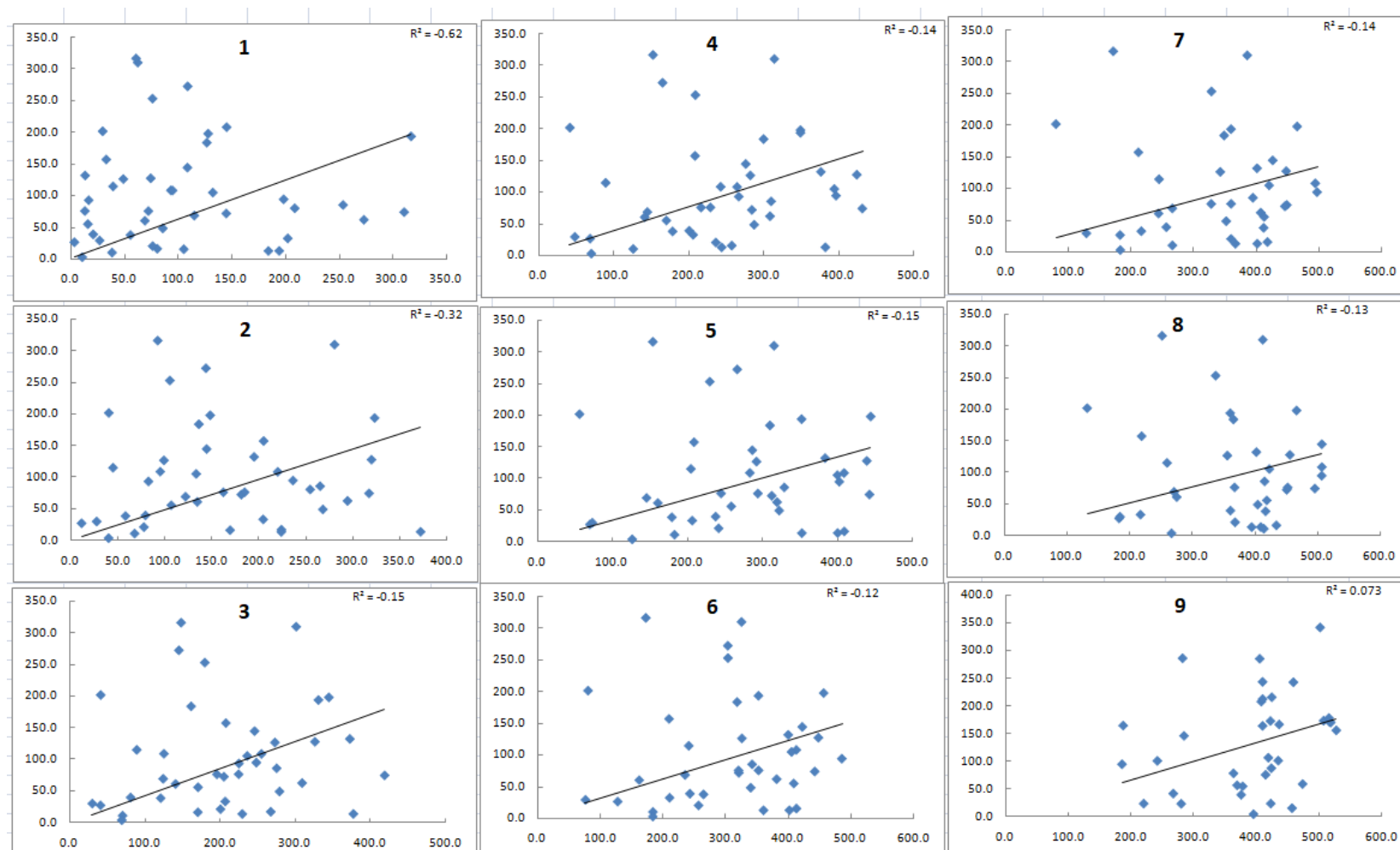


Рисунок Б.40 – Графики зависимостей $r(\rho)$ станции № 7 (линейный график)

