

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ – МСХА ИМЕНИ К.А. ТИМИРЯЗЕВА»

На правах рукописи

АЛАЛИ ХОЗЕФА

**ИССЛЕДОВАНИЕ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ И
ХОЗЯЙСТВЕННОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БАСЕЙНА РЕКИ АЛ КАБИР
АЛ ШАМАЛИ НА ОСНОВЕ ГИС ТЕХНОЛОГИЙ**

Специальность 2.1.6. Гидротехническое строительство, гидравлика и инженерная
гидрология

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель:
Кандидат технических наук, доцент
ПЕРМИНОВ АЛЕКСЕЙ ВАСИЛЬЕВИЧ

Москва 2024

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
ГЛАВА 1. ИССЛЕДОВАНИЕ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ РЕЧНЫХ БАССЕЙНОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ГИОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ	14
1.1 Обзор концепций и методов гидрологического моделирования	14
1.2 Применение Гис технологии и дистанционное зондирование в гидрологическом моделировании	20
1.3 Роль ЦМР в гидрологическом моделировании.....	22
1.4 Использование, требования и источники данных в гидрологическом моделировании	26
1.5 Метод числа кривых стока SCS-CN.....	32
1.6 Оценка временного распределения расхода прямого стока (единичный гидрограф).....	37
1.7 Определение границ водосборного бассейна и маршрутизация стока	41
1.7.1 Методы определения границ водосбора с помощью ГИС-технологии и по данным ЦМР	42
1.7.2 Алгоритмы направления и накопления стока.....	45
1.8 Состояние и проблемы водных ресурсов САР, включая реки Ал Кабир Ал Шамали.....	47
Вывод по главе 1	54
ГЛАВА 2. СОСТОЯНИЕ ПРИРОДНО-ХОЗЯЙСТВЕННЫХ УСЛОВИЙ СИРИЙСКОЙ АРАБСКОЙ РЕСПУБЛИКИ, ВКЛЮЧАЯ БАССЕЙНЫ РЕКИ АЛ КАБИР АЛ ШАМАЛИ	55
2.1 Природно-хозяйственные условия Сирийской Арабской Республики.....	55
2.2 Географическое положение, особенности и водные объекты бассейна реки Ал Кабир Ал Шамали	66
2.3 Основные природные факторы влияющие на сток реки бассейна АЛ КАБИР АЛ ШАМАЛИ	72
2.3.1 Основные климатические факторы в бассейне реки АЛ КАБИР АЛ ШАМАЛИ.....	73
2.3.2 Землепользование бассейн реки АЛ КАБИР АЛ ШАМАЛИ	80
2.3.3 Почва и геология бассейна реки АЛ КАБИР АЛ ШАМАЛИ	82
Вывод по главе 2	85

ГЛАВА 3. ГИДРОЛОГИЧЕСКИЙ И МОРФОМЕТРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ОБЪЕКТА ИССЛЕДОВАНИЙ НА ОСНОВЕ ЦМР И ГИС ТЕХНОЛОГИИ.....	86
3.1 Морфометрические характеристики бассейна реки АЛ КАБИР АЛ ШАМАЛИ и их влияние на формирование стока	86
3.1.1 Характеристики формы бассейна.....	88
3.1.2 Топографические характеристики водосборных бассейнов	89
3.1.3. Параметры водосборных бассейнов	97
3.2 Гидрологический анализ бассейна реки АЛ КАБИР АЛ ШАМАЛИ.....	103
Вывод по главе 3	112
ГЛАВА 4. ВОДНЫЙ БАЛАНС ВОДОХРАНИЛИЩА 16 ТИШРИН НА РЕКЕ АЛ КАБИР АЛ ШАМАЛИ	113
4.1. Вычисление эмпирической обеспеченности среднегодовых расходов воды	113
4.2 Расчет объема-площади водохранилища 16 Тишрин по данным цифровой модели рельефа SRTM.....	116
4.3 Расчет батиграфической и объёмной характеристики водохранилища 16 Тишрин	122
4.4 Потери воды из водохранилища 16 Тишрин на испарения и инфильтрации.	127
Вывод по главе	138
ГЛАВА 5. МОДЕЛИРОВАНИЕ ДОЖДЕВОГО СТОКА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ HEC-HMS ДЛЯ БАСЕЙНА РЕКИ АЛ КАБИР АЛ ШАМАЛИ.	139
5.2 Расчет времени до пика и времени добегания.....	146
5.3 Метод маршрутизации каналов HEC-HMS Muskingum-Cunge (RD) для бассейна реки Ал Кабир Ал Шамали	148
5.4 Анализ количества осадков за разные периоды повторяемости.....	151
5.5 Характеристики паводковых вод разных периодов повторяемости бассейна реки Ал Кабир Ал Шамали	154
5.6 Влияние изменения типа землепользования на числа кривых стока SCS-CN	157
Вывод по главе	160
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	161
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ.....	168
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	169
ПРИЛОЖЕНИЕ А	198

ПРИЛОЖЕНИЕ Б.....	207
ПРИЛОЖЕНИЕ В	214
ПРИЛОЖЕНИЕ Г	218
ПРИЛОЖЕНИЕ Д	221

ВВЕДЕНИЕ

“Вода течёт повсюду,
но не одна капля лишней” —

Сэмюэлем Тейлором Кольриджем
(Samuel Taylor Coleridge)

Актуальность темы. На нашем прекрасном земном шаре вода является вторым по важности витальным природным ресурсом после атмосферного воздуха. Она участвует во всех химических реакциях, которые возникают в живом организме для поддержания жизни. И самое главное, человек без этой живительной влаги может прожить всего лишь несколько дней.

С конца 20 века и до сих пор, на планете Земля продолжается проблема нехватки и дефицита чистой пресной воды в разных регионах и странах мира. От недостаточного количества доступной питьевой воды, более 40% планетарного населения земного шара испытывает мучительные страдания. Следовательно, обеспечение достаточного объема пригодных водных ресурсов для удовлетворения потребностей, постоянно растущего населения; а также, нужд животного и растительного миров, является одной из приоритетных задач любого государства мира, поскольку вода имеет большое значение, как для обеспечения здоровья и качества жизни населения, так и для поддержания различных экосистем.

В настоящее время Сирия переживает водный кризис, который не собирается ослабевать. Война в Сирии оказала разрушительное воздействие на водные ресурсы страны: более чем десятилетний конфликт привел к повсеместному разрушению объектов водоснабжения и значительному ограничению доступа к основным услугам, включая безопасную воду. До 2010 г. надежный доступ к безопасной воде имели 98% жителей городов и 92% жителей сельских населенных пунктов. Сегодня в Сирии только 50% систем водоснабжения и канализации функционируют должным образом [142]. Изменение климата также оказывает значительное влияние на водные ресурсы Сирии, а Ближний Восток является одним из регионов, наиболее пострадавших от глобального климатического кризиса. По данным Продовольственной и сельскохозяйственной организации

ООН (FAO), зимой 2020-2021 гг. сезон дождей в Сирии начался на два месяца позже обычного и закончился на два месяца раньше обычного. Кроме того, из-за экстремальной жары в апреле во многих местах пострадали посевы. Летом этого года в стране наблюдалась самая сильная за последние 70 лет засуха, и агентство ООН ожидает потерь не менее 75% полевых культур и до 25% орошаемых посевов на северо-востоке Сирии [118]. Ситуация усугубляется сокращением объема воды из реки Евфрат, поступающей в Сирию из Турции. Глубокие изменения в гидрологии Сирии происходят уже несколько десятилетий в результате бесхозяйственности, война, изменения климата, экономического роста, интенсивного водопользования и усиления конкуренции за воду через международные границы. По данным Продовольственной и сельскохозяйственной организации (FAO), к 2025 году объем доступных водных ресурсов на душу населения сократится вдвое [118].

В свете этих проблем гидрологическое моделирование играет все более важную роль в оптимизации управления водными ресурсами, особенно для речных бассейнов с данными различных временных масштабов. Эти модели являются перспективными инструментами для изучения различных инженерных проблем, связанных с водными ресурсами, таких как прогнозирование и планирование наводнений, оценка засухи, оценка количества и качества воды, а также гидрологических реакций в условиях изменчивости климата. С помощью этих моделей можно понять, как вода течет и распределяется в земных слоях и как различные компоненты земного слоя взаимодействуют с водой. Эта информация может быть использована для эффективного управления водными ресурсами и поддержания водного баланса в окружающей среде. В случае с бассейном реки Ал Кабир Ал Шамали гидрологическое моделирование могут дать ценные сведения о поведении реки и помочь в принятии решений, связанных с управлением водными ресурсами в регионе.

Целью данной работы является комплексное гидрологическое моделирование бассейна реки Ал Кабир Ал Шамали на основе данных дистанционного зондирования, цифровых моделей рельефа и наземных измерений

для получения расчетных гидрографов стока разных периодов повторяемости, в интересах оптимизации управления и регулирования водными ресурсами данного объекта исследования.

Оценка потерь воды на испарение из водохранилища 16 Тишрин на р. АКАШ и разработать рекомендации по модернизации и эксплуатации водохранилища, в интересах минимизировать потери воды данного объекта исследования.

Задачи исследования:

1. Изучить характеристики территории Сирийской Арабской Республики по основным климатическим, морфометрическим, гидрологическим и геологическим параметрам.

2. Проанализировать физико-географические характеристики бассейна р. АКАШ и собрать высококачественные данные, необходимые для гидрологического моделирования р. АКАШ, включая осадки, температуру, испарения, гидрологическую группу почвы и землепользование.

3. Разработать комплексный морфометрический и гидрологический анализ водосборных бассейнов р. АКАШ на основе ГИС-технологий и ЦМР.

4. Оценить объем воды, потерянной с поверхности зеркала водохранилища 16 Тишрин впоследствии испарения без учета инфильтрации и с учетом инфильтрации, разработать рекомендации по модернизации и эксплуатации водохранилища 16 Тишрин.

5. Подготовить гидрологическую модель на основе метода числа кривых стока SCS-CN и единичного гидрографа для моделирования (дождь-сток) р. АКАШ на основе собранных данных и проверить ее пригодность для испытательного процесса, например: выбор оптимальной программы из программ геоинформационных систем; проверка бесплатных цифровых моделей рельефа и выбор оптимальных для процесса моделирования; исправление ошибок в спутниковых данных с использованием физических измеренных данных, затем запуск модели для получения гидрографа дождевого стока различных периодов повторяемости (2,5,10,20,25,50,75 и 100 лет).

6. Констатировать изменение землепользования на числа кривых стока SCS-CN.

Объектом настоящей научной исследований является водосборный бассейн реки Ал Кабир Ал Шамали в САР и его гидротехническое сооружение.

Предметом исследования является процесс моделирования и использование Гис-технологий и цифровых моделей рельефа как подход к повышению эффективности управления водными ресурсами и изучение влияния изменений элементов водного баланса на формирование речного стока.

Научная новизна – выполненных исследований заключается в решении ряда фундаментальных и научно-технических задач, открывающем возможность моделирования и прогнозирования стока рек и управление водными ресурсам.

В рамках решения конкретных задач впервые:

1. Исследованы теоретико-методические основы гидрологического моделирования с использованием Гис-технологии и ЦМР. Освещаются требования к научной достоверности данных, необходимых для гидрологического моделирования, а также рассматриваются источники данных, применяемые в гидрологическом анализе.

2. Построена гидрологическая модель реки АКАШ с использованием метода числа кривых стока SCS-CN в программе WMS & HEC-HMS для демонстрации влияния изменений землепользования на числа кривых стока SCS-CN и получения гидрографа дождей для разных периодов повторяемости (2,5,10,20,25,50,75 и 100 лет).

3. Раскрыты возможности применения ГИС-технологий и цифровых моделей рельефа для проведения гидрологических и морфологических анализов бассейна р. АКАШ в САР.

4. Разработана геоинформационная база данных водосборного бассейна, включающая морфометрические; климатические; гидрологические с использованием дистанционного зондирования и программных продуктов ГИС-технологий.

5. Проведена фактическая оценка водного баланса водохранилища 16 Тишрин по ГИС-технологии и методы ДЗ; а также, разработаны рекомендации по совершенствованию и модернизации эксплуатации водохранилища 16 Тишрин.

6. Проверен уровень точности данных глобальных цифровых моделей рельефа и программных продуктов ГИС-технологии для анализа речного бассейна р. АКАШ в САР.

Теоретическая значимость данного исследования заключается в формулировании и валидации параметров гидрологической модели, охватывающей различные физические и гидрологические явления в бассейне р. АКАШ. Эти параметры получены на основе ГИС-технологии и ДЗ, в дополнение к физическим измеренным данным. Кроме того, применение ГИС-технологии и ДЗ для моделирования гидрологических явлений, проливает свет на климатические закономерности, изменение землепользования и особенности почвы в исследуемом районе, а также оценивает практичность различных подходов к определению параметров модели.

В установлении базы данных в пределах водосборного бассейна, целью которой является достижение оптимизации управления водными ресурсами изучаемого бассейна.

В разработке теории расчетов потерь воды из водохранилища 16 Тишрин и оценка влияния землепользования на гидрографе стока.

Практическое значение работы:

1. Определение границ водосборного бассейна реки Ал Кабир Ал Шамали с использованием цифровой модели рельефа.

2. Разработана морфометрическая и гидрологическая база данных для объекта исследования на основе геоинформационных систем и методов ДЗ.

3. Получение высококачественные данные об элементах водного баланса такие как (дождь, температура, влажность, испарение, землепользование и почва в разных периодах (1979-2023 Г)).

4. Подтверждение эффективного использования цифровой модели рельефа для определения ПОУ плотины 16 Тишрин и разработан метод оценки потерь воды из водохранилища вследствие испарения.

5. Разработана гибридологическая модель с использованием программы WMS и HEC-HMS для объекта исследования, и выполнена оценка изменения землепользования на числа кривых стока SCS-CN.

6. В освещении современных особенностей различных видов глобальных цифровых моделей рельефа и программные продукты ГИС чтобы, выбрать и определить наиболее точные ЦМР и соответствующие инструменты ГИС, подходящие для оптимизации процесса гидрологического моделирования бассейна р. АКАШ, для получения более точных и надежных результатов.

Материалы и методы исследования:

Для решения поставленных задач диссертационного исследования, были применены следующие материалы ЦМР SRTM 30, данные о дождях CHIRPS (Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data), данные об испарении MOD16A2GF (MODIS Global Evapotranspiration/Fusion), данные FLDAS, данные спутника Sentinel-2, база данных почв (HWSD), данные компании ESRI для землепользования и физические измерения данных, для углубленного изучения гидрологической обстановки р. АКАШ.

Исследования основывались на двух основных методах решения предложенных задач:

Первый метод - уравнение водного баланса для определения количества испарения из водохранилища 16 Тишрин на р. АКАШ.

Второй метод основывался на гидрологической модели числа кривых стока SCS-CN (CN) и на показаниях единичного гидрографа для расчета гидрографа паводков различных периодов повторяемости р. АКАШ.

Обработка результатов выполнялась при помощи ЭВМ с использованием стандартных программ Microsoft Office, WMS, SNAP Desktop, Global Mapper, ArcGIS Pro, SAGAGIS, HEC-HMS, QGIS, Google Earth Pro, BaseCamp, HyfranPlus и Grapher.

Степень разработанности темы исследования. Существует множество исследований, подчеркивающих важность использования геоинформационных систем (ГИС) и данных дистанционного зондирования Земли в процессах гидрологического моделирования, например, работы Мотовилов Ю. Г.; Гельфан А. Н.; Коваленко В. В.; Пьянков С. В., Шихов А. Н.; Einfalt T. et al.; Zaitchik B.; Smith R.; Kite G. W.; Gunduz O.; Navascues B. A и других. Эти источники данных используются для создания баз данных по речным бассейнам и разработки гидрологических моделей, которые генерируют гидрологические результаты, включая гидрографы, речной сток и информацию, важную для управления водными ресурсами. Данной диссертации - пролить свет на несколько важнейших аспектов использования данных ГИС и цифровых моделей рельефа для сравнения с расчетными данными для бассейна реки АКАШ в САР, чтобы предложить стратегии повышения эффективности управления ресурсами в вышеупомянутом бассейне.

Положения, выносимые на защиту:

1. Результат районирования САР на различные бассейны, имеющиеся сопоставимые морфометрические, гидрологические, климатические, геологические и почвенные характеристики для обобщения полученные результаты моделирование водосборного бассейна АКАШ на аналогичные бассейны в различных районах Сирийской Арабской Республики.

2. Результаты морфометрического и гидрологического анализа р. АКАШ в САР с использованием географической информационной системы и цифровых моделей рельефа, а также результаты анализа климатической информации CHIRPS за период с 1981 по 2023 гг. и MODIS об испарении за период с 2000 по 2022 гг. для водосборного бассейна р. АКАШ включая водохранилище 16 Тишрин. Этот анализ имеет решающее значение для оценки водных ресурсов и оптимизации управления водными ресурсами в бассейне.

3. Использование комплекса инструментальных и технологических методик, включая CFSR, ЦМР, QGIS, ArcGis Pro и другие, для построения региональной

базы данных, облегчает решение проблем формирования речного стока на водосборах р. Акаш.

4. Результаты водного баланса водохранилище 16 Тишрин – определение объём потерь воды на испарение без учета инфильтрации и с учётом инфильтрации и разработать рекомендации по эксплуатации водохранилища.

5. Результаты выбора глобальные ЦМР (SRTM 1, SRTM GL1, V3 ASTER, GMTED2010, PALSAR ALOS и GTOPO30) и программные продукты ГИС-технологии (SAGA GIS, WMS, ArcGIS Pro, GRASS GIS, ILWIS GIS, Surfer, Whitebox GAT, Global mapper), наиболее подходящий для водосборного бассейна.

6. Результаты Гидрографа дождя разных периодов повторяемости с использованием метода числа кривых стока SCS-CN и выветь влияние изменение землепользование на числа кривых стока SCS-CN для развития управление водными ресурсами в объекте р. АКАШ.

Степень достоверности и апробация результатов. Основные результаты и выводы диссертационного исследования были представлены и доложены автором на следующих конференциях:

- 7-я Научно-практическая конференция «Творческая молодежь и инновационное развитие» (Бухара, Узбекистан, 2022г);
- VI Всероссийский научно-практический семинар, посвященный 120-летию со дня рождения Андрея Васильевича Михайлова «Современные проблемы гидравлики и гидротехнического строительства» (Москва, 2023г);
- VII Всероссийской национальной научной конференции молодых учёных «Молодёжь и наука: актуальные проблемы фундаментальных и прикладных исследований» (Комсомольск-на-Амуре, 2024г);
- XIV Национальная конференция с международным участием «Современные проблемы и перспективы развития строительства, теплогазоснабжения и энергообеспечения» (Саратов, 2024г);
- Международная научная конференция молодых учёных и специалистов, посвящённой 150-летию со дня рождения Миловича Александра Яковлевича (Москва, 2024г);

- Международной Летней школы на тему «Интеграция аграрной науки в мировое образовательное пространство» ЮКУ им. М. Ауэзова (г. Шымкент, Республика Казахстан, 2024г);
- VII Всероссийская научно-практическая семинар «современные проблемы гидравлики и гидротехнического строительства» Москва, 22 мая 2024 года;

Личный вклад автора. Автор лично подготовил специальную базу данных для гидрологического моделирования бассейна реки АКАШ в САР, построил гидрологическую модель, проанализировал и интерпретировал полученные результаты, а также полностью написал текст диссертации, выводы и предложение.

Публикации. По теме диссертационной исследовании опубликована 18 научных работ, в том числе 5 статей в научных журналах, рекомендованных ВАК Российской Федерации, одна статья опубликована в журналах, индексируемых в международных реферативных базах Scopus и зарегистрированы три базы данных.

Структура и объем диссертации: состоит из введения, 5 глав, заключение, список сокращений, список использованной литературы и 5 предложения, содержит 230 страниц, список литературы из 246 наименований, 57 рисунков, 33 таблицы.