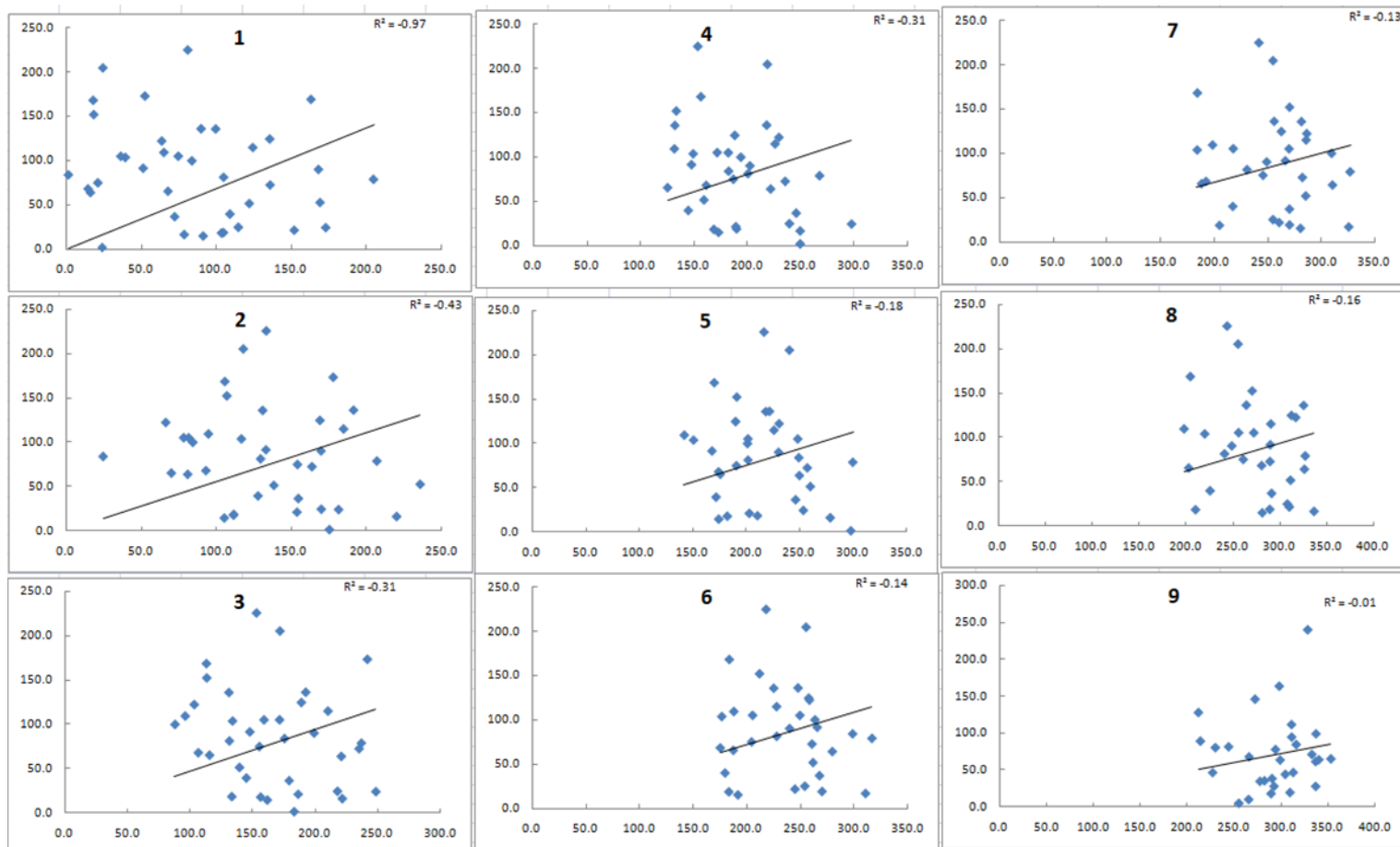


Рисунок Б.41 – Графики зависимостей $r(\rho)$ станции № 8 (линейный график)

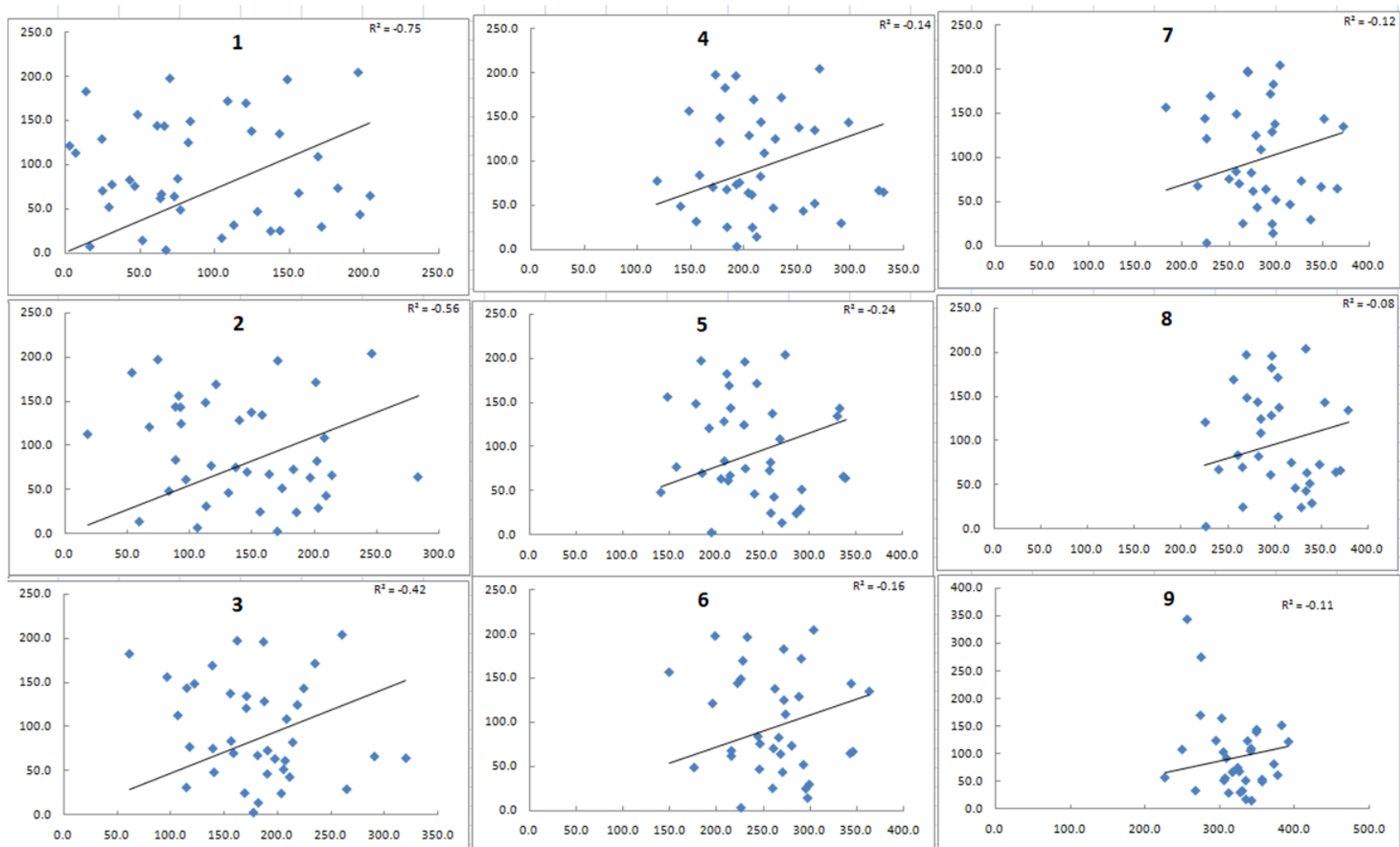


Рисунок Б.42 – Графики зависимостей $r(\rho)$ станции № 9 (линейный график)