ГЛАВА 1. ИССЛЕДОВАНИЕ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ РЕЧНЫХ БАССЕЙНОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

1.1 Обзор концепций и методов гидрологического моделирования

Растущий спрос на воду с одной стороны, истощение природных водных ресурсов с другой, а также увеличение антропогенной нагрузки на земельные и водные ресурсы в ожидаемом будущем вызывают все большую озабоченность. В свою очередь, обуславливает к появлению актуальных предположений по выходу из сложившейся ситуации. На сегодняшний день существует несколько решений в области моделирования гидрологических систем, начиная от расчета осадков до стока по руслу. [88].

Значительное развитие компьютерных наук, включая геоинформационные системы и дистанционное зондирование, сыграло важную роль в разработке гидрологических моделей [244]. Благодаря этому развитию в последнее время опубликовано много книг и сотни статей о гидрологическом моделировании с использованием ГИС технологии (из этих публикации Мотовилов Ю. Г., Гельфан А. Н., [46]; Кучмент Л. С., [41]; Мотовилов Ю. Г., [45]; Гарцман Б. И., [23]; Магрицкий Д. В., [42]; Васильев О. Ф., [19]; Devia G. K., Ganasri B. P., [106]; Sui D. Z., Maggio R. C., [225]; Sood A., Smakhtin V., [218]; Thampi S. G., Raneesh K. Y., Surya T. V., [227]; Козлов Д.В. [37] и др.).

Существует множество определений гидрологического моделирования, одно из самых распространённых формулировок дал Коваленко В.В. «Моделирование гидрологических процессов — это процесс создания и использования математических моделей для анализа и прогнозирования гидрологических явлений и процессов, происходящих в речных бассейнах и других водных системах» [35].

Гидрологические модели - инструменты, применяемые с целью прогнозирования и моделирования гидрологических явлений. Данные модели представляют собой регулярно обновляемую базу гидрологических данных и упрощённого перемещения и распространения воды в разных составляющих

гидрологического цикла, таких как испарения, инфильтрация, осадки, поверхностный сток, движение подземных вод. Они объединяют сведения о климате, топографии, свойствах земли, землепользовании и иных условиях с целью прогнозирования, а также моделирования движения воды в границах водосбора либо речного водоема [29, 36, 53, 61].

Гидрологические модели могут помочь в прогнозировании трудных взаимодействий и динамики воды в определенной географической сфере. Они базируются на математических уравнениях и методах, которые в свою очередь, предполагают глубокое знание и понимание движения воды и связи воды с другими элементами, участвующими в гидрологическом цикле [35, 53].

Гидрологические модели играют важную роль в моделировании водных объектов, предоставляя данные о наличии воды, характере стока, топографии, а также проводят к оптимизации управления водными ресурсами. В таблице 1.1 представлено применение гидрологических моделей в прогнозировании водных ресурсов, а также управления водными ресурсами [12, 13, 15, 106, 193].

Таблица 1.1 – Область использования гидрологических моделей

Использование гидрологических моделей в прогнозировании водных ресурсов	Использование гидрологических моделей в стратегиях управления водными ресурсами
Оценка доступности воды	Планирование распределения воды
Анализ засухи и дефицита воды	Оптимизация эксплуатации водохранилищ
Прогнозирование наводнений и системы раннего предупреждения	Управление ирригацией
Оценка воздействия изменения климата	Адаптация к изменению климата

Разнообразные виды гидрологических моделей применяются с целью прогнозирования и представления движения воды в гидрологическом цикле. Далее приведены известные виды гидрологических моделей:

1. Модели, основанные на физических процессах. Модели на основе физических процессов моделируют гидрологические процессы, представляя лежащую в основе физику и уравнения, которые управляют движением воды. Эти модели учитывают такие факторы, как осадки, испарение, инфильтрация,

поверхностный сток и движение грунтовых вод. Они используют детальное представление свойств почвы, топографии, растительности и других соответствующих параметров. Модели на основе физических процессов обычно основаны на численном решении дифференциальных уравнений и требуют входных данных по метеорологии, характеристикам земли и речной сети. Они ценны для изучения сложных гидрологических явлений и для моделирования реакции водосборных бассейнов при различных сценариях [193, 218].

Характеристика модели:

- Механистическая модель или модель белого ящика;
- На основе пространственного распределения. Оценка параметров, описывающих физические характеристики;
- Требуются данные об исходном состоянии модели и морфологии водосбора;
- Сложная модель. Требует человеческого опыта и вычислительные возможности;
- Страдают от проблем, связанных с масштабированием;
- Модель SHE или MIKESHE, SWAT подходит для широкого спектра ситуаций.

2. Статистические модели. Статистические модели основаны на эмпирических взаимосвязях, полученных на основе исторических данных. Они устанавливают статистические корреляции между гидрологическими переменными, такими как осадки и сток, используя такие методы, как регрессионный анализ. Данные модели могут быть полезны при наличии исторических данных, однако могут не отражать в явном виде основные физические процессы. Статистические модели могут быть более простыми и вычислительно более эффективными по сравнению с моделями, основанными на процессах. Они часто используются для прогнозирования стока, оценки водных ресурсов и анализа частоты экстремальных событий [214, 218]. Характеристика модели:

- Модель, управляемая данными, метрическая модель или модель черного ящика.
- Недостаточное внимание к особенностям и процессам системы.
- Невозможно создать для других водосборов.

- Высокая прогностическая способность, низкая объяснительная глубина.
- Использование математических уравнений, получение значений из доступных временных рядов.
- ANN, единый гидрограф.
- Работает в пределах заданной области.

3. Модели на основе данных дистанционного зондирования. Модели на основе данных дистанционного зондирования используют данные спутникового или воздушного дистанционного зондирования для оценки гидрологических переменных. Эти модели используют данные дистанционного зондирования, такие как осадки, влажность почвы, почвенный покров и индексы растительности, чтобы сделать вывод о гидрологических процессах. Они предоставляют пространственную распределенную информацию о гидрологических переменных и могут быть особенно полезны для крупномасштабных приложений. Модели на основе данных дистанционного зондирования часто интегрируются с другими типами моделей для повышения их точности и пространственного представления [193]. Характеристика модели:

- Картирование гидрологической информации в больших пространственных масштабах, позволяющее отображать изменения параметров в моделях.
- Помогает моделировать изменяющиеся условия с течением времени.
- Сложная модель. Требуется человеческого опыта и вычислительные возможности.
- Модели полагаются на точность и неопределенность, связанные с производными продуктами дистанционного зондирования.

4. Концептуальные модели. Модели, объясняющие и описывающие взаимосвязь между компонентами водной системы в определенном объекте. В этом методе используются полуэмпирические уравнения, а параметры модели оцениваются не только по полевым данным, но и посредством калибровки. Для выполнения калибровки требуется большое количество метеорологических и гидрологических данных. Калибровка включает в себя подгонку кривой, что затрудняет интерпретацию, поэтому влияние изменений в землепользовании

невозможно предсказать с большой уверенностью. Разработано множество концептуальных моделей различной степени сложности [41, 127, 215, 228].

Характеристика модели:

- Модель серого ящика.
- Параметры получены на основе полевых данных и калибровки.
- Просто и может быть легко реализовано в компьютерном коде.
- Требуются большие гидрологические и метеорологические данные.
- Модель HBV, TOPMODEL

Следует подчеркнуть, что данные виды моделей считаются совместными и зачастую применяется сочетание моделей, для того чтобы применять их мощные стороны и возместить их ограничения. Кроме того, гидрологические модели считаются значимыми приборами с целью объяснения стратегий управления водными ресурсами. Они предоставляют понимание об присутствии воды, структуре стока, влиянии разных сценариев управления.

Краткое описание нескольких моделей:

1. Инструмент оценки почвы и воды (SWAT) — Полуфизически обоснованная модель, в масштабе речного бассейна, моделирующая гидрологический цикл. Разработанная (Arnold, Srinivasan, Muttiah, and Williams., 1998) для Службы сельскохозяйственных исследований Министерства сельского хозяйства США (USDA) для прогнозирования воздействия методов землепользования на воду, наносов и сельскохозяйственных химикатов в большом сложном водоразделе с различными условиями почвы, землепользования и управления в течение длительных периодов [109].

2. Система гидрологического моделирования (HEC-HMS) — Целью модели является моделирование процессов выпадения осадков и паводков на водоразделах, и эта система способна моделировать широкий спектр географических территорий, включая бассейны крупных рек и водоразделы в небольших городских или природных территориях. Более того, модель широко применялась для моделирования и прогнозирования стока тропических, субтропических и засушливых влажных водоразделов [237].

3. HEC-RAS (Система анализа рек): одно- и двухмерные гидравлические модели, позволяющие моделировать течение воды через естественные реки и другие каналы, разработанной центром инженерной гидрологии США [112].

4. MIKE SHE: создан на основе связанных физических моделей для наземного потока, ненасыщенного потока, потока подземных вод и полностью динамического потока в русле, включая все их сложные обратные связи и взаимодействия. MIKE SHE также включает в себя такие процессы, как эвапотранспирация за счет растительности, орошение, таяние снега и качество воды [164].

5. HSPF (программа гидрологического моделирования - FORTRAN): – представляет собой набор вычислительных кодов, которые могут моделировать гидрологические условия, наносов и качество воды [148].

6. IHACRES (Identifying Hydrological Systems): модель IHACRES направлена на выявление и моделирование гидрологических систем путем анализа временных рядов потоков и их сезонных особенностей с целью понимания механизмов взаимодействия между компонентами водного цикла. Основная цель этой модели является описать гидрологическое поведение водосбора с использованием ограниченного числа факторов и информации. Следовательно, эту модель можно успешно применять в засушливых районах, где гидрологических данных недостаточно [160].

Эти модели являются основным инструментом, используемым при изучении гидрологических процессов. Эти модели со временем развиваются и становятся более полными и репрезентативными для гидрологических систем, будь то небольшие водосборные бассейны или даже глобальные модели. Каждая из этих моделей имеет уникальные характеристики и имеет свои собственные применения [160].

1.2 Применение Гис технологии и дистанционное зондирование в гидрологическом моделировании

Эволюция и научный прогресс в области гидрологического моделирования были бы невозможны без большого прогресса и развития географических информационных систем и технологий дистанционного зондирования. Технология дистанционного зондирования помогла получить пространственные гидрологические данные без необходимости проведения полевых работ и измерений [47]. ГИС является мощным инструментом, способный обрабатывать несколько типов данных, таких как цифровые векторные и растровые данные. Кроме того, ГИС имеет возможность представлять справочные данные географически, что позволяет объединять, накладывать и отображать данные [33].

Геоинформационные системы позволили сократить затраты времени на управление и анализ больших баз данных, отражающих разнообразие свойств земной поверхности, а также улучшить представление результатов процессов гидрологического моделирования [51].

ГИС - технологии также упростили хранение данных и проведение пространственного анализа, интеграция методов и приемов моделирования с географическими методами привела к появлению простых, эффективных и разнообразных гидрологических моделей [31]. Описал Rango A., в 1994 году подробный обзор исследований в области дистанционного зондирования водных ресурсов, где рассказал и осветил научные и технические достижения в этой области [199].

Огромное развитие радиолокационных систем, таких как Synthetic Aperture Radar (SAR), Radar Altimeter и Doppler Weather Radars, привело к развитию технологий дистанционного зондирования, которое в свою очередь привело к эффективному и быстрому предоставлению данных, особенно географических данных для больших территорий. Радиолокационные системы обеспечили возможность предоставлять качественные данные с высоким разрешением для измерения интенсивности и количества осадков в пространстве и времени, и эти

данные оказались очень эффективными при использовании моделей гидрологического распределения [114].

Многие исследователи использовали радиолокационные методы для получения данных растительного покрова, землепользования, климатические данные, и интеграция их с геоинформационными системами для создания моделей, моделирующих поверхностных стоков, инфильтрацию или испарение с использованием различных программ такие как HEC-HMS, HEC-RAS И DWAT и т.д. Среди этих исследований мы упомянем исследование Bakir M., Xingnan Z. под названием «Приложения Гис и дистанционного зондирования для сбора дождевой воды в сирийской пустыне (Аль-Бадиа)», исследование подтвердило важность интеграции данных дистанционного зондирования и ГИС – технологии в засушливых и полузасушливых регионах, где количество осадков низкое, с целью определения мест сбора дождевой воды для последующего использования для питья и орошения [86].

Исследование Benjamin Zaitchik и Ronald Smith, под названием «Пространственный анализ изменений сельскохозяйственного землепользования в бассейн реки Хабур на северо-востоке Сирии», использовали снимки Landsat TM и цифровую модель рельефа полученную ASTER, измерения изменений в ориентации ирригационных проектов на реке Хабур в Сирии, и показали насколько важно объединить данные дистанционного зондирования, климатическую и гидрологическую информацию для изучения меняющегося характера сельского хозяйства в регионе и влияния этих изменений на воду в бассейне реки Хабур в Сирии [245].

Исследование Ahmad Bilal под названием «Усовершенствованный метод картографирования дистанционного зондирования, направленный на лучшее сохранение дождевой воды в Сирии», продемонстрировало использование методов дистанционного зондирования при строительстве гидротехнических сооружений для сохранения дождевой воды, особенно в аридных и полузасушливых районах Сирии, где количество осадков не превышает 100 мм в год, а также важность этих методов для улучшения управления водными ресурсами в прибрежных районах,

где осадки превышают 1000 мм в год. Это исследование также выявило важный аспект, который заключается в том, что эти данные находятся в свободном доступе и могут быть получены без больших финансовых затрат по сравнению с традиционными методами, которые требуют больших финансовых инвестиций, которые дают результаты на местном уровне [89].

В мире проводилось множество исследований, которые показали важность использования данных дистанционного зондирования и наложения их на географические информационные системы для получения визуализации гидрологических процессов в любой точке мира (публикации: Jaafar H. H. et al., [142]; Alibrahim M. A., [75]; Al-Fares W., [74]; Kenbl et al., [155]; Арестова А. Ю., [16]; Мыслыва Т. Н., [30]; Ross & Tara., [204] и др.).

1.3 Роль ЦМР в гидрологическом моделировании

Цифровая модель рельефа (ЦМР) — это цифровая дата, содержащая данные о высоте для определенной географической области. Цифровая модель рельефа может иметь линейную форму (вектор представляет собой набор линий, каждая линия состоит из трех координат точки x , y и z). Или это может быть растровое изображение, представляющее рельеф или топографию поверхности Земли в регионе [51, 64].

ЦМР можно получить несколькими способами или из нескольких источников данных [32], например:

- Измерения площади поля с помощью «Уровень Дампи», тахеометра или устройств GPS, затем с помощью компьютерной программы для создания цифровой модели рельефа исследуемой территории;
- Из контурных карт после их оцифровки на компьютере;
- Из аэорисунков и снимков;
- По изображениям со спутника дистанционного зондирования;
- Бесплатные глобальные цифровые модели рельефа [32].

Последний тип является наиболее распространенным и широко используемым типом цифровой модели рельефа за последние несколько лет по нескольким причинам:

1. Легко получить из Интернета;
2. Можно получить бесплатно;
3. Является глобальной моделью, охватывающей все части земной поверхности.

Требование и источники ЦМР:

1. Уровень точности, отраженный в наборе данных ЦМР, называется разрешением данных. Оно определяется либо размером ячеек сетки, используемой для изображения земной поверхности, либо интервалом географической выборки. ЦМР с более высоким разрешением позволяют более точно отобразить мелкомасштабные особенности и получить более конкретную информацию о ландшафте. Разрешение данных необходимо для точного отображения свойств рельефа и процессов, влияющих на характер стока воды при гидрологическом анализе [28, 39, 48, 246].

2. Степень согласия между значениями высот, полученными с помощью ЦМР, и фактическими данными на местности называется корректностью данных. Поскольку неточности в измерениях рельефа могут распространяться по всему процессу анализа и приводить к ложным выводам, точные данные о рельефе необходимы для достоверного гидрологического анализа [28, 48].

Существует несколько глобальных цифровых моделей рельефа, доступных бесплатно, в том числе, например: модель GLOBE; ASTER; SRTM; ETOPO2 и Global Terrain Data – FABDEM^[1] [49]. Свойства этих моделей представлены в таблице 1.2.

¹ Это глобальная карта высот, основанная на цифровой модели рельефа Copernicus GLO 30. FABDEM: Это означает удаление лесов и зданий из цифровой модели рельефа.

Таблица 1.2 – Характеристики глобальной ЦМР [3]

Модель ЦМР	Год выпуска	Пространственное разрешение	
		Градусов	Метре
SRTM1	2015	1"	~30*30
ALOS PALSAR	2006 до 2011	1"	~12.5*12.5
GMTED2010	2010	7.5"	~225
GTOPO 30	1996	30"	~900
ASTER V3	2013	1"	~30*30
SRTM GL1	2013	1"	~30*30
FABDEM	2023	1"	~30*30

Многие исследования прояснили различия между этими свободно доступными данными, а также степень погрешности вертикальной точности в каждом из этих данных, например: в исследование Nakan Karabörk, Hasan Bilgehan Makinesi под названием «Оценка точности ЦМР, полученных по нескольким данным SAR с использованием метода InSAR», сравнивались с использованием Глобальной навигационной спутниковой системы (GNSS), точности ЦМР полученные на основе данных AlosPalsar, AW3D30, SRTM и ASTER GDEM (ЦМР открытого доступа), в результате оценки точности показали, что лучший результат получен для равнинной местности с использованием данных Sentinel-1A и SRTM, для горной местности - с использованием данных SRTM, а для сельскохозяйственной территории - с использованием данных ALOS PALSAR и SRTM [151].

В исследование Evelyn Uuema и др. под названием «Вертикальная точность свободно распространяемых глобальных цифровых моделей рельефа (ASTER, AW3D30, MERIT, TanDEM-X, SRTM, and NASADEM)», тоже сделали сравнение в разных географических регионах с разными топографическими условиями и условиями землепользования. Результат показал, что AW3D30 является лучшим выбором для изучения географических регионов, а также SRTM и NASADEM показали хорошие результаты, а NASADEM, преемник SRTM, показал лишь

скромное улучшение по сравнению с SRTM. Несмотря на плохое пространственное разрешение, MERIT и TanDEM-X также показали хорошие результаты [231].

Структура данных ЦМР:

1. Сетка (Grid) цифровая модель рельефа: она состоит из матрицы квадратных или прямоугольных ячеек равной площади, каждая из которых несет в себе значение средней высоты земной поверхности. Способность модели отображать детали поверхности Земли на площади ее ячейки, или так называемая дифференциальная точность (Разрешение). Чем меньше площадь ячейки, тем выше дисперсионная точность модели и тем выше ее способность отображать детали земной поверхности, и наоборот. С другой стороны, важно обратить внимание на точности данных степени соответствия между значениями высот, существующими в ЦМР и фактическими данными на поверхности Земли, это играет большую роль в полученных результатов [49].

2. Сети нерегулярного треугольника TIN: являются одним из методов представления трехмерных данных в географических информационных системах, хотя использование этого метода в настоящее время стало менее распространенным, чем метод растровых файлов. Концепция создания TIN зависит от определения местоположений точек и значения непространственных данных, необходимых для создания трехмерной поверхности, а затем соединяя их линиями, образующими между ними треугольник, по которому можно вычислить высоту в любой точке, и исходя из этого будет создана сеть неправильных треугольников (по площади и объему), которая образует сеть треугольников, или TIN [56].

Применение ЦМР в гидрологическом моделировании.

Существует множество гидрологических приложений, которые используют ЦМР, особенно для извлечения данных об наклонах, направлений, карт теней гор и расчета индексов влажности. ЦМР также используются для определения характеристик, влияющих на дренаж, таких как высоты, долины, сети ручьев и схемы поверхностного дренажа. Также используется для измерения характеристик водосборов и каналов, таких как размер, длина и наклон. Как качество, так и наличие ЦМР отвечают за точность топографической информации [18].

ЦМР использовались в гидрологическом моделировании различными способами. Например, Wang R. et al. использовал ЦМР с целью оценки потенциального режима влажности почвы и изменений в текстуре почвы, вызванных процессом эрозии [240], Mosquera-Machado S., Ahmad S также использовали ЦМР чтобы получить указания о потенциальной площади для стока и сбора влаги [181]. Кроме того, каналы потока, полученные на основе ЦМР, использовались для построения водоразделов и оценки площадей склонов и направления потока в последующих исследованиях (Власова А. Г., Гриценко А. Г., [20]; Аввакумова А. О., [1]; Энтин А. Л. и др., [39]; Сысоев А. В., Елшина Т. Е., [27, 63] и др.).

1.4 Использование, требования и источники данных в гидрологическом моделировании

Гидрологическое моделирование является одним из наиболее важных инструментов, используемых для понимания и оценки водных систем в природе. Моделирование предполагает использование различных компьютерных моделей для моделирования движения и течения воды в гидрологическом цикле [49].

Гидрологические модели требуют большого количества данных, в свою очередь, чтобы получить эти данные нужно много времени, усилий и денег. Чем сложнее гидрологическая модель, используемая для моделирования данного гидрологического явления, тем больший объем требуемых данных и тем выше степень сложности и стоимость их получения [153]. Ниже представлены данные, которые нужны для гидрологических моделирований:

1. Данные о климате:

Климатические данные считаются важными данными, поскольку они дают четкое представление о гидрологическом цикле в водном бассейне для конкретной географической территории.

Данные об осадках являются основным требованием в гидрологической модели, поскольку калибровка и точность гидрологических моделей во многом зависят от качества этих данных. Одним из наиболее надежных и доступных типов

данных для применения гидрологических моделей являются данные осадков, особенно полевые данные. Существует также много типов данных, которые важны для гидрологических применений, особенно в исследованиях испарения, которые учитывают данные о температуре для своих измерений [129].

Одним из наиболее важных современных методов, которые позволяют нам легко и без значительных затрат получать климатические данные, как исторические, так и современные, являются методы дистанционного зондирования, которые бесплатно предоставляются группой специализированных вебсайтов, такие как (Climate Engine, power NASA и AppEEARS app и др.).

Информация по набору данных, которые представляет эти сайты, позволяет получить данные дистанционного зондирования более продуктивной с точки зрения простоты и скорости загрузки данных. Кроме того, комплексное хранилище данных позволяет использовать наборы данных, которые часто слишком велики или дороги для многих пользователей. Данные, предоставленные этими сайтами, такие как (CHIRPS, CFS, ERA5, ERA5 Ag, FLDAS, OISST, MOD16A2GF, TRMM и др.), является ценным инструментом глобальных данных о климате и гидрологии [111, 123, 138]. Свойства этих данных:

- CHIRPS – это почти глобальный набор данных об осадках, содержащий данные об осадках с 1981 года по настоящее время [123].
- FLDAS – использование наборов данных наблюдений, передового моделирования и методов ассимиляции данных для создания высококачественных полей состояний земной поверхности и используемых потоков [170].
- ERA5 Ag – ежедневные приземные метеорологические данные за период с 1979 г. по настоящее время служат исходными данными для сельскохозяйственных и агроэкологических исследований. Этот набор данных основан на ежечасных данных ECMWF ERA5 на приземном уровне и называется ERA5Ag. Получение и предварительная обработка исходных данных ERA5 — сложная и специализированная задача [102].

- MOD16A2GF – это составной набор данных за 8 дней, созданный с разрешением пикселей 500 метров. Алгоритм, используемый для сбора продуктов данных MOD16, основан на уравнении Penman-Monteith, которое включает в себя входные данные ежедневного метеорологического повторного анализа, а также данные масштабирования данных дистанционного зондирования. Спектр изображений среднего разрешения (MODIS), такие как динамика характеристик растительности, альбедо и земного покрова [128].
- Относительная влажность воздуха на высоте 2 метров – отношение фактического парциального давления водяного пара к парциальному давлению при насыщении, выраженное в процентах, можно получить через сайт power NASA [187].

2. Данные о свойствах почвы и горных пород:

Данные о почве являются важным компонентом гидрологической модели. Определенные данные о почве необходимы для большинства гидрологических циклов, такие как тип почвы, степень пористости и гидравлическая проводимость. Данные о почве можно получить из карт обследования почвы или изображений дистанционного зондирования, которые можно обработать с использованием контролируемых и неконтролируемых методов (Supervised and Unsupervised Classification^[2]) классификации для получения типа почвы [129, 136].

Существует важный источник для получения данных о почве – это программа просмотра гармонизированной мировой базы данных почв (HWSD) Версия 2.0 (рисунок 1.1). Эту программу спонсируют следующие организации: продовольственная и сельскохозяйственная организация Объединенных Наций (ФАО); Международный институт прикладного системного анализа (IIASA); ISRIC-World Soil Information; Институт почвоведения – китайская Академия наук

² При контролируемой классификации вы выбираете обучающие выборки и классифицируете свое изображение на основе выбранных вами выборок. Ваши обучающие выборки являются ключевыми, поскольку они определяют, какой класс наследует каждый пиксель в вашем общем изображении. Неконтролируемая классификация генерирует кластеры на основе схожих спектральных характеристик, присущих изображению. Затем вы классифицируете каждый кластер, не предоставляя собственных обучающих выборок.

(ISSCAS); Объединенный исследовательский центр Европейской комиссии (JRC) [186].

Поскольку основной целью продукта является практическое использование для пользователей, а также для перспективных исследований в области агроэкологического районирования, продовольственной безопасности и последствий изменения климата, было выбрано разрешение около 1 км (30 угловых секунд на 30 угловых секунд) [186].

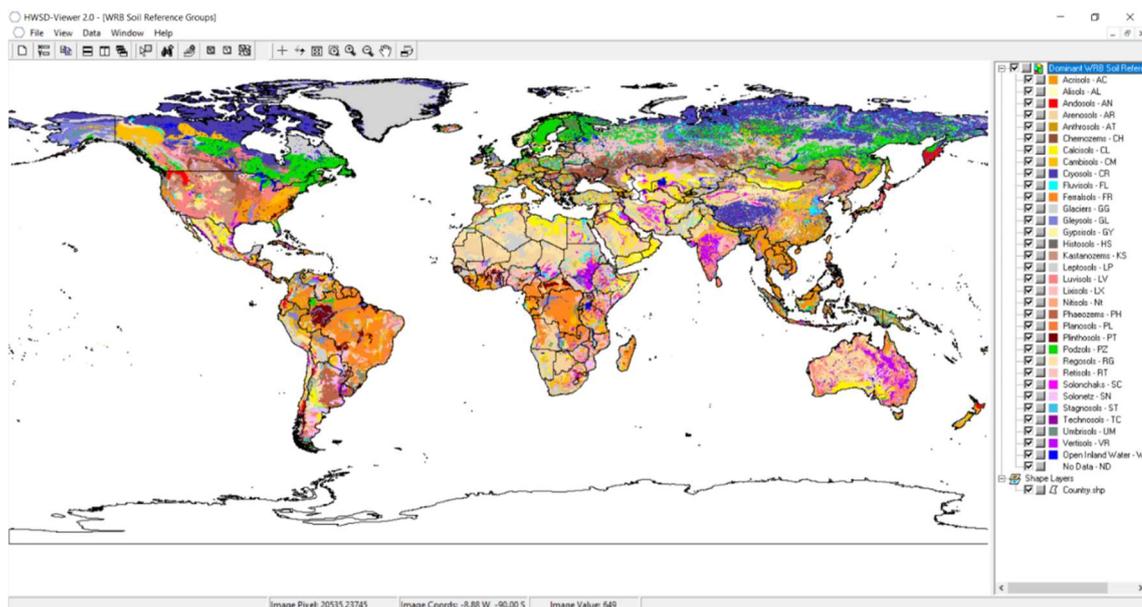


Рисунок 1.1 – Интерфейс программы HWSD 2.0 [186]

3. Данные о земельном покрове и землепользовании:

Земельный покров определяется как естественная поверхность Земли, включая растительность, почву и воду. Землепользование включает в себя человеческую и сельскохозяйственную урбанизацию, а также заселение, естественное изменение окружающей среды и воздействие на земельный покров [169].

Данные о землепользовании и земном покрове используются в гидрологических моделях для оценки шероховатости или удельного сопротивления поверхности земли, что, в свою очередь, влияет на поток воды [125].

Данные о землепользовании используются для измерения количества дождевой воды, проникающей в землю, поскольку эти данные являются одним из основных факторов, влияющих на формирование стока и оценку суммарного

испарения в гидрологии водораздела. Кроме того, данные о землепользовании и свойствах почвы на поверхности земли используется для расчета инфильтрации и водоудерживающей способности [156, 239].

Отсутствие данных представляет собой серьезную проблему в большинстве развивающихся и отдаленных стран, часто источники используемых данных для получения данных о землепользовании - полевые исследования и методы дистанционного зондирования, основанные на методах классификации, которые мы упоминали ранее, контролируемые и неконтролируемые для анализа цифровых изображений, полученных с помощью датчиков, работающих из космического пространства, что осуществляется путем извлечения информации о классификации землепользования [156, 239].

Среди этих доступных данных упоминаем следующее:

1. Геологическая служба США (USGS), федеральное агентство Соединенных Штатов, отвечает за сбор, анализ и распространение ценных научных данных, касающихся различных аспектов земной поверхности, предоставляет разнообразные данные о глобальном земном покрове, такие как:

- Наборы данных глобальной характеристики земного покрова (GLCC) представляют собой набор данных глобальной классификации земного покрова, которые основаны на неконтролируемой классификации 10-дневных композитных данных NDVI (индекс нормальной разницы растительности) из AVHRR (усовершенствованный радиометр высокого разрешения), на протяжении одного километра. Изображения, использованные в AVHRR, были сделаны в период с апреля 1992 года по март 1993 года [161].
- Набор данных Landsat с первой до девятой версии, с 1972 г. информация, собранная с помощью спутников Landsat, имеет важную роль в даче информации об изменениях, происходящих на поверхности Земли. С запуском Landsat 9 программа Landsat вступит в свой второй 50-летний юбилей, предлагая бесплатный глобальный доступ к беспрецедентным космическим наблюдениям Земли. С помощью новейших ГИС систем, программ обработки изображений и возможностей облачных вычислений более 8 млн. сцен Landsat,

хранящихся в настоящее время в архиве Геологической службы США, позволяют пользователям Landsat изучать изменения на поверхности Земли в широких географических и временных масштабах [203].

2. Набор данных вебсайта НАСА Earthdata: одно из крупнейших на планете хранилищ данных наблюдения Земли, одними из этих данных являются данные MODIS разработан для обеспечения естественного изображения за счет устранения грубых атмосферных эффектов, таких как Рэлеевское рассеяние, в видимом диапазоне [93].

3. Набор данных компании ESRI: считается одной из ведущих компаний в области геоинформационных систем (ГИС) и картографии. Предоставляет ежегодную карту поверхности Земли с разрешением 10 м с помощью дата Sentinel-2^[3] за период с 2017 по 2022 год. Эти карты землепользования имеют высокое разрешение, сопоставимы и помогают улучшить понимание таких важных тем, как продовольственная безопасность, планирование землепользования и поверхностные воды [232].

Огромный обучающий массив данных, состоящий из миллиардов помеченных человеком пикселей изображений, был объединен для повышения эффективности существующих моделей классификации земель с помощью искусственного интеллекта (AI). Для создания карт было использовано более 2 000 000 наблюдений Земли в 6 спектральных диапазонах и вся коллекция снимков Sentinel-2 за каждый год с 2017 по 2022 год. В результате получается карта поверхности с девятью классами, включая виды растительности, снег/лед, облака, пастбища, воду, и застроенные территории. Эти карты предлагает ArcGIS Living Atlas of the World [232].

Существует множество исследований, демонстрирующих качество данных, которые можно получить из данных дистанционного зондирования, например, Sayed Amir Alawi и Sevinç Özkul и их исследование под названием «Оценка наборов

³ Sentinel-2 — это проект наблюдения Земли в рамках программы «Copernicus», который регулярно собирает оптические изображения с высоким пространственным разрешением (от 10 до 60 м) над сушей и прибрежными водными путями. Sentinel-2A и Sentinel-2B — существующие спутники в группировке проекта. В настоящее время проходят испытания Sentinel-2C, который будет запущен в 2024 году.

данных землепользования/земельного покрова при гидрологическом моделировании с использованием модели SWAT», показали высокое качество данных о землепользовании полученные через Landsat 8 и Esri, рекомендовали именно данные Esri для использования в гидрологическом моделировании, благодаря высокой точности и простому доступу к данным [73].

Есть множество исследований, которые подтвердили и проверили данные о земельном покрове и землепользовании, а также множество исследований, в которых были представлены различные методы классификации и смешивания этих данных друг с другом для получения визуализации временных рядов изменений земной поверхности для конкретных географических районов среди этих исследование (публикации Ziwei Deng, Xiang Zhu., [105]; Potapov P. et al., [198]; Попович В. Ф., Дунаева Е. А., [52]; Шостак А. С., Байкалова Т. В., [66] и др.).

1.5 Метод числа кривых стока SCS-CN

Метод числа кривых стока SCS-CN поверхностного стока — это эффективный метод, предназначенный для определения приблизительного объема поверхностного стока, возникающего в результате выпадения осадков в конкретной географической области [197].

Этот метод был первоначально разработан Службой охраны природных ресурсов Министерства сельского хозяйства США, ранее называвшейся Отделом Службы охраны природы (SCS), в 1954 году. Метод числа кривых стока SCS-CN стока RCN, также известный как SCS и это эмпирические параметры, которые использовались в области гидрологии для оценки поверхностного стока или инфильтрация, возникающих во время дождя (рисунок 1.2) [197, 243].

Модель основана на понятии числа кривых стока SCS-CN, которое выражает взаимосвязь между количеством инфильтрации и количеством поверхностного стока после определенного количества осадков. Значение CN колеблется от 0 до 100, где низкие значения указывают на высокую проницаемость почвы, а высокие значения указывают на низкую проницаемость почвы [91].

Величина RCN зависит от ряда природных факторов, в том числе предшествующее состояние влажности, гидрологической группы почвы водосборного бассейна, землепользование, морфометрических и гидрологических условий водосборного бассейна [91].

На метод поверхностного стока также влияют два элемента: первоначальные потери и фактическое удержание. Первоначальные потери начинаются с накопления дождевой воды и увеличиваются из-за препятствий, накопительных отложений и утечек до начала стока. Фактическое удержание начинается после того, как начинается фактический процесс стока, и в процессе стока теряется больше дождевой воды, при этом следует отметить, что основная математическая гипотеза метода SCS-CN заключается в том, что фактическая скорость удержания почвы после стока для максимально возможного удержания равна отношению прямой поверхности стока до максимального стока и представлен следующим уравнением [76]:

$$Q = \frac{(P - I_a)^2}{(P - I_a) + S}, \quad \text{Если } P > I_a \quad (1.1)$$

$$Q = 0, \quad \text{Если } P \leq I_a \quad (1.2)$$

где: Q – Сток, м³/с; P – Осадки, мм; S – Максимальное потенциальное удержание влаги в почве после начала стока; I_a – Это первоначальный забор или количество воды до начала стока, например, инфильтрация или перехват дождя растительностью, где величина равна:

$$I_a = 0.2S, \quad (1.3)$$

После замены второго уравнения на первое соотношение номер один становится следующим:

$$Q = \frac{(P - 0.2S)^2}{(P + 0.8S)}, \quad (1.4)$$

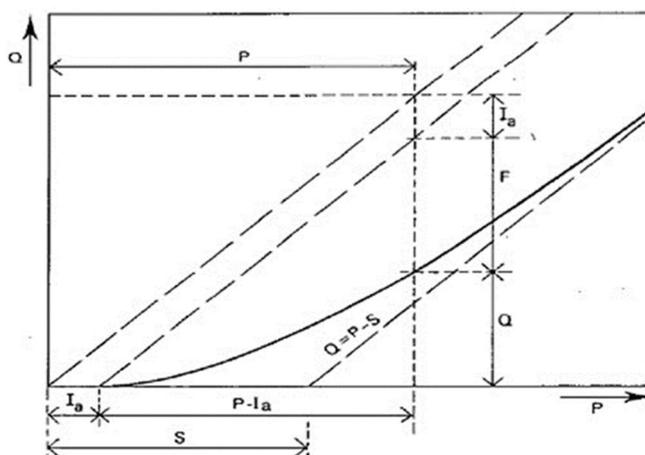


Рисунок 1.2 – Зависимость накопленного стока Q от накопленных осадков P в соответствии с методом числа кривых стока SCS-CN [217]

Поскольку подход SCS-CN изначально создавался на основе данных о поверхностном стоке годовых экстремальных расходов, он представляет собой однопараметрическую модель для расчета поверхностного стока по осадкам. Наибольшее расхождение $(P-Q)$, которое может существовать для конкретного ливня и условий водосбора, обозначается константой S [217].

Ограничивается S меньшим из двух факторов: скоростью инфильтрации или объемом запаса влаги, имеющегося в почвенном профиле. Учитывая, что параметр S имеет диапазон от 0 до ∞ , он преобразуется в безразмерное число кривых стока SCS-CN, которое имеет более удобный диапазон от 0 до 100 (рисунок 1.3) [91].

Следующее уравнение представляет отношения между S & CN:

$$S = \frac{1000}{CN} - 10, \quad (1.5)$$

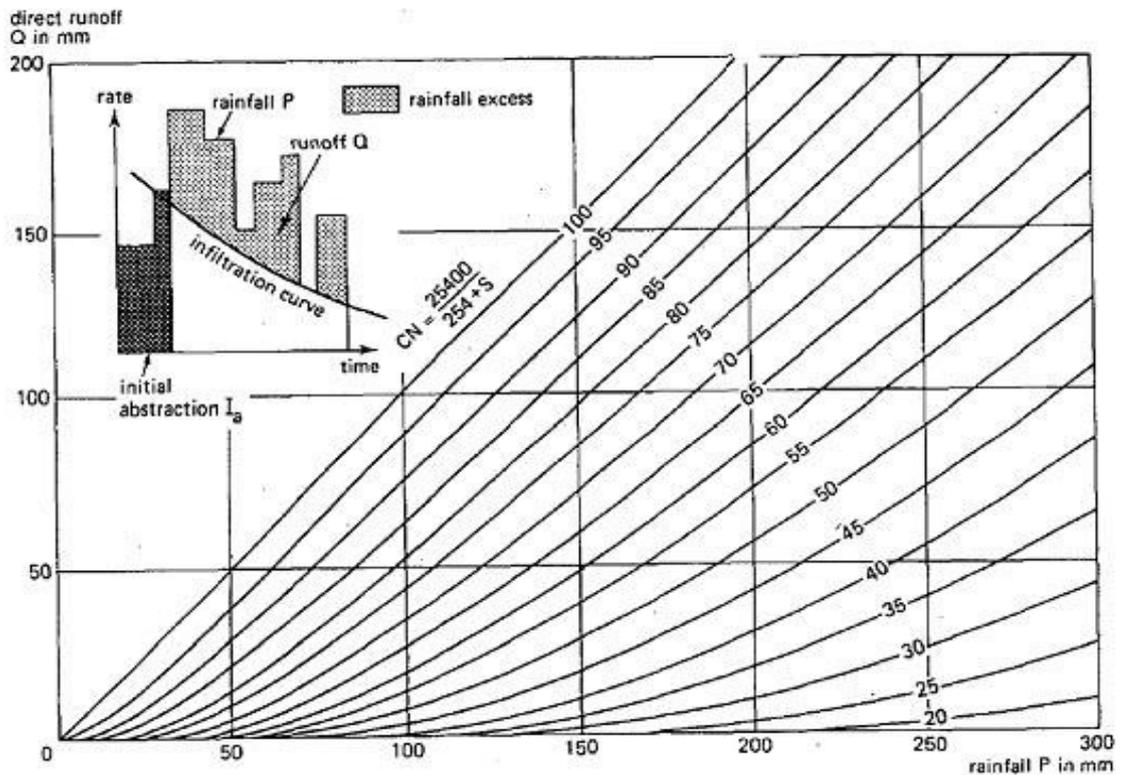


Рисунок 1.3 – Графическое решение уравнения 1.1, показывающее глубину стока Q как функцию глубины осадков, числа кривых стока SCS-CN P и CN (по данным Soil Conservation Service, 1972 г. [217])

Использование метода SCS-CN в гидрологическом моделировании на основе географических информационных систем.

Стало возможным благодаря различным программам, использующим географические информационные системы, например (ArcGIS Pro; HEC-HMS; QGIS, saga_gui; Global Mapper и WMS), позволяющим точно рассчитать числа кривых стока SCS-CN в методе RCN.