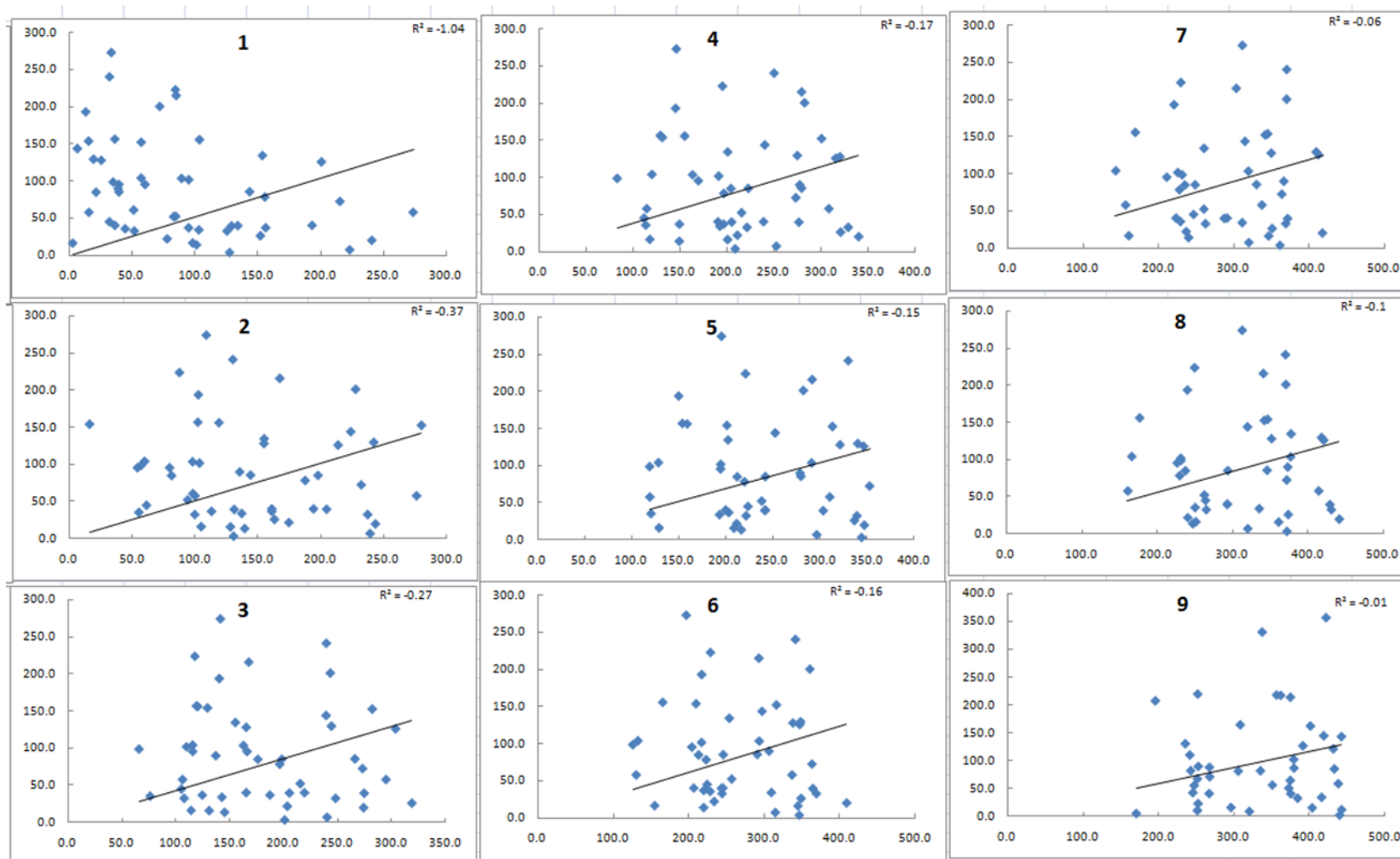


Рисунок Б.43 – Графики зависимостей $r(\rho)$ станции № 10 (линейный график)