Исследователи Zhan & Huang обсудили в статье под названием «ArcCN-Runoff: инструмент ArcGIS для создания карт числа кривых стока SCS-CN и стока», разработка и применение инструмента, который является расширением программы ArcGIS, создала компания Esri, для определения числа кривых стока SCS-CN расчетов поверхностного стока или инфильтрации и количества осадков в бассейне [246].

Использование этих программ помогает сократить время технической обработки от дней или недель до часов для получения желаемых результатов.

Обычно в процессе расчета стока происходит частичная потеря пространственных изменений внутри водораздела, и инструмент стока ArcCN предназначен для решения этой проблемы. Некоторые из особенностей инструмента ArcCN включают его способность сохранять неровные границы с использованием многоугольников различной формы, а также встроенную базу данных, помогающую определить числа кривых стока SCS-CN на основе данных о почве и землепользовании. Программное обеспечение помогает управлять и разрабатывать будущие оценки расходов, гидравлическое моделирование и проекты, а также прогнозировать реакцию водоразделов на городскую деятельность [246].

Существует множество исследований, в которых метод числа кривых стока SCS-CN использовался для расчета поверхностного стока на основе геоинформационных систем, такие как исследование M. Kh. Askar под названием «Модель дождевого стока с использованием метода SCS-CN метод и геоинформационные системы: исследование на примере водосбора реки Гомаль». В этом исследовании изучалось использование данных дистанционного зондирования в качестве входных данных для модели в программе WMS для определения поверхностного стока с использованием метода SCS-CN с географическими информационными системами [83].

И исследование Klari Z. M., Ibrahim S. A. под названием «Применение метода SCS-Curve Number для оценки стока с использованием ГИС для водосбора Гали-Бандава», данное исследование продемонстрировало важность метода SCS-CN с использованием ГИС для оценки поверхностного стока, что необходимо при проектировании любого гидротехнического сооружения, а также для определения рисков наводнений [154].

Множество исследований использующие этот метод, в последние 10 лет благодаря развитию компьютерных наук появилось сотни исследований о методе SCS-CN и ГИС технологии (публикации: Farran M. M. et al., [120]; Shammout M. W. [212]; Stathis D. et al., [220]; Salman Q. M. K., Hamdan A. N. A., [208]; Ogden F. L. et al., [191] и много др.)

1.6 Оценка временного распределения расхода прямого стока (единичный гидрограф)

Теория гидрографов является фундаментальной концепцией в гидрологии, поскольку она используется для прогнозирования гидрографов паводков, которые описывают взаимосвязь между количеством осадков и стоком, впервые предложенную Шерманом в 1932 году. Суть теории Шермана состоит в том, что физические характеристики бассейна, такие как форма, размеры, наклон и т. д., остаются относительно постоянными [108, 115].

Можно ожидать близкого сходства в форме гидрографов, возникающих в результате подобных сильных осадков. Если гидрограф конкретного водного бассейна в географическом районе представляет собой прямой поверхностный сток, возникающий в результате одной единицы эффективных осадков, которые распределяются равномерно по всему бассейну и с единой скоростью в течение определенного периода времени, известного как единица времени [108, 130, 131].

Предположения теории единичного гидрографа:

1. Водоразделы линейны, то есть ливневой сток пропорционален количеству осадков;
2. По водоразделу осадки распределяются равномерно как во времени, так и в пространстве;
3. Количество осадков, которое непосредственно способствует стоку, известно, как эффективное количество осадков;
4. Единичный гидрограф уникален для данного водораздела и единицы продолжительности [108, 115].

Структура единичного гидрографа (рисунок 1.4):

- **Восходящая конечность (А-В):** расхода воды от начала дождя до точки пикового расхода;
- **Сегмент вершины (В-С):** он считается одной из наиболее важных частей гидрографа, поскольку здесь находится пиковый расход;
- **Пик гидрографа (Р):** точка находится между В & С;

- **Кривая спада (C-D):** часть гидрографа, показывающая уменьшение скорости расхода или стока после пика;
- **Временная база:** является общее время, прошедшее от начала выпадения избыточных осадков до окончания прямого стока;
- **Пиковый расход:** максимальная скорость прямого стока, возникающая во время ливневого события;
- **Время до пика:** это время, прошедшее от начала выпадения избыточного количества осадков до пикового расхода;
- **Время запаздывания:** это время, прошедшее от центра масс избыточных осадков до пикового расхода;
- **Объем стока:** общий объем прямого стока, который образуется во время ливневого события;
- **Время добегания:** время обходимое чтобы сток пройти из самой удаленной точки в водосборного бассейна до устья [205].

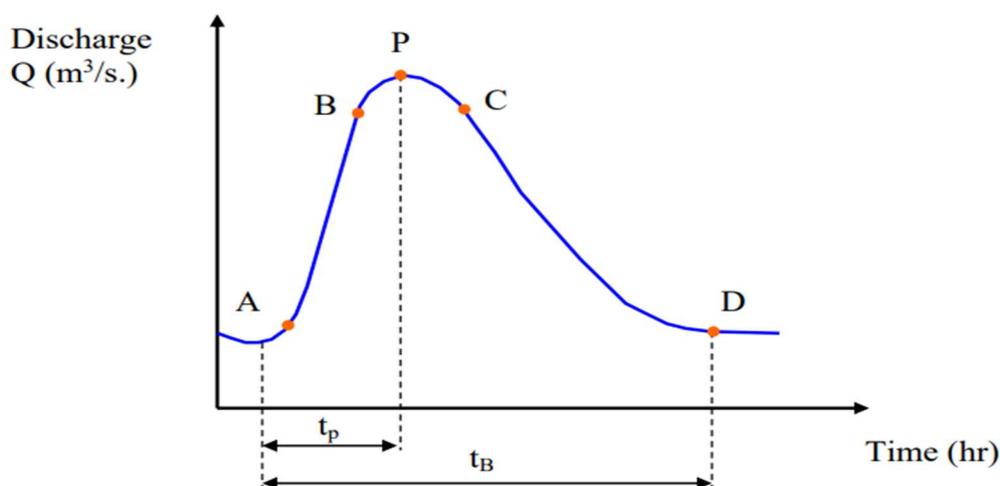


Рисунок 1.4 – Структура единичного гидрографа [205].

Существует множество соотношений, целью которых является определение времени достижения пика, максимального расхода и длины основания гидрографа. Один из этих методов, это метод Моксосо 1957 года, который был выведен на основе большого числа гидрографического рисунка природных объектов водосборных бассейнов, сильно различающихся по размерам и географическому положению [80, 100, 159, 175, 201].

Единица времени достижения пика выражается в T , а скорость поверхностного стока – Q , чтобы заменить единичный гидрограф без размеров на единичный гидрограф с размерами, необходимо знать время достижения пика и максимальную скорость поверхностного стока бассейна. Моксос свел эту двухпараметрическую проблему к однопараметрической, используя эквивалентный гидрограф треугольной единицы с теми же единицами времени и поверхностным стоком для гидрографа криволинейные единицы (рисунок 1.5) [80, 100, 159, 201, 211].

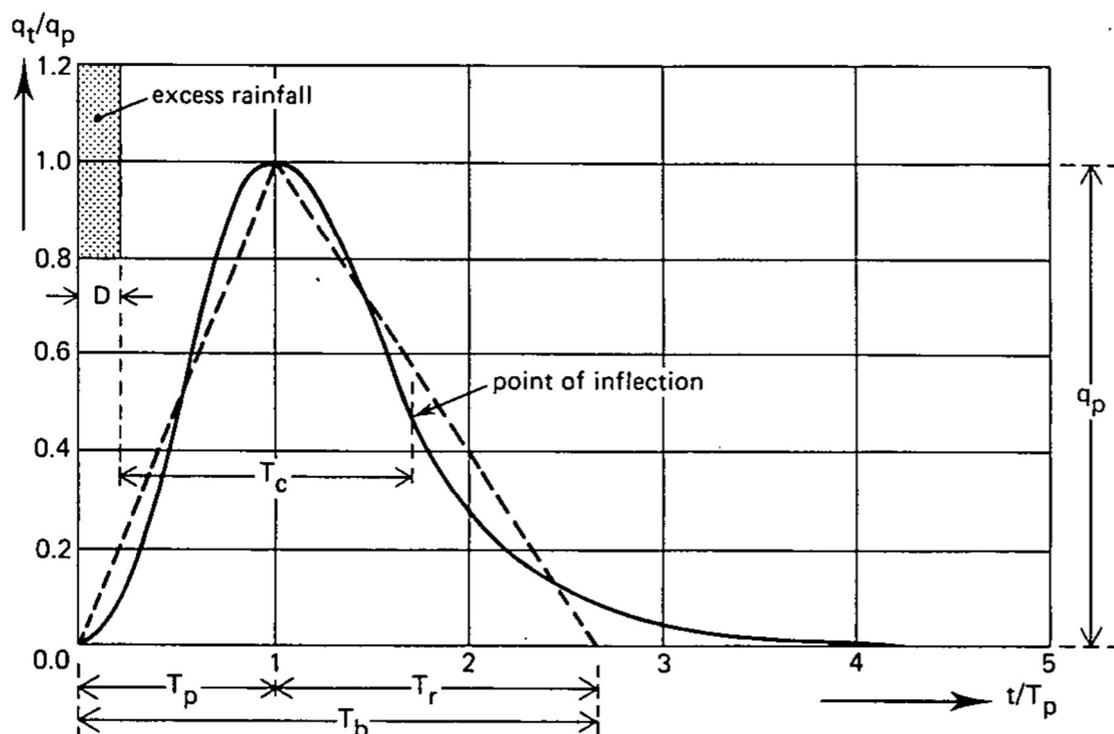


Рисунок 1.5 – Безразмерные криволинейные гидрографы (сплошная линия) и эквивалентный треугольной единицы гидрограф (пунктирная линия) [217]

Площадь под восходящим концом гидрографического рисунка изогнутой единицы составляет 37,5% от общей площади того времени для гидрографического рисунка треугольной единицы, равную $1/0,375 = 2,67$, чтобы получить одинаковые общие площадь под областями. Оба гидрографа, которые отражают 1 мм дополнительного дождя [80, 100, 175].

Выведем размеры треугольного единичного гидрографа, используя уравнение для площади треугольника и объемов, выраженных в m^3 .

$$10^6 A \times 10^{-3} Q = 1/2(3600 \times q_p) \times 2.67 \times T_p, \quad (1.6)$$

где: A – площадь водосборного бассейна, км²; Q – избыточное количество осадков, мм; q_p – пиковая скорость стока гидрограф, м³/с; T_p – время до пика, ч.

Можно написать уравнение (1.6) создавая q , следующим образом:

$$q_p = 0.208 \frac{AQ}{T_p}, \quad (1.7)$$

Время до пика T_p является единственной неопознанной переменной в уравнении 1.7. Время добега T_c может быть использовано для оценки T_p .

Раньше упомянули определение времени добега. Его также можно определить, как расстояние между окончанием выпадения обильных осадков и точкой перегиба спада безразмерного криволинейного единичного гидрографа также называется временем добега [80, 100, 131]. Согласно рис. 1.5, точка перегиба находится на расстоянии, примерно в 1,7 раза превышающем T_c , если принять продолжительность избыточных осадков равной 0,25 от T_c (единичный период ливня), то получится следующая уравнение:

$$T_p = 0.7T_c, \quad (1.8)$$

Время до пика рассматривается как эквивалент времени добега для небольших водосборных бассейнов площадью менее 15 км². Рациональный метод (Chow 1964), еще одна эмпирическая методология, является основой для этой зависимости [80, 100, 131, 175].

Существует множество формул для расчета T_c по физическим характеристикам водосборного бассейна. Одной из них является эмпирическая формула Кирпича (1940 г.) [152].

$$T_c = 0.02 L^{0.77} S^{-0.385}, \quad (1.9)$$

где: T_c – время концентрации, мин.; L – максимальная длина перемещения, м; S – склон, равный H/L , где H – разность высот между наиболее удаленной точкой бассейна и устьем.

Для определения параметров, необходимых для оценки времени добега, можно использовать топографическую карту. Пиковая скорость стока q_p и время до

пика T_p могут быть определены путем оценки T_c . Таким образом, безразмерный криволинейный единичный гидрограф может быть использован для создания размерного единичного гидрографа для конкретного бассейна [80, 100].

На форму гидрографа влияет множество факторов, в том числе природно-географические факторы, такие как характеристики водосборного бассейна, форма и размеры бассейна, наклон, высота, характер долин и т. д., также характеристика фильтрации такие как землепользования, растительный покров, почва, тип культуры, условия геологические, наличие озер, плотин, болот, и климатические факторы, связанные с характеристиками ливня с точки зрения интенсивности, устойчивости и направления движения ливня, за счет первичных потерь, общего испарения и т. д [175].

1.7 Определение границ водосборного бассейна и маршрутизация стока

Водораздел определяется как участок земли, который отводит воду, образующуюся в результате осадков и таяния снега, и направляет ее поток к ручьям и рекам и, в конечном итоге, к точкам оттока, которые впадают в более крупные водоемы, такие как озера, водохранилища, заливы или океаны. Каждый водоем имеет один или несколько водоразделов. Их называют речными бассейнами или водосборными бассейнами. Еще одно название водяные ловушки, потому что земля, расположенная выше по течению, улавливает воду, а затем стекает с холма в направлении ближайшей реки или ручья [22, 87, 174].

Водораздел состоит из крутых долин, окруженных высокими вершинами и горными хребтами. Границы водораздела определяются самыми высокими возвышенностями, окружающими озеро или часть реки, и, таким образом, эти высокие точки образуют границы водораздела. Окружающий рельеф определяет форму водоразделов и их границы, которые считаются линией, отделяющей одну водосборную территорию (водораздел) от другой. В целом структура водосборного бассейна состоит из пяти компонентов: граница бассейна; суббассейн; водоразделы; сеть ручьев и устья (точки застывания) [22].

Размер бассейна определяется в нескольких масштабах в зависимости от географического положения, наиболее близкого к бассейну или водосборному бассейну, и измеряется с использованием шкалы гидрологических единиц (НУС). Вся территория суши является частью водораздела, если следовать за водными потоками вверх, будет найден исток, а если следовать вниз, будут найдены более крупные ручьи или реки, озера, заливы или океан. Некоторые водоразделы могут быть крутыми и скалистыми по своей природе, тогда как другие плоские и имеют пологие склоны [87, 174].

Водосборные бассейны различаются по размерам. Водосбор может быть небольшим, как скромное внутреннее озеро или даже несколько квадратных метров, например, часть двора, стекающая в пруд, а может иметь площадь в тысячи квадратных километров и содержать ручьи, реки, озера, водохранилища и подземные воды, расположенные на несколько километров внутри водосборного бассейна. Крупные водосборные бассейны обычно включают в себя множество мелких или субводосборных бассейнов [103].

Водосборные бассейны классифицируются на 5 категорий в зависимости от их площади: «Бассейн» – с площадью от 1000 до 10000 км², «Суббассейн» – с площадью от 100 до 1000 км², «Водораздел» – с площадью от 10 и 100 км², «Подводораздел» — площадью от 1 до 10 км², а также «Микроводораздел» — площадью менее 1 км², водосборные тоже классифицируются по форме на дендритическая (самый распространённый вид), радиальная, центростремительная, прямоугольная, параллельная и беспорядочная форма [103, 209].

1.7.1 Методы определения границ водосбора с помощью ГИС-технологии и по данным ЦМР

Основная цель любой гидрологической модели и основной элемент процесса гидрологического анализа является определение границы водосборного бассейна и выявление сети долин. Вода всегда перемещается из высоких мест в низкие через сеть долин, пока не достигнет точки водосбора. Эту воду можно сбрасывать в водоемы, водотоки или в прилегающий водосборный бассейн. Сток воды обычно

напрямую связан с гидрологическим круговоротом, который включает в себя осадки, испарение, грунтовые воды и т. д. Точкой дренажа обычно является самая низкая точка возвышения на границе водосборного бассейна. Границы водосборного бассейна можно определить, как линию, отделяющую один бассейн от другого, и она часто совпадает с вершинами возвышенностей, присутствующих на исследуемой территории [81, 241].

В большинстве современных моделей стока они рассчитываются с использованием ГИС-технологий на основе ЦМР. Большинство современных ГИС-продуктов предоставляют необходимые инструменты, позволяющие установить направление движения воды по склонам, построить модель (древовидную структуру) речной сети, выделить водосборы различных порядков [149].

За последние десять лет автоматизированное извлечение поверхностного дренажа, сетей каналов, дренажных подразделений, дренажных сетей и связанных с ними топологических данных, а также других гидрографических данных из ЦМР значительно развивалось и теперь является стандартной функцией большинства программ ГИС. При использовании топографических карт автоматизированные процессы выполняются быстрее, точнее и воспроизводимое, чем традиционные ручные методы. Разрешение, качество и определение поверхностного дренажа DEM являются основными проблемами гидрографических данных, полученных с помощью DEM (рисунок 1.6) [14, 40, 53].



Рисунок 1.6 – Блок-схема операций ГИС по извлечению информации о водосборах из ЦМР (Автор: Алали Хозефа)

Например, пакет программного обеспечения ArcGIS PRO включает набор инструментов для гидрологии, который предоставляет множество функций разграничения водоразделов. Гидрологические инструменты можно применять индивидуально или последовательно для создания сети ручьев или определения границ водосборного бассейна. Ниже перечислены инструменты GRID в наборе инструментов гидрологии с кратким описанием каждого из них. Рисунок 1.6 Блок-схема операций ГИС по извлечению информации о водосборах из ЦМР [14, 40, 53].

1. Получение ЦМР: первым исходным материалом, необходимым для анализа водосбора, является ЦМР.

2. Заполнение: заполняет впадины в растре поверхности для устранения небольших дефектов в данных.

3. Направление потока: растр направления потока показывает, в каком направлении будет вытекать вода из каждой ячейки заполненного растра рельефа. Широко распространенным методом определения направления потока является метод D8, используемый в Arc GIS.

4. Накопление стока: растр накопления потока табулирует для каждой ячейки количество ячеек, которые будут к ней стекать. Табуляция основана на растре направления потока.

5. Сеть ручьев: сеть потоков может быть получена из растра накопления потоков. Вывод основывается на пороговом значении накопления. Например, пороговое значение 500 означает, что каждая ячейка сети стока имеет не более 500 способствующих ячеек.

6. Связи потоков: присвоение уникального значения и ассоциирование с направлением потока каждому участку сети потоков — это этап или процедура получения связей потоков.

7. Водоразделы в масштабах района: это заключительный шаг по выделению водосбора для каждого участка ручья.

8. Точечные водосборы: делимитация отдельных водосборов на основе точки пересечения (точки разлива) выполняется по той же процедуре, что и при делимитации водосборов в масштабе всей территории.

Эти шаги определения границ водораздела различаются в зависимости от используемого программного обеспечения ГИС, а также метода, используемого для определения направления потока [61, 149].

1.7.2 Алгоритмы направления и накопления стока

Алгоритм направление стока считается основным ключом к получению гидрологической характеристики исследуемой территории. Этот алгоритм получается в виде слоя, имеет тип данных «Растр», с помощью которого мы можем

определить направление потока от одной ячейки к другой. Самый распространённый метод является D8, где направление потока определяется путем нахождения направления наиболее крутого спуска, или максимального падения, из каждой ячейки [55, 146]. Это рассчитывается следующим образом:

Максимальный перепад = изменение значения z / расстояние.

Расстояние определяется между центрами ячеек. Поэтому если размер ячейки равен 1, то расстояние между двумя ортогональными ячейками равно 1, а расстояние между двумя диагональными ячейками равно 1,414216, т.е. квадратному корню из 2 [195].

В результате выполнения метода D8 получается слой растер, в каждой ячейке расшифрованы цифры от 1 до 128 эти цифры показывают направление стока (рисунок 1.7). Значения для каждого направления от центра следующие:

- 1- Восток
- 2- Юго-восток
- 4- Юг
- 8- Юго-запад
- 16- Запад
- 32- Северо-запад
- 64- Север
- 128- Север-восток

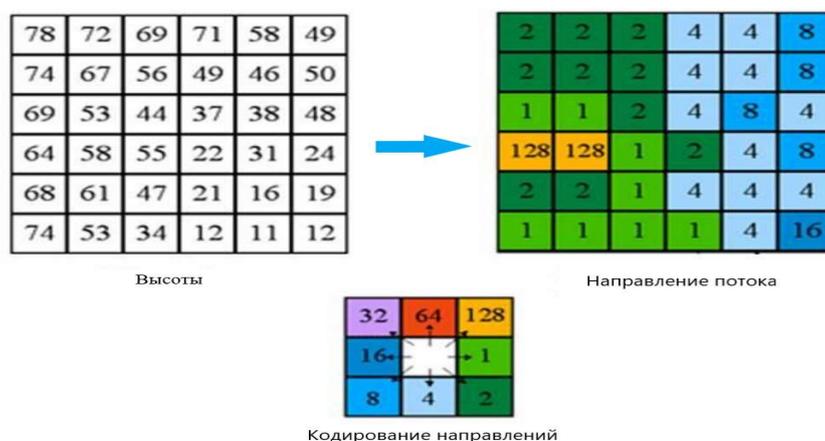


Рисунок 1.7 – блок-схема показывающая ЦМР и профиль направления потока для профиля ЦМР [25]

Функция НАКОПЛЕНИЕ ПОТОКА рассчитывает накопленный расход как накопленный вес всех ячеек, втекающих в каждую ячейку нисходящего склона в выходной сетке. Если весовая сетка не задана, то к каждой ячейке применяется вес, равный единице, и значение ячеек в выходной сетке будет равно количеству ячеек, втекающих в каждую из них [55, 146, 195].

1.8 Состояние и проблемы водных ресурсов САР, включая реки Ал Кабир Ал Шамали

Водный кризис в Сирийской Арабской Республике представляет собой серьезную проблему, которая усугубляется рядом факторов, включая изменение климата, разрушение инфраструктуры и продолжающаяся гражданская война. В условиях низкого уровня осадков, Сирия в значительной степени полагается на реки, родники и подземные воды для удовлетворения своих потребностей в воде. Однако страна испытывает острую нехватку воды, а водные ресурсы ограничены. Конфликт нанес ущерб водной инфраструктуре, и системы сталкиваются с такими проблемами, как загрязнение, неустойчивое использование подземных вод и незаконный контроль над ресурсами [117, 141].

Для удовлетворения основных потребностей правительство приняло такие чрезвычайные меры, как нормирование воды и опреснение морской воды. Однако в будущем восстановление водной инфраструктуры будет представлять собой серьезную проблему. В Сирии имеется семь водных бассейнов (рисунок 1.8 и таблица 1.3) и несколько крупных и средних плотин, при этом река Евфрат является наиболее важным водным ресурсом. Общий объем водных ресурсов Сирии оценивается в пределах (16,375-18,209) млрд. куб. м/год воды [56, 168].

В Сирии протекает 16 рек и их притоков, пять из которых являются международными (Ефрат, Тигр, Оронт, Ярмук и Великая Южная река). Они составляют около 75% всех организованных ресурсов поверхностных вод в стране и более 45% доступных для использования водных ресурсов. Всего общие ресурсы поверхностных вод составляют 10 млрд. кубических метров в год (исключая реку Тигр, поскольку Сирия не использует ее воду) [85, 110, 168, 182].

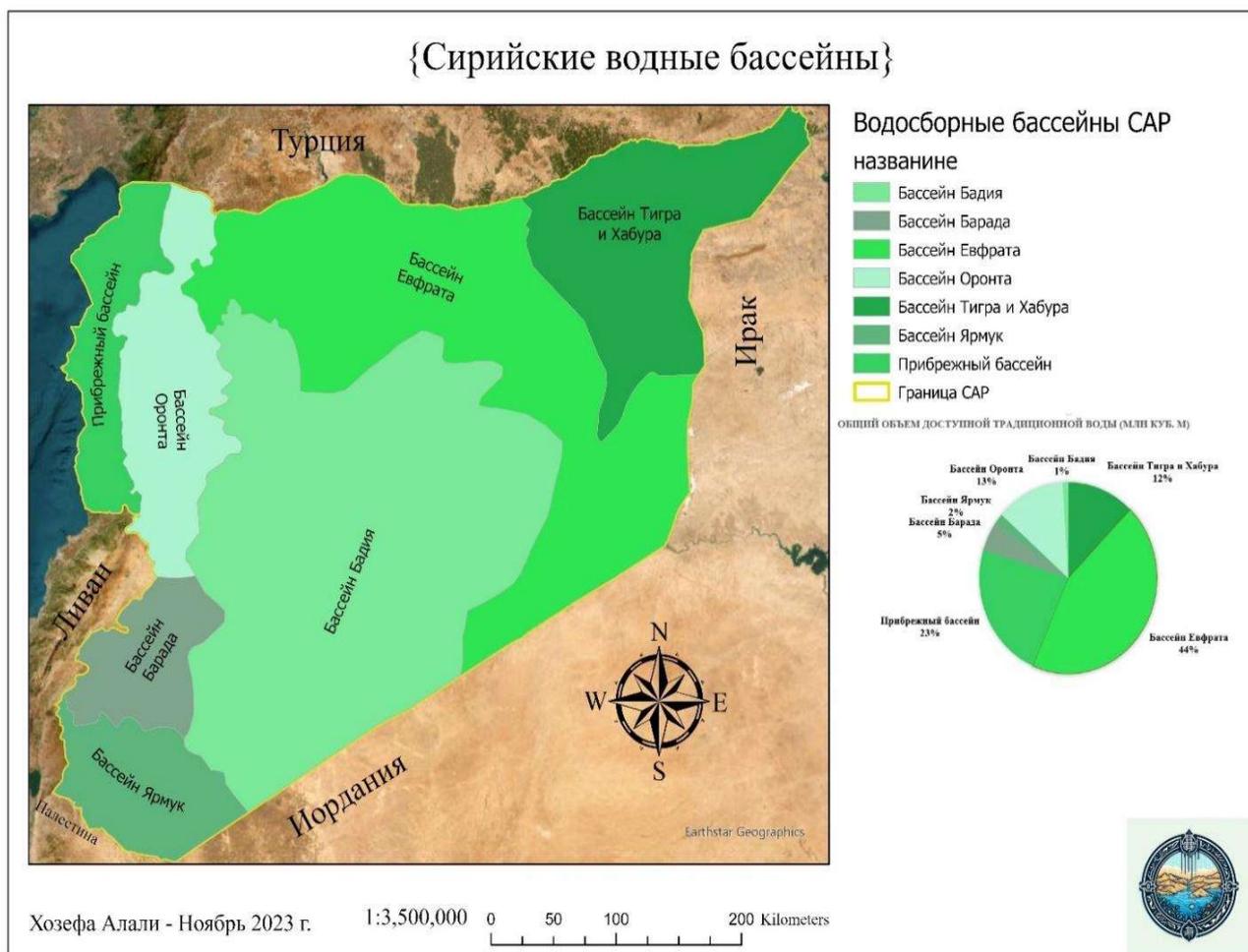


Рисунок 1.8 – Распределение водных бассейнов в Сирии, а также количество воды, доступной в этих бассейнах. (Построен автором по программе ArcGis Pro)

Таблица 1.3 – Общий объем доступности воды в водосборных бассейнах Сирии

Название бассейна	Количество осадков (млн куб. м)	Площадь бассейна (км ²)	Общий объем доступной традиционной воды (млн куб. м)
Бассейн Тигра и Хабур	10691	21129	2207
Бассейн Евфрата	9800	51238	7933
Прибрежный бассейн	8493	5086	4160
Бассейн Барада	2297	8596	881

Название бассейна	Количество осадков (млн куб. м)	Площадь бассейна (км ²)	Общий объем доступной традиционной воды (млн куб. м)
Бассейн Ярмук	6822	6721	332
Бассейн Оронта	6603	21624	2246
Бассейн Бадиа	1930	70786	179
Сумма	46636	185180	17938

Реки САР относятся к бассейнам Средиземного моря и Персидского залива. Река Евфрат является самой длинной и наиболее важным источником воды, где аккумулирует в себе более 80% всех водных ресурсов страны. Евфрат берет своё начало в Турции и пересекает территорию Сирии с северо-запада на юго-восток на протяжении 675 км, затем пересекает границу с Ираком в городе Букамаль. Ширина долины Евфрата на территории САР колеблется от 4 до 15 км. В САР Евфрат принимает 2 левых притока: Белих (105 км) и Хабур (460 км). На р. Евфрат в САР построено 3 плотины (Аль Асад, Аль Хория и Тишрин), Плотина Аль Асад образует водохранилище около 80 км в длину и 8 км в среднем в ширину самое большое водохранилище в Сирии, используемое для ирригации хлопка [68, 72, 117, 150].

Вторая река по длине — это Аль Аси или Оронт берет начало в районе Баальбека в Ливане, проходит через север Сирии в городе Хомс и Хама потом проходит через Турцию в районе Антиохия и впадает в Средиземное море, его протяженность на территории Сирии составляет 325 км пересекая страну с юга на север. Эта река питается горными источниками, талыми снегами и обладает значительными запасами воды. На реке образуются озера и болота. Наиболее крупным является озеро Хомс, болота Ашарна и Габ [101].

По реке Тигр на протяжении 50 км проходит государственная граница Сирии с Турцией и Ираком.

На юго-западе САР течет река Барада (71 км), впадающая в озеро Бухайр-аль-Утейба. Воды реки Барада орошают территорию оазиса Дамасская Гута, где

расположена столица Сирии-Дамаск. Сирии принадлежит также правый берег пограничной с Иорданией реки Ярмук [67].

Прибрежные реки- северные и южные Великие реки, а также с севера на юг река-Аль-Кашла и Дили Чай в области Искендерун, долина Аль-Самара (Кара-Дуран), р. Хасан Фахи (Хасан), река Эд-Дафла, Аль-Асуад, Кандиль (14 млн.м³), Арабская река, Великий север, Албаред, Аль-санаубар (53 млн.м³), река Русс (41 млн.м³), затем река Рмлн ей, Альхадад, Булгур (55 млн.м³), река Альсин, Хрисон (72 млн.м³), река Жобар, Банияс (70 млн.м³), река Маргига (67 млн.м³), Альхсин, Альгамка, река Альабрашь (100 млн.м³), затем Великая южная река [69, 72, 119, 150].

Реки питаются в основном за счет таяния снега в горах, поэтому уровень воды в них сильно колеблется и наиболее высок весной.

Засушливые районы пересекают многочисленные вадии - сухие русла рек, которые наполняются водой только в сезон дождей.

Сухие долины — это вода, который течет несколько дней в году, и наполняют колодцы, которые находится на дне сухой долины, и они играют важную роль в пустыне, обеспечивая людей и животных питьевой водой. (Радуйся, Семь Баяров, Махмуд, Ред, Чам в Бадиа и (ротеры, Сарин, Сарот, Венгрия, рынки внутри территорий [68, 117].

В Сирии нет пресных озер естественного происхождения, за исключением Тивериадского озера, расположенного на западной границе Сирии (210 м ниже уровня моря). Однако многие водные зеркала созданы с помощью плотин, в том числе огромное озеро Асад на реке Евфрат (630 км²) [69, 117, 137, 207].

В Сирийской Арабской Республике насчитывается 166 плотин с общей вместимостью 19,7 км³. Самая большая из этих плотин это многослойная плотина на реке Евфрат недалеко от города Ракка, плотина Махрада и Расастин, большая часть которых находится недалеко от Хомса и Хамы на западе страны [150].

Себха — это название частично или полностью пересыхающих соленых озер, границы которых сильно меняются в течение года. Некоторые из них иногда

достигают довольно больших размеров, например Джаббул площадью 150 км² к юго-востоку от Алеппо (таблица 1.4 и 1.5) [119, 150].

Таблица 1.4 – Главные реки Сирии

Название реки	Минимальный расход м ³ /с	Максимальный расход м ³ /с	Средний расход м ³ /с	Длина (км) внутри территории Сирии	Общая длина (км)
Евфрат	77	1474	583	610	2880
Хабур	0	60	2,09	402	477
Алджах	0	4	0,36	100	124
Аль-Саджур	0,03	4,18	0,79	27	122
Оронт	3,3	7,4	4,8	366	485
Африн	0	11,06	1,67	74	136
Квайк	3,62	8,08	5,13	155	202
АКАШ	0,45	40	5,7	56	96
Барада	0,8	1,35	0,91	81	81
Ярмук	1,4	1,8	1,73	48	60
Южный	0,1	105,25	14,47	56	76
Аль-Балех	-	-	-	116	202
Аль-Син	0,18	12,13	5	6	6
Аль-Ахуадж	70	2,22	0,95	70	70
Аль-Сибрани	0	4,01	0,28	32	32
Абу Кбис	0,02	1,2	0,3	6	6
Сумма	156,9	1736,68	627,18	2245	5055

Таблица 1.5 – Главные плотины в Сирии [68]

Общая вместимость (в млн. кубометров)	Количество дамб	Гидрологический бассейн
245	42	Ярмук
-	-	Барада и Авадж
602	21	Прибрежный бассейн
1492	49	Аль-Асси
69	37	Бадиа

Общая вместимость (в млн. кубометров)	Количество дамб	Гидрологический бассейн
16146	4	Евфрат и Алеппо
1045	12	Тигр и Хабур
19599	165	Всего

Водные богатства Сирии оцениваются в 25035 млн. кубических метров (2005), из которых около 5600 млн. кубических метров являются подземными водами, около 18 млрд. кубических метров являются поверхностными (внутренними и внешними), и около 1400 млн. кубических метров являются нетрадиционными водами (сельскохозяйственные сточные воды и опреснение морских вод), Объем внутренних возобновляемых водных ресурсов оценивается в (7048 млн. м³) в 2009 году, а доля на душу населения составляет 356 м³ / год, по сравнению с прошедшими годами было (1300 м³) его общих водных ресурсов внутри и снаружи. Вода на душу населения в 2002 году составляла 1541 м³/год. Сократились из-за роста населения. В отчете Организации Объединенных Наций по развитию человека за 2006 год отмечается, что общий объем возобновляемых водных ресурсов в Сирии достигает до (18,209 млн. м³), в то время как в среднем водных ресурсов, доступных для использования (15,500 млн. м³) [183].

Данные Всемирного банка показывают, что ежегодный забор пресной воды в Сирии (16,8 млрд. кубометров) в 2009 году и Отчет о человеческом развитии в 2011 году указывают на то, что добыча пресной воды в период с 2003 по 2010 год составляла 99,8 процента от общего объема возобновляемых водных ресурсов [173].

89% воды идет в сельское хозяйство, 1,8% - в промышленность и 3,3% - для бытового использования.

Сирия является страной с низким уровнем воды, которой составляет 1000 м³ на душу населения, что является чертой бедности в мире, но на душу населения приходится 845 м³ фактически потребляемой воды. Страна находится под значительным давлением в результате роста населения, следовательно, увеличился спрос на воду 1727 млн. м³ в год, в период 1990-2003 гг. Этот дефицит увеличился

до 3125 млн. м³ в 2003 г. из-за увеличения площади орошаемых земель (таблица 1.6 и рисунок 1.9) [97, 177, 183].

Таблица 1.6 – Суммарные запасы поверхностных и подземных вод Сирии

Источник водные ресурсы	Единица измерения	Гидрологический бассейн								Суммарно м.м ³
		Барада и Авадж	Ярмук	Бадия	Аль-Асси	Береговой	Тигр и Хабур	Евфрат и Алеппо		
Поверхностные воды	м. м ³	19	168	152	1036	1453	735	7073	10635	
Подземные воды	м. м ³	774	249	168	1499	726	1493	346	5256	
Суммарный	м. м ³	793	417	320	2535	2179	2228	7419	15891	
Степень регулирования	%	90	85	60	85	65	95	98		
Доступны регулируемые водные ресурсы	м. м ³	714	354	192	2155	1416	2117	7271	14218	

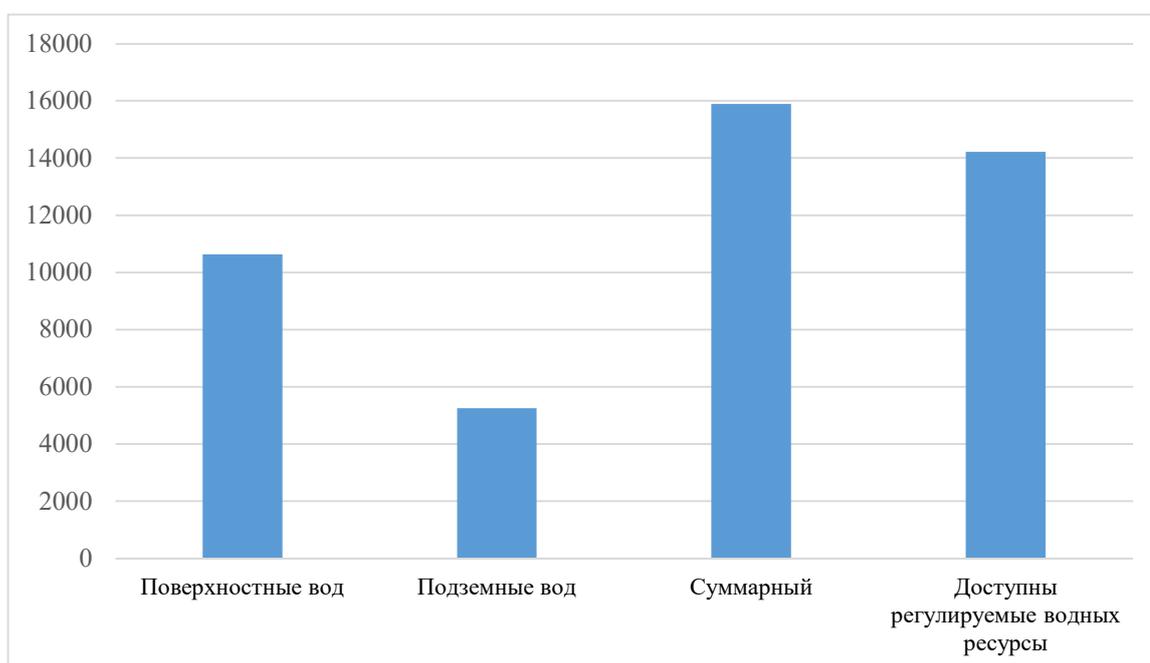


Рисунок 1.9 – Суммарные запасы поверхностных и подземных вод Сирии

Водосбор реки АКАШ стал местом интенсивных экономических преобразований с 1985 года, когда для ирригационных целей было построена плотина 16 Тишрин. Из-за высоких ежегодных темпов прироста населения в

пределах бассейна реки АКАШ 2,1% [62, 167]; необходимо изучить, и подготовить стратегии устойчивости водных ресурсов.

Вывод по главе 1

Изменение климата, глобальное потепление, экономические и социальные условия, а также продолжающаяся война в Сирии оказывают весьма существенное влияние на водные ресурсы страны, что делает необходимым поиск экономических и технических решений для обеспечения и построения гидрологических баз данных с наименьшими затратами и найти решения для обеспечения водой районов с сильными осадками и оптимального ее использования или для использования в засушливых районах с недостаточным количеством осадков.

Гидрологическое моделирование с использованием геоинформационных систем и данных дистанционного зондирования представляет собой очень важное средство решения подобных вопросов, связанных с водными ресурсами, с наименьшими затратами, особенно в Сирии.

Создание базы данных по бассейну реки АКАШ с использованием геоинформационных систем имеет большое значение для получения полного представления о климатических и гидрологических условиях АКАШ бассейна. Аналогичным образом, расчет уравнения водного баланса озера 16 Тишрин на АКАШ реке дает представление о масштабах потерь воды, происходящих в результате испарения. Мы можем предложить решения по снижению испарения и тем самым уменьшить экономические потери вследствие этого.

Расчет числа кривых стока SCS-CN для суббассейна, а также гидрографа разных периодов повторяемости реки дает представление о количестве воды, имеющейся в бассейне, а также позволяет прогнозировать количество воды, которое мы можем получить в будущем, кроме того, рассчитав числа кривых стока SCS-CN, мы также можем изучить влияние изменения землепользования на водообеспеченность в бассейне АКАШ.