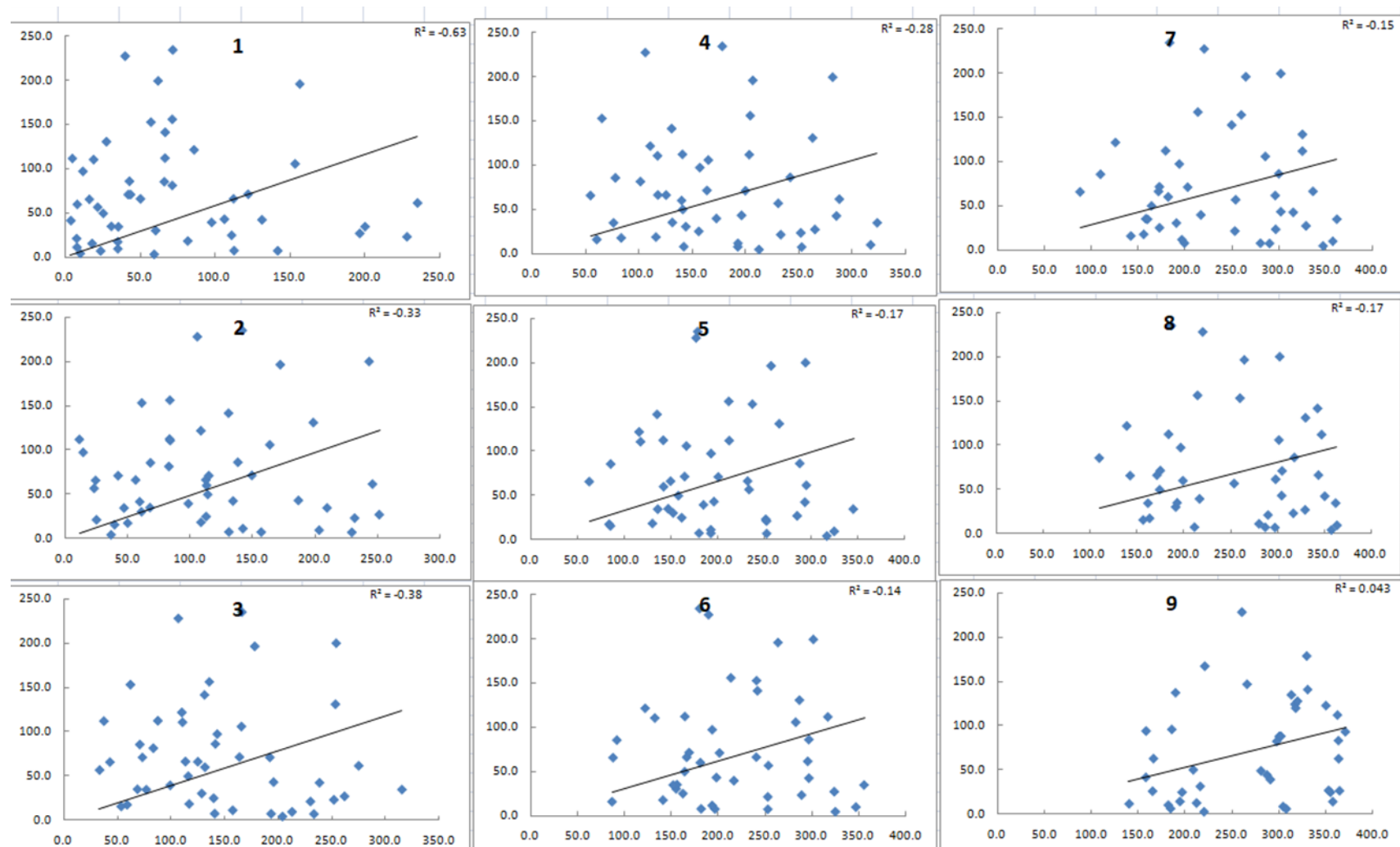


Рисунок Б.44 – Графики зависимостей $r(\rho)$ станции № 11 (линейный график)