ГЛАВА 2. СОСТОЯНИЕ ПРИРОДНО-ХОЗЯЙСТВЕННЫХ УСЛОВИЙ СИРИЙСКОЙ АРАБСКОЙ РЕСПУБЛИКИ, ВКЛЮЧАЯ БАССЕЙНЫ РЕКИ АЛ КАБИР АЛ ШАМАЛИ

2.1 Природно-хозяйственные условия Сирийской Арабской Республики

Климатические характеристики САР:

По уравнению Амберже можно составить карту климатической среды Сирии следующим образом:

$$Q_2 = \frac{2000p}{M^2 - m^2} \quad (2.1)$$

где Q_2 – коэффициент теплового дождя Амберже; P – Среднегодовое количество осадков в мм; M – Средняя максимальная температура самого теплого месяца (абсолютный градус); m – Средняя минимальная температура самого холодного месяца (абсолютный градус).

В своем уравнении Амберже опирается на соотношение годовой нормы осадков, температурного диапазона ($M-m$) и средней температуры, чем больше коэффициент Амберже, тем более влажный и дождливый регион, а чем меньше коэффициент, тем суше. Использование коэффициента Амберже при средней минимальной температуре самого холодного месяца (на графике (в килограммах) позволяет выделить в Сирии следующие климатические условия: влажный, умеренно влажный, умеренно сухой, сухой и засушливый (пустыня) (рисунок 2.1) [79, 185].

Эта карта разделила Сирию на влажные места в высокогорье Аль-Курд, Аль-Акра, Латакия и гора Хермон (местонахождение нашего объекта исследования, бассейн реки АКАШ), и на умеренно сухие места, совпадающие с первым нагорьем и зависящие от пояса с севера на юг, включая северо-восточный регион и горы северной Пальмиры, Аль-Араб и Абд аль-Азиз, а полупустынный климат включает большую часть юго-восточной и центральной частей. В то время как сухой,

умеренно сухой и умеренно влажный климат ограничивается предыдущим климатом [79, 185].

Распределение факторов температуры и влажности в САР:

1 - Температуры начинают превышать 10 градусов в последней декаде января на побережье, в первой декаде февраля на юго-западных участках и во второй декаде февраля на юго-восточных участках, температуры, превышающие 10 градусов позже этих сроков по мере продвижения на север или при переходе от низких мест к возвышенным этот период начинает заканчиваться в конце первой декады декабря на восточных и южных участках и к концу второй декады декабря на прибрежных и юго-западных участках, а в северных районах и горных районах даты более ранние [82, 150, 234].

2 - Температуры начинают превышать 15 градусов на побережье во второй декаде марта, при этом на восточном и южном участках, а также в более высоких местах они задерживаются до позднего времени. Температура сохраняется до второй декады ноября в восточных и южных районах, запаздывает до начала декабря в юго-западных районах и до конца первой декады декабря в прибрежных районах, причем этот период короче, чем во всех выше в высокогорье. Общее количество тепла, накопленного при средней температуре более 10 градусов и более 15 градусов, соответствует длине интервала между началом и концом порога [82, 126, 234].

3 - Годовой водный баланс (разница между осадками и возможным испарением) в западных высокогорьях профицитный, а в восточных и южных частях страны он потерян примерно на 2400 мм (из-за отсутствия дождей и повышенного испарения). Эти потери уменьшаются в возвышенных местах и под влиянием горных жерл. Что касается водного баланса в период вегетации озимых, то на восточном и южном участках потери уменьшаются примерно до 600 мм, а на тех же участках, но в период роста хлопчатника, они достигают около 1600 мм. Во всех случаях потери уменьшаются в прибрежных и возвышенных местах, при этом период роста озимых культур рассчитывается на период времени с первого декабря до конца мая, а период роста хлопка рассчитывается с весны, когда средняя

температура становится 15 градусов, пока суммарная температура не достигнет 3800 градусов (рисунок А.9 из приложения А) [79, 185].

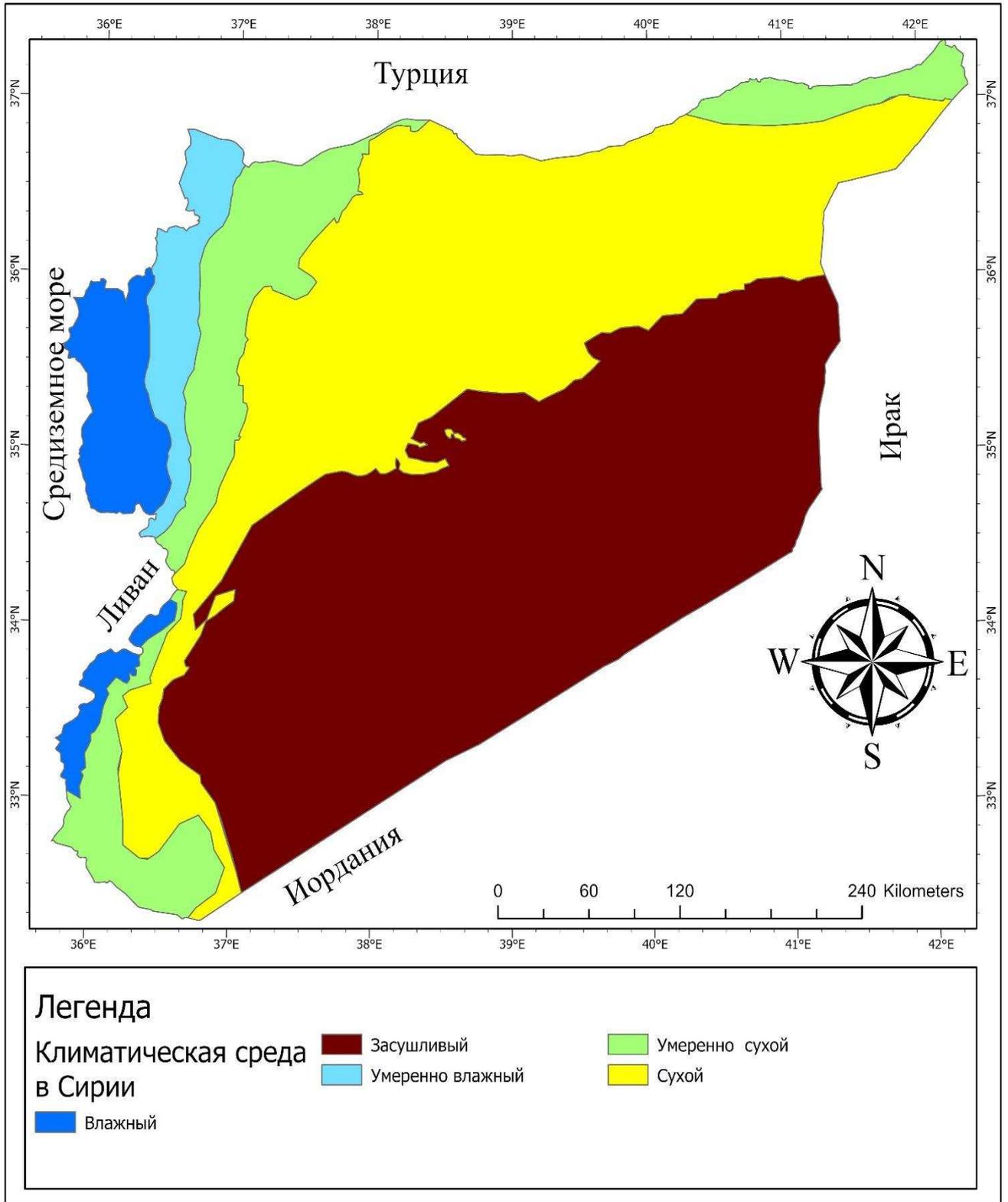


Рисунок 2.1 – Климатическая карта Сирийской Арабской Республики (построен автором по программе ArcGis Pro)

Геологическое положение территории САР:

Сирийские земли составляют северную часть Аравийской плиты и характеризуются сравнительно сложной геологической и структурной ситуацией. Основные геоструктурные единицы, входящие в состав сирийских земель, по своему литостратиграфическому и структурному положению и истории развития представляют собой важный этап для понимания строения и истории развития этой плиты во вторую, третью и современную эпохи [50].

В пределах сирийских земель разворачиваются осадочные образования (преимущественно карбонатные породы, в меньшей степени мергелевые, обломочные и эвапоритовые породы), их возраст простирается между верхним триасом и неогеном, и они составляют около 75% суши Сирии. Остальную часть составляют вулканические породы, распространенные в виде базальтовых пород в верхнеюрских и нижнемеловых породах, и базальтовые щиты, охватывающие обширные площади юго-запада, центрально-западной части и север. Восточная Сирия, относящаяся к неоген-четвертичному периоду, помимо офиолитовых массивов пород и сопутствующих вулканических осадочных пород на севере и северо-западе Сирии (рисунок 2.2) [50].

Большую часть материнских пород, составляющих сирийские земли, составляют: либо известняк (известняковые породы), в том числе (доломит, мел, марна, твердые или мягкие известняковые породы), либо базальтовые породы и зеленые породы. Отсюда и известняковая природа большей части сирийских земель [50].

Характеристики почвы в САР:

Важность почвы в САР становится очевидной, если мы знаем, что 65% населения живет за счет инвестиций в сельское хозяйство, и она является основой национального производства, и от нее зависит значительная часть нашей промышленности [235].

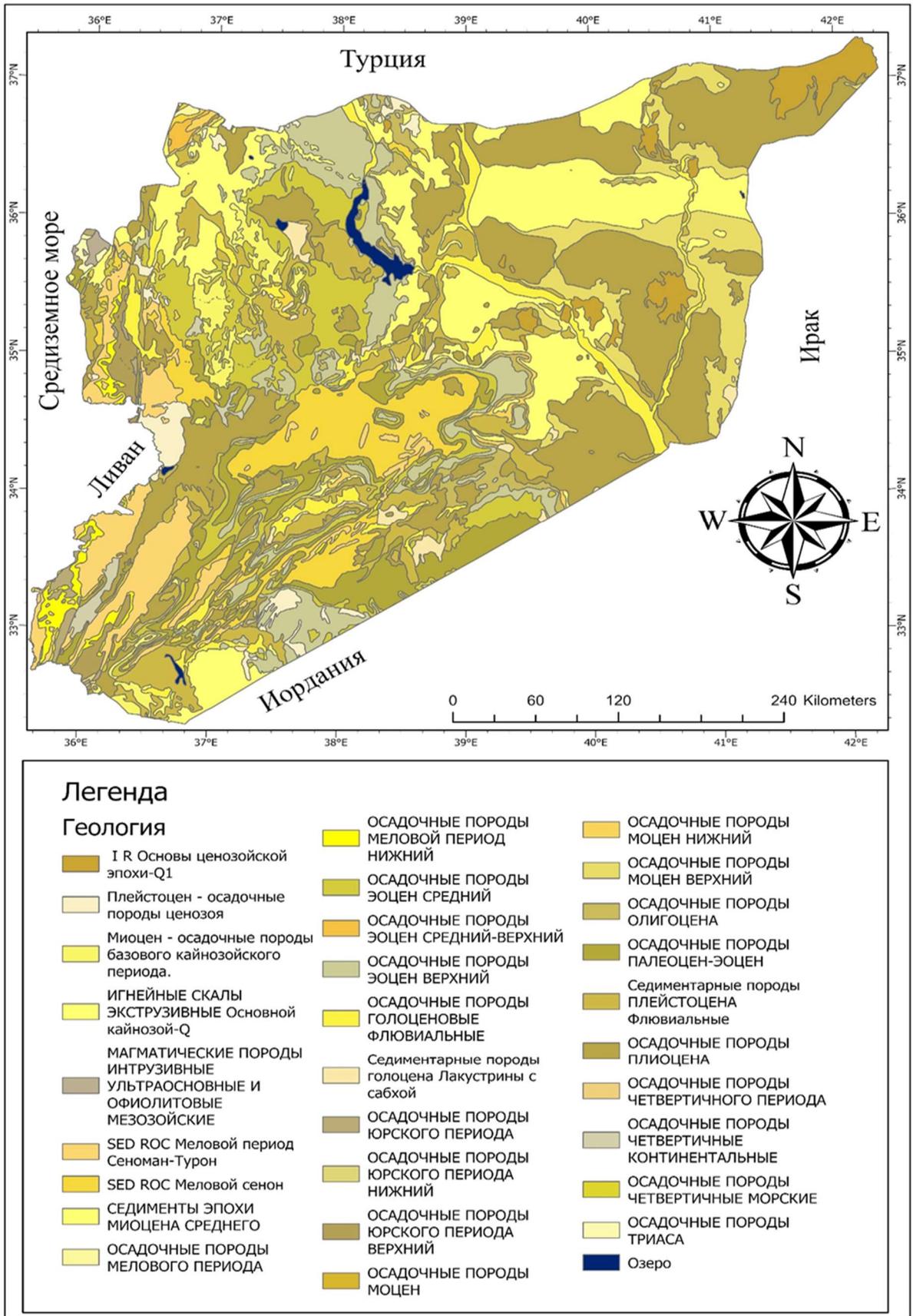


Рисунок 2.2 – Геологическое положение территории САР (построен автором по программе ArcGis Pro)

Площадь земель в Сирии, согласно ее административным границам, составляет 18 480 195 га, из них 8 924 475 га являются пахотными и 2 1350 033 га не пахотными из-за отсутствия в них сельскохозяйственных компонентов, таких как неглубокая каменистость, песчаные или болотистые, или вложены в общественные объекты.

Кроме того, имеется 6 107 856 га пастбищ и лугов и 450 702 га лесных хозяйств.

В Сирии издано несколько классификаций почв, причем названия различаются от одной классификации к другой. Например, советские ученые называют сирийские известняковые почвы коричневыми почвами, а некоторые еще называют их каштановыми или степными почвами, что касается американской классификации, то она включает в себя эти почвы в более чем одной группе, включая следующие секции, группа сухих почв (Aridosol); другая секция (молодые почвы / Instepisols); секция (перевернутые почвы / Vertisols). Им также может быть дано общее название, например Средиземноморские почвы и включают базальтовые почвы [50, 235].

В САР преобладают семь основных типов почв:

1- Красная средиземноморская почва (Red Mediterranean Soil), площадь 850 000 га.

Характеристика. Почва характеризуются тем, что на их секторе присутствует поверхностный горизонт (A1), содержащий средний процент органического вещества, за которым на глубине следует горизонт (B2) тяжелых глин с красноватым или с желтым оттенком. Этот горизонт характеризуется конструкцией блоков от полигональных до полуполигональных.

Распространение – почвы разбросаны по всей Сирии вдоль побережья, где количество осадков превышает 700 мм в год, перекрываясь с Грумозольными землями и подсобными землями [50, 144, 235].

2- Грумозольные почвы (Grumosol), площадь 2 210 000 га.

Характеристики. Почва характеризуются тяжелой глиной, покрытой темным (A) горизонтом, низким содержанием органического вещества. Поскольку

они характеризуются тяжелой текстурой, они являются липкими и пластичными землями, во влажных условиях, а когда высыхают, они становятся твердыми и трудными в обращении. Из-за обилия глины типа монтмориллонит она набухает при поливе, затем вскоре сжимается и растрескивается после высыхания, создавая в ней трещины и бороздки, которые иногда затрудняют различение горизонтов в секторе почвы. Красно-коричневый цвет этой земли иногда может свидетельствовать о качестве их внутреннего дренажа. Эти земли преимущественно известнякового происхождения, возникли из озерных отложений или отложений водного происхождения.

Распространение: распространяется по всей сирийской стране, на равнинах внутренней Сирии, в районах с годовой нормой осадков от 300 до 600 мм [50, 144, 235].

3- Чернозёмы почвы (Cinnamonic), площадь 4 780 000 га.

Характеристики. Почва характеризуется наличием ясного горизонта в верхней части сектора, который представляет собой горизонт (A1), который иногда содержит значительный процент органического вещества. За этим горизонтом следует другой горизонт красновато-коричневого или желтоватого цвета, называемый (B), который на глубине 30-80 см перекрывается известковистым горизонтом, который иногда переходит в твердый слой.

Преобладающий цвет почвы коричневый с желтым или красным, а основная текстура этой почвы варьируется от средней до тяжелой.

Распространение: распространяется в районах с годовым количеством осадков 300 мм и особенно встречается в районах, расположенных к востоку и югу от Алеппо и в южной части острова, простирается с юга на северо-восток полосой шириной около 50 км, окружающей окраину пустыни [50, 144, 235].

4- Сероземные пустынные почвы (Sierozem), площадь 4 240 000 га.

Особенности: для данного участка почвы характерно наличие поверхностного горизонта (A1), очень бедного органическими веществами. В этом типе земель высок процент содержания кальциевого угля. Иногда могут встречаться твердая известняковая корка на разных глубинах. Цвет почвы иногда

от серо-бурого до темно-буро-серого, текстура почвы здесь сильно варьируется от участка к месту, что связано с разнообразием исходного материала, из которого образуется пыль.

В секторе грунта имеется некоторое количество гравия из-за движения в нем поверхностного материала, и в результате постоянного воздушного сноса на этих участках этот гравий окончательно обнажается и выходит на поверхность, образуя устойчивую поверхность, препятствующую образованию эрозии, и называется пустынным тротуаром.

Распространение этой почвы – занимает площадь, которая оценивается примерно в 4,25 млн. гектаров всей территории Сирии, или около четверти территории страны. Он расположен в районах, где среднегодовое количество осадков составляет менее 200 мм. С сферографической точки зрения большая часть этих земель расположена в слабовозвышенных и равнинных степях, на высоте 300 метров над уровнем моря [50, 144, 235].

5- Гипсоносные почвы (Gypsiferous soils), площадь 5 520 000 га.

Характеристика: Морфологические, физические и химические характеристики гипсового грунта различают, зная происхождение гипсовых отложений и глубину, на которой в почвенном секторе встречается слой гипса. Гипсовая пыль в Сирии формировалась локально в естественных условиях в прошлые геологические эпохи, особенно в современную геологическую эпоху (миоцен), на территориях, подвергавшихся затоплению водой, где гипсовые материалы отлагались после высыхания воды.

Процент гипса в этих почвах высок, так как в них имеются твердые слои гипса, так как твердые слои гипса имеются на разной глубине в секторе почвы, а гипс встречается также в порошкообразном или кристаллизованном виде.

Распространение гипсовой почвы по стране. Почва широко распространена в более засушливых пустынных районах, а также ее можно обнаружить на более засушливых землях коры. В частности, она встречается в районах, подвергшихся воздействию прошлых геологических эпох, особенно

современной геологической эпохи (миоцена). Погружать в воду, где после высыхания воды откладывались гипсовые материалы [50, 144, 235].

6- Аллювиальные почвы (Alluvial), площадь 530 000 га.

Характеристика: Сопутствующая почва характеризуется недавним образованием, горизонты в ее секторе не различимы. Почва образовалась в результате размещения пыли, переносимой речными, жидкими или стоячими водами различного происхождения, именно поэтому он широко распространен во всех регионах, где есть условия, способствующие его формированию.

Распространение по всей стране. В Сирии есть два основных места, имеющих большое значение: равнина Аль-Габ и земли, прилегающие к рекам Евфрат и Хабур.

7- Почва, образовавшаяся в почве грунтовых вод (Ground water soil), площадь 336 000 га.

Характеристики. Почва характеризуется налетом белых солей на ее поверхности во время засухи, а от влаги ее цвет становится нефтяно-коричневым. Цвет этих земель обусловлен наличием в них хлора кальция, поглощающего влагу из атмосферы.

Однако показано, что существуют некоторые солончаки, где степень насыщения адсорбционного комплекса натрия превышает 15% от суммы катионов адсорбционного комплекса.

Распространение этого типа почвы: К этим землям относятся, в частности, засоленные земли, которые образуются в центрах бассейнов, как это имеет место в бассейне Дамаска, бассейне Джайруда, Пальмире, Джабале и территория к востоку от реки Хабур, или те земли, засоление которых образуется из-за грунтовых вод, поднявшихся из-за неправильного использования ирригации, как это имеет место в некоторых районах бассейнов рек Евфрат и Аль-Габ (рисунок 2.3) [50, 144, 235].

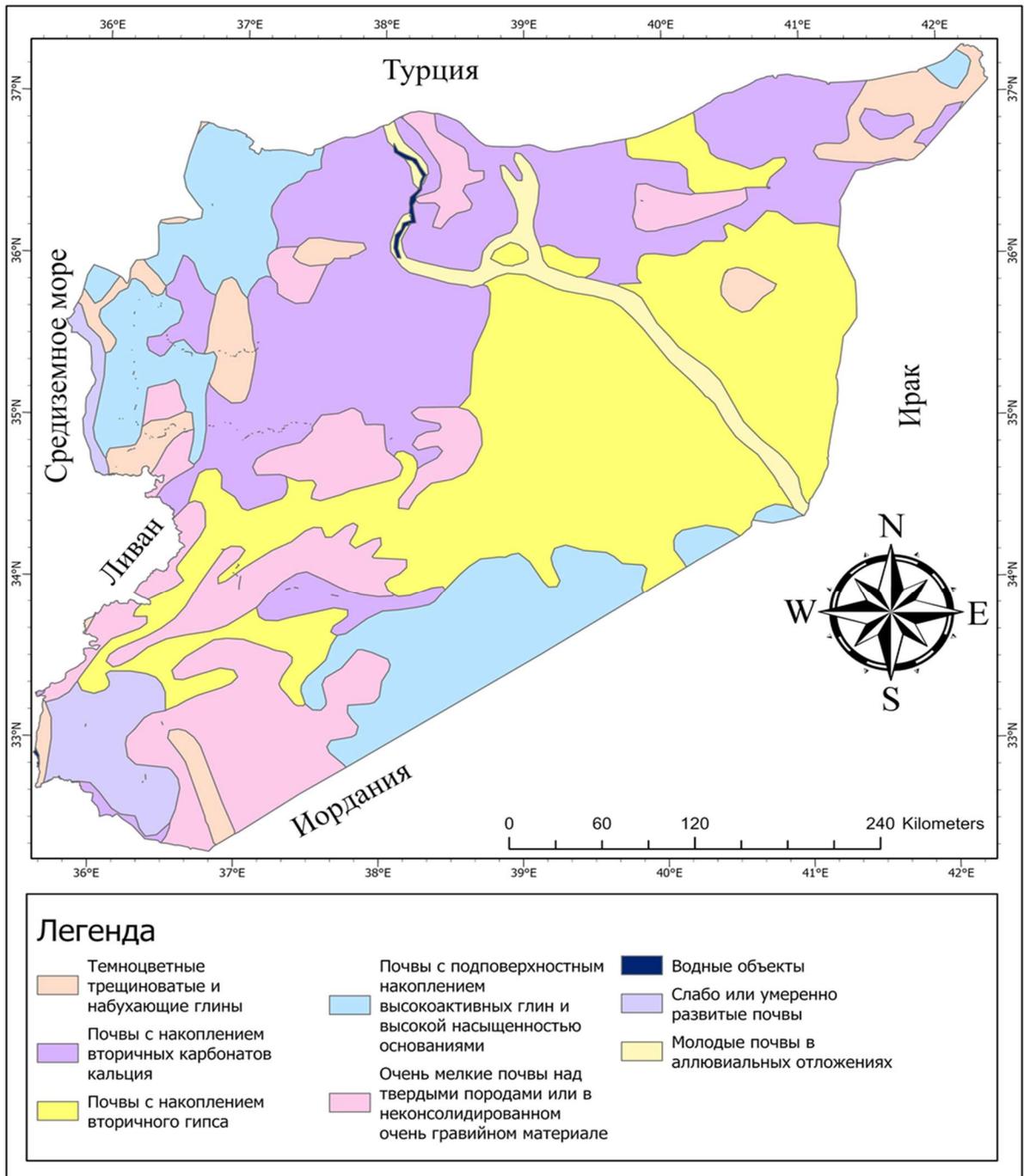


Рисунок 2.3– Характеристики почвы в САР (построен автором по программе ArcGis Pro)

Геоморфология САР:

Сирийская Арабская Республика является одной из стран с большим морфологическим разнообразием из-за множества факторов и природных условий, которые способствовали формированию ее поверхности (рисунок 2.4) [107]. Сирия морфологически разделена на несколько основных регионов:

Прибрежный регион: простирается вдоль сирийского побережья Средиземного моря и характеризуется наличием прибрежных равнин и невысоких холмов.

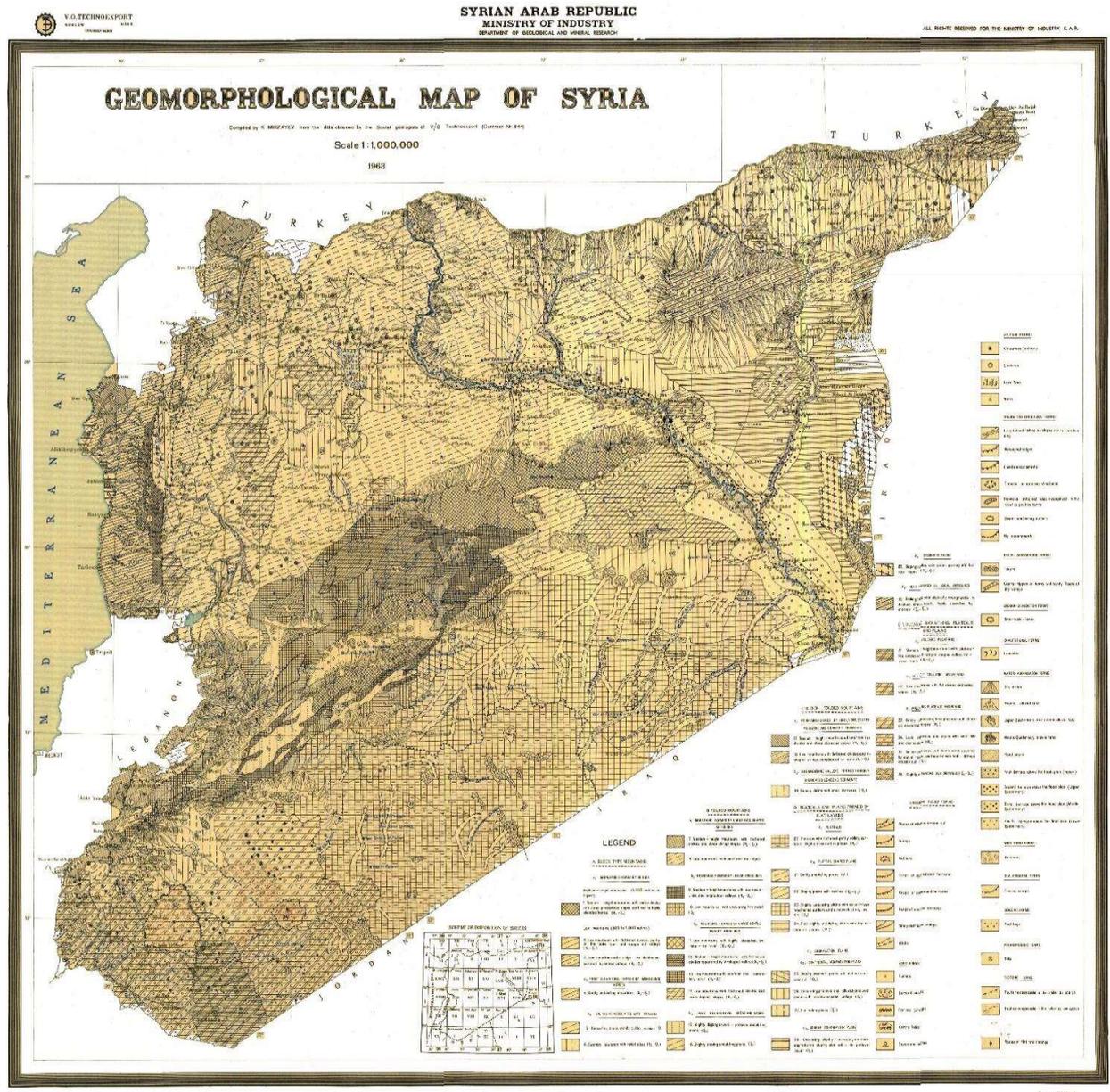


Рисунок 2.4 – Геоморфология САР

Прибрежные горы: они включают горы Латакия и Алавитские горы на севере и Сирийские прибрежные горы на юге и характеризуются средней высотой до 500-1500 м.

Прибрежное плато: это территория, расположенная между Прибрежными горами и долиной Великой реки на севере.

Регион Бадия аль-Шам: он охватывает большие территории в центральном и восточном регионе Сирии, а его поверхность представляет собой скалистое плато с простым рельефом.

Долина Евфрата: через нее проходит река Евфрат, образуя плодородную равнину.

Северо-восточная часть: включает западные и южные склоны Таврских гор и полугорное нагорье.

Пустыня Аль-Хаммад: расположена на юго-востоке и характеризуется песчаными дюнами [107, 235].

2.2 Географическое положение, особенности и водные объекты бассейна реки Ал Кабир Ал Шамали

Река АКАШ - важнейший источник воды в прибрежном бассейне. Ее протяженность по территории Сирии составляет 56 км, а площадь водосборного бассейна 1096 км², что составляет 21,44% от общей площади прибрежного бассейна. Ее максимальный расход составляет 40 м³/с, и она быстро течет до района строительства плотины 16 Тишрин. После этого спуском реки становится простой наклон и продолжается до устья (рисунок 2.5) [132, 139].

Русло реки АКАШ расположено в прибрежной зоне, проходя между горами и плато, а также на прибрежной равнине, где по краям русла реки и внутри него расположены сельскохозяйственные угодья, населенные пункты и промышленные объекты [133, 165].

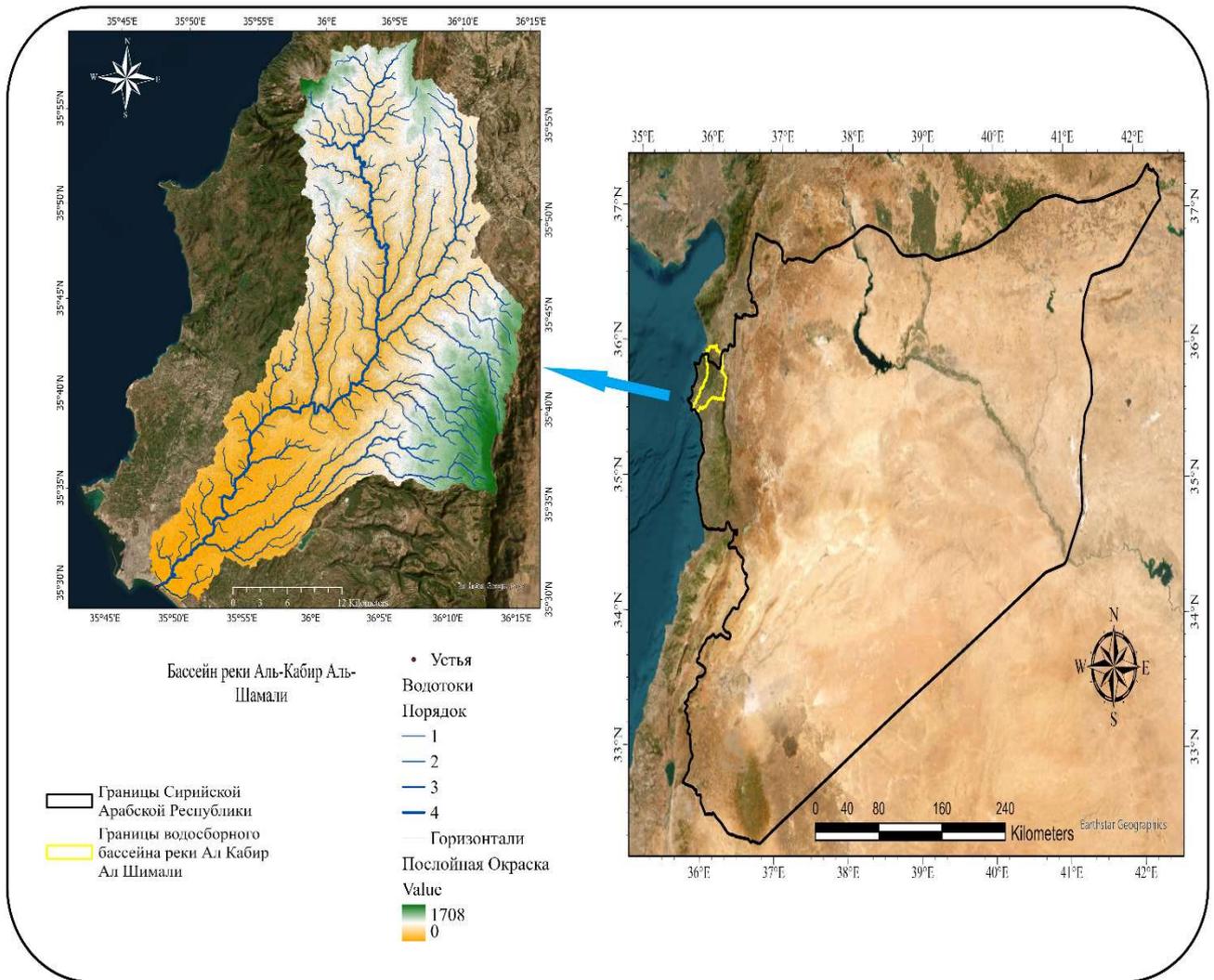


Рисунок 2.5 – Географическое положение бассейна реки АКАШ (построен автором по программе ArcGis Pro)

Река АКАШ считается самой многоводной рекой прибрежного региона. Река берет свое начало с высот Гористый район на границе с Турцией, идущий на юго-запад и обслуживаемый множеством рек, небольшие источники и впадения в Средиземное море южнее города Латакия. Река имеет постоянное течение, и ее полноводность во многом зависит от количества осадков. В сезон дождей ее расход составляет около $40 \text{ м}^3/\text{с}$, а засушливые периоды она снижается до $1 \text{ м}^3/\text{с}$, и его подача может полностью прекратиться, как это произошло в 1985 году. Поверхностный сток оценивается по $138,8 \text{ мм}$ в год (рисунок 2.6), (таблица А.1 и А.2, рисунок А.1 и А.2 из приложения А), а общий сток по $174,2 \text{ мм}$ в год [60, 133, 165].

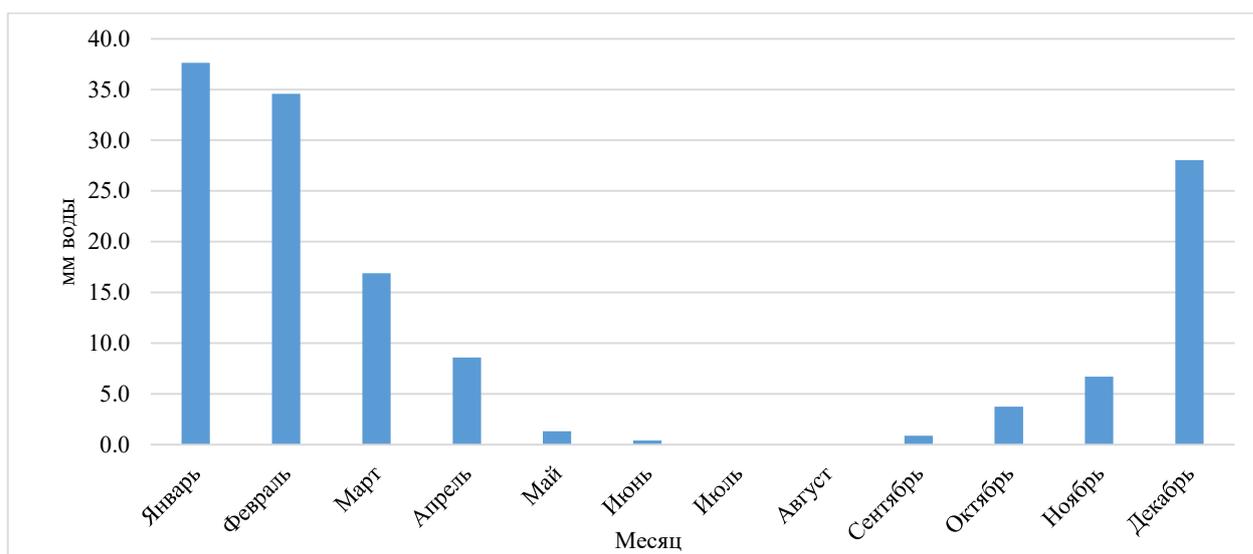
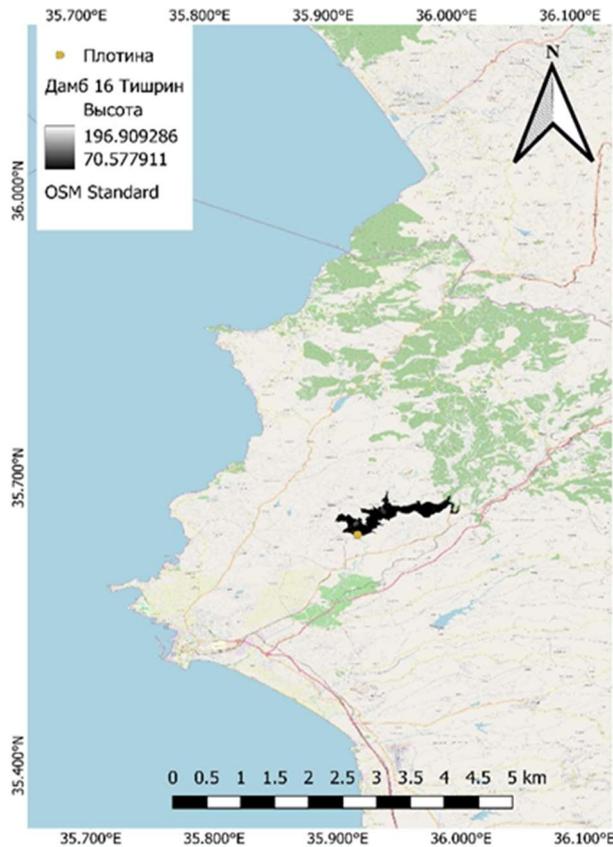
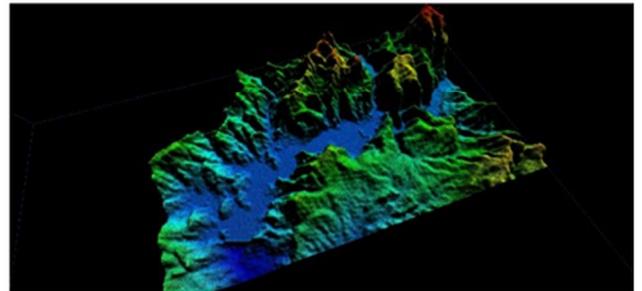


Рисунок 2.6 – Диаграмма среднемесячного поверхностного стока для района с 2000 по 2023 г. (построен автором в программе Microsoft Excel по данным FLDAS)

Один из важных проектов на реке АКАШ является плотина 16 Тишрин — самая важная плотина в области Латакия и на сирийском побережье (рисунок 2.7, рисунок 2.8) и (рисунок А.10 из приложения А). Она расположена на реке Ал Кабир Ал Шамали, к северу от моста (Хан Аталлах) и примерно в 20 км от города Латакия в северо-восточном направлении, расположение водохранилища определяется координатами (291000, 283000 - восток и (165500, 168500) север. На рисунках (2.7) и (рисунок А.11 из приложения А) показано расположение плотины и водохранилища. Это совокупная плотина с хрящевым ядром. Длина плотины - (915м) и максимальная высота - (52) м. А объем ее накопителя (210) млн куб. м орошает примерно площадь 19894 га сельскохозяйственных земель. Этот проект способствовал орошению сельскохозяйственных земель, расположенных в районах Латакия - Аль-Хаффа - Кардаха - Джабле, а также регулированию русла реки, изменению климата и предотвращению опасности наводнений в зимнее время. Инвестиции в этот объект начались в 1987 году. Уровень на вершине плотины составляет (81,35), но допустимый диапазон повышения воды в озере лежит между уровнем (74,65) и уровнем (78,4), полностью характеристики плотины 16 Тишрин представлены в таблице 2.1 [23, 165, 166].



Фотография плотины, сделанная программой Google Earth Pro



Трехмерная цифровая модель рельефа плотины была реализована программой Global Mapper 23.0

Рисунок 2.7 – Географическое положение водохранилища 16 Тишрин в водосборном бассейне р. Ал Кабир Ал Шамали (Построена автором по программе QGIS по данным цифровых моделей рельефа SRTM 30)

Таблица 2.1 – Технические характеристики плотины 16 Тишрин [10]

Характеристика плотины	Величина
Тип плотины	(Грунтовой плотины)
Допустимый уровень воды перед плотиной (м)	47
Орошаемая площадь из плотины (га)	19894
Начало инвестиций	1987-1988 г.
Средняя ширина озера (км)	1
Площадь водохранилища (км ²)	11,2
Длина водохранилища (км)	11,2
Полный объем водохранилища соответствует НПУ (млн.куб. м.)	210
Полезный объем водохранилища (млн.куб. м.)	120
Мертвый объем (млн.куб.м.)	90
Высота плотины (м)	52

Характеристика плотины	Величина
Ширина по верху плотины (м)	12
Длина плотины по верху (м)	915
Ширина базовой плотины (м)	245
Уровень мертвого объема (УМО) (м)	63,65
Нормальный подпорный уровень (НПУ) (м)	74,65
Форсированный подпорный уровень (ФПУ) (м)	78,4
Гребень (м)	81,65
Годовая норма осадков (мм)	1000
Дата завершения проекта	1986
Среднегодовой сток (млн.куб. м.)	325
Водосборный площадь реки Ал Кабир Ал Шамали (км ²)	1096

Цель строительства плотины 16 Тишрин:

- Орошение сельскохозяйственных земель в районах: Латакия - Аль-Хаффа - Кардаха – Джабле;
- Регулирование течения реки и изменение климата;
- Предотвратить наводнения зимой;
- Разведение рыбы.

Основные секции плотины:

1. Оросительный впуск (Irrigation Intake):

Представляет собой бетонный канал под телом плотины, полностью перпендикулярный оси тела плотины, поперечное сечение прямоугольное, размеры (2,5×2,1 м) и длина (180 м), расположен в начале плотины, уровень ее входа (52+м), максимальный расход (60 м³/с), на конце разделен в форме буквы (Y) на две части: одна часть соединяется с оросительным каналом с расходом (7 м³/с), а вторая часть сливает остальную воду в реку [166].

2. (Трансформируемая башня (Transforming tower)) Отводной канал (дренаж башни):

Представляет собой бетонный канал под телом плотины, слегка наклоненный по оси тела плотины в сторону востока под углом (56) градусов и состоящий из

двух проемов с прямоугольным поперечным сечением секции, размеры каждого проема (6,3×5м) и длина (270 м.) его уровень на входе - м (34), а он соединяется с ним спереди со сливной воронкой, его уровень - м (74,65). Максимальная пропускная способность составляет (900 м³/с), а практическое значение – (250 м³/с) (в зависимости от изменения уровня воды), и ее цель - сбросить воду сверх уровня (74,65 м), и урегулировать уровень воды в водохранилище [166].

3. Боковой водосброс:

Представляет собой открытый канал, расположенный в конце тела плотины с запада, слегка наклоненный к востоку под углом (51) градус и заканчивающийся тремя прямоугольными проемами, размеры каждого проема составляют (4,1×10) м, уровень входа (+66 м) и уровень порога водосброса (+67 м), пропускная способность воды 1770 м³/с., каждый проём оборудован основными и запасными воротами для обслуживания, а также с юга через него проходит автомобильный мост, а с севера — пешеходный мост.

Его назначение: предотвращение наводнений, контроль уровня воды и отвод лишней воды из каждого водовыпуска (оросительного тоннеля и отводящего канала) [166].

4. Оросительный тоннель:

Он состоит из подземного бетонного отверстия в форме подковы, размерами (3.1×3.1) м, уровнем входа (58) м и длина тоннеля (7,295 км), пропускает поток до (8) м³/с и соединяется своим концом с сетями второй очереди (северная равнина), достигая таким образом общего объема воды, который может быть сброшен с плотинных сооружений, м³/с (2740) [166].

$$1770+900+60+10=2740 \text{ м}^3/\text{с}$$

Сооружения, пристроенные к плотине:

1. Защита от выщелачивания
2. Приборы и средства автоматизации
3. Бассейны спокойствия
4. Трансферные центры
5. Сервисные мосты

6. Дренажный канал

Основные притоки в водохранилище 16 Тишрин представлены в таблице 2.2 и их местонахождение на рисунке 2.8.

Таблица 2.2 – Среднегодовая водообеспеченность притоков в водохранилище

Река АКАШ и ее русло	Среднегодовая водообеспеченность (Мли куб. м)
Река АКАШ	171
Ал-Асуад	3,86
Загаро	19,2
Остальные части правого берега водохранилища	6,4



Рисунок 2.8 – Местонахождение, основные притоки, водообеспеченность в водохранилище 16 Тишрин

2.3 Основные природные факторы влияющие на сток реки бассейна АЛ КАБИР АЛ ШАМАЛИ

Реки являются важнейшей частью гидрологического цикла Земли, перенося воду из больших высот в меньшие и в конечном счете в океан, море или озеро. На течение реки влияет целый ряд природных факторов, включая осадки, геологию, рельеф, климат и растительность [192]. Понимание того, как взаимодействуют эти факторы, может существенно помочь в разработке методов устойчивого

управления водными ресурсами и обеспечении водной безопасности в регионе. В этом очерке мы подробно рассмотрим эти факторы и опишем, как каждый из них влияет на речной сток реки АКАШ и влияет на него.

2.3.1 Основные климатические факторы в бассейне реки АЛ КАБИР АЛ ШАМАЛИ

Климатические особенности, включая осадки, температуру и испаряемость, оказывают значительное влияние на речной сток. Температура влияет на скорость испарения, что может уменьшить речной сток. В жарких и засушливых регионах, где испарение превышает количество осадков, речной сток может быть снижен или даже пересыхать. И наоборот, в более холодном климате, где осадки выпадают в виде снега, постепенное таяние снега весной может привести к увеличению речного стока. Климат также влияет на сроки и количество выпадающих осадков, что еще больше сказывается на режиме стока реки [71, 78, 194].

Дождь и температура:

Осадки являются одним из наиболее важных факторов, влияющих на речной сток в бассейне АКАШ в Сирии [234]. Осадки пополняют реки, которые, в свою очередь, поддерживают экосистемы бассейна и поддерживают человеческую деятельность, такую как сельское хозяйство и снабжение питьевой водой [26]. В бассейне средиземноморский климат, характер осадков в бассейне сильно варьируется: месяцы с наибольшим количеством осадков - Январь, Декабрь, Февраль, когда выпадает 482,2 мм осадков. Наибольшее количество осадков выпадает в январе, в среднем 180 мм осадков (рисунок 2.9) и (таблица А.3, рисунок А.3 и А.4 из приложения А). Расчетное среднегодовое количество осадков в бассейне в последние 42 года 883,8 мм. Распределение осадков в течение года различается. Зимний сезон считается самым дождливым, а летний - наименее дождливым. Осадки начинаются в сентябре и достигают своего пика в декабре и январе, затем они начинают снижаться, достигая минимума в летние месяцы июнь,

июль и август. Распределение осадков в течение года указывает на то, что 55-60% осадков выпадает зимой, 25% - весной, 15-20% - осенью, и только 0,5-2% - летом [104].

С другой стороны, среднее количество осадков меняется в зависимости от топографической высоты. В горных районах среднее количество осадков примерно на 50% больше, чем в прибрежных равнинных районах [59, 104].

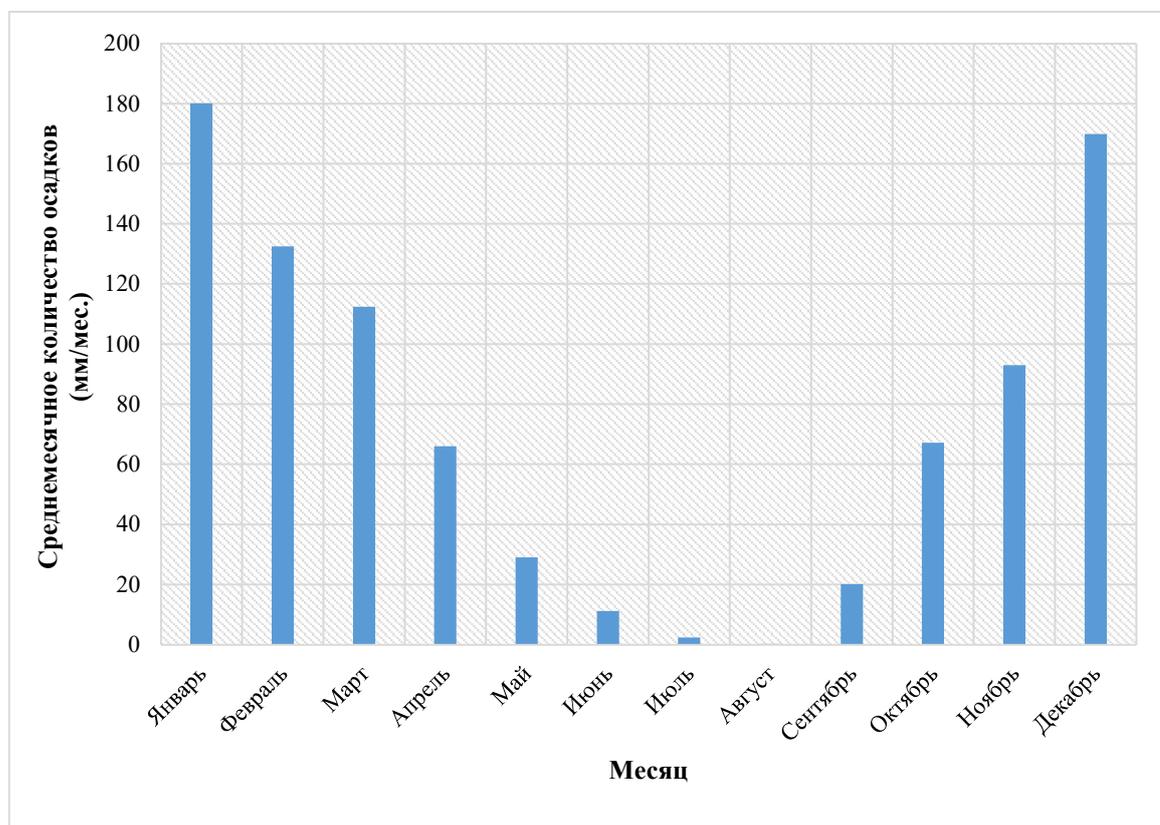


Рисунок 2.9 – Диаграмма среднемесячного количества осадков для района с 1981 по 2023 г. (построен автором в программе Microsoft Excel по данным CHIRPS Daily)

В целом бассейн реки АКАШ находится в зоне 1а на общей карте осадков в Сирии, где Сирия разделена на 5 зон (рисунок 2.10):

1. Первая зона: разделана на две части – первая со среднегодовыми осадками более 600 мм, а вторая от 350 до 600 мм, охватывает территорию 27000 км².
2. Вторая зона: среднегодовые осадки от 250 до 350 мм с общей площадью 25000 км².
3. Третья зона: среднегодовые осадки 250 с общей площадью 13000 км².
4. Четвертая зона: среднегодовые осадки от 150 до 250 мм с общей площадью 18000 км².

5. Пятая зона (Бадья): среднегодовые осадки менее 150 мм с общей площадью 102180 км² [86].

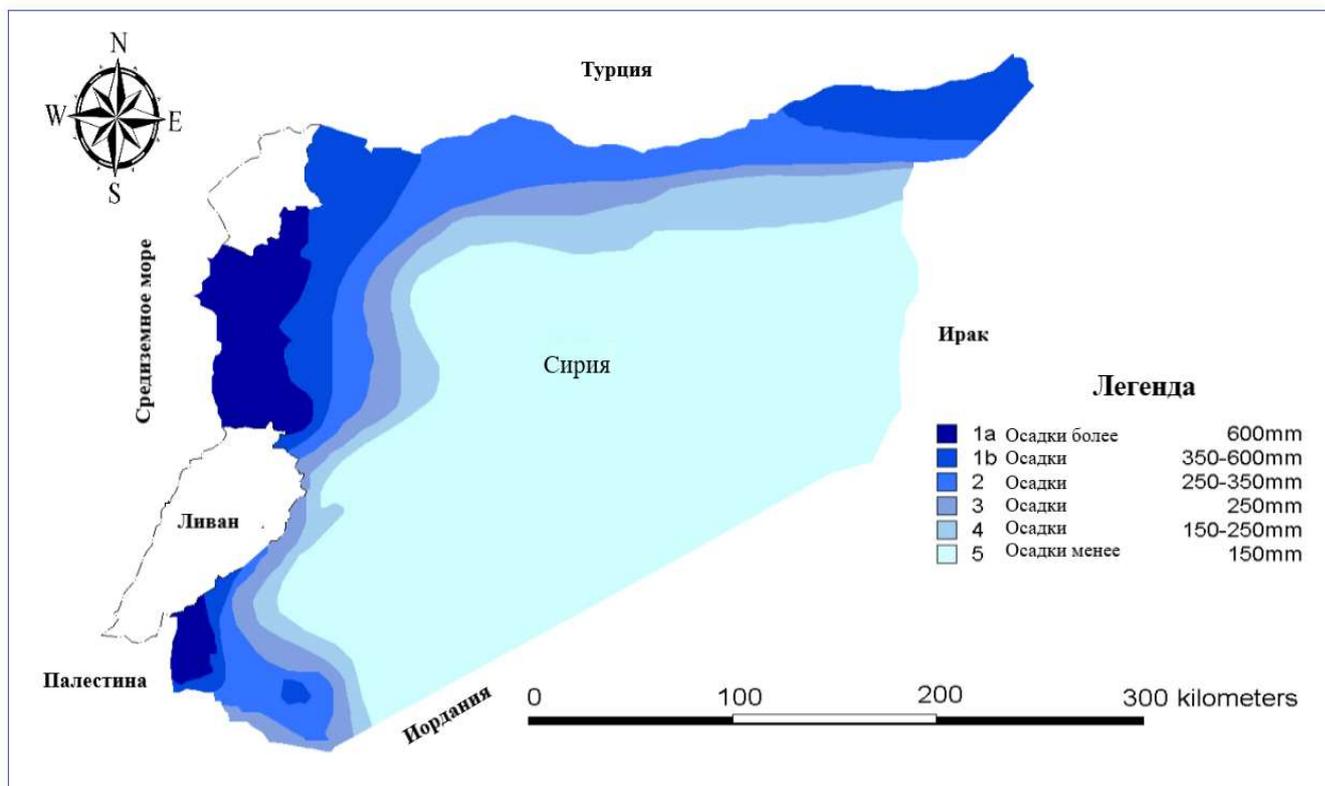


Рисунок 2.10 – Районирование Сирии по районам выпадения осадков

Температура является еще одним критическим природным фактором, влияющим на речной сток в бассейне АКАШ в Сирии. Температура влияет на скорость испарения и транспирации, что в конечном итоге определяет количество воды, поступающей в реки. Более высокие температуры связаны с более высокими темпами эвапотранспирации, что приводит к снижению доступности воды в реках [117].

Температура бассейна колеблется от 0°C до 30°C, причем самые высокие температуры отмечаются в летний сезон. Колебания температуры в бассейне являются одной из основных причин изменчивости речного стока. Высокие температуры в летний сезон приводят к увеличению суммарного испарения и снижению доступности воды, что может повлиять на экологические и антропогенные системы (рисунок 2.11), (таблица А.4, рисунок А.5 и А.6 из приложения А) [117].

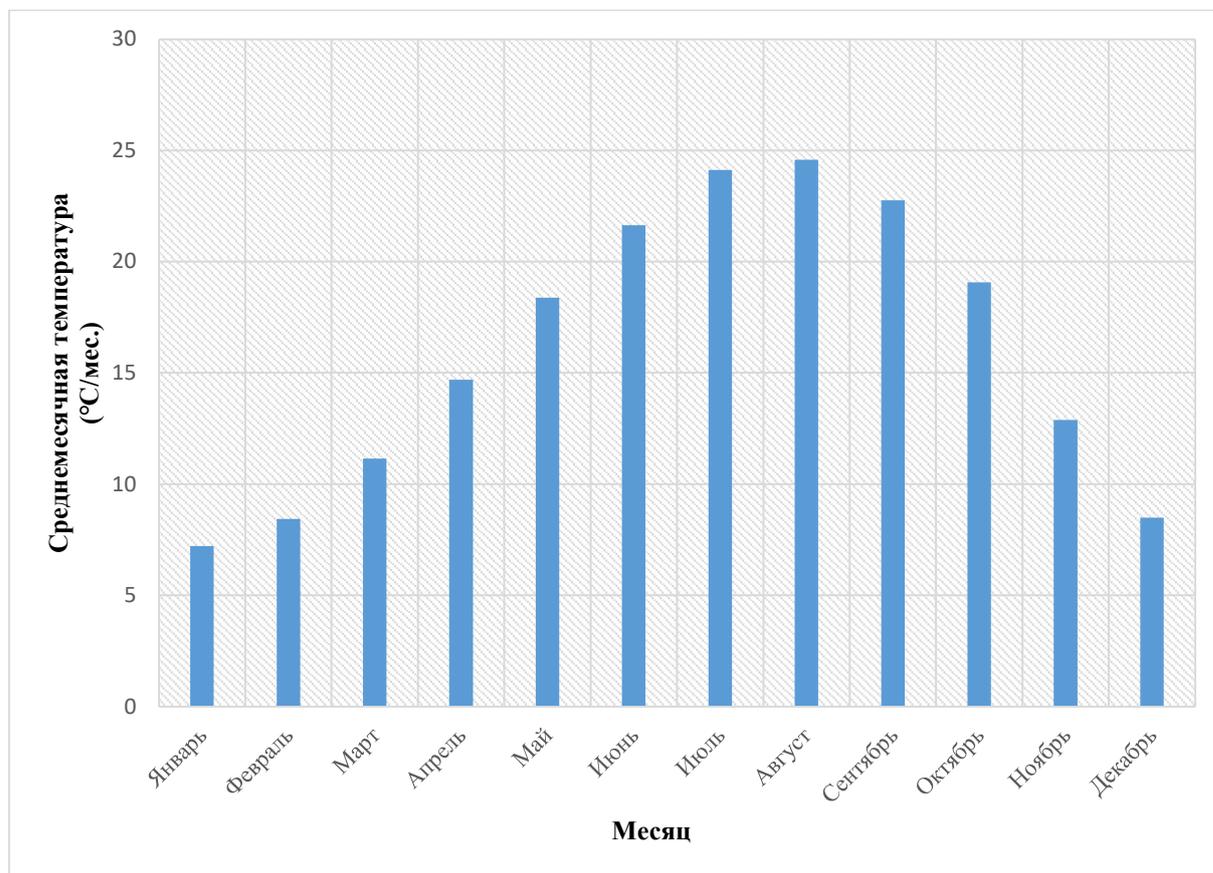


Рисунок 2.11 – Диаграмма среднемесячной температуры для района с 1979 по 2023 г. (построен автором в программе Microsoft Excel по данным ERA5 AG Daily)

Таким образом, характер осадков и температуры существенно влияют на речной сток в бассейне. Понимание этих закономерностей имеет жизненно важное значение для эффективного управления водными ресурсами и обеспечения устойчивого речного стока.

Влажность:

Влажность играет ключевую роль в воздействии на речной поток в бассейне АКАШ в Сирии. Она относится к количеству водяного пара, присутствующего в воздухе, и играет значительную роль в водном цикле. Влажность влияет на скорость испарения воды из почвы, растений и других поверхностей, что в конечном итоге влияет на объем воды в реках. Высокий уровень влажности означает снижение скорости испарения, что приводит к меньшей потере воды из бассейна. Напротив, низкий уровень влажности увеличивает скорость испарения и, как результат, уменьшает объем воды в реках [17]. Таким образом, влажность

играет жизненно важную роль в поддержании водного баланса в бассейне (рисунок 2.12).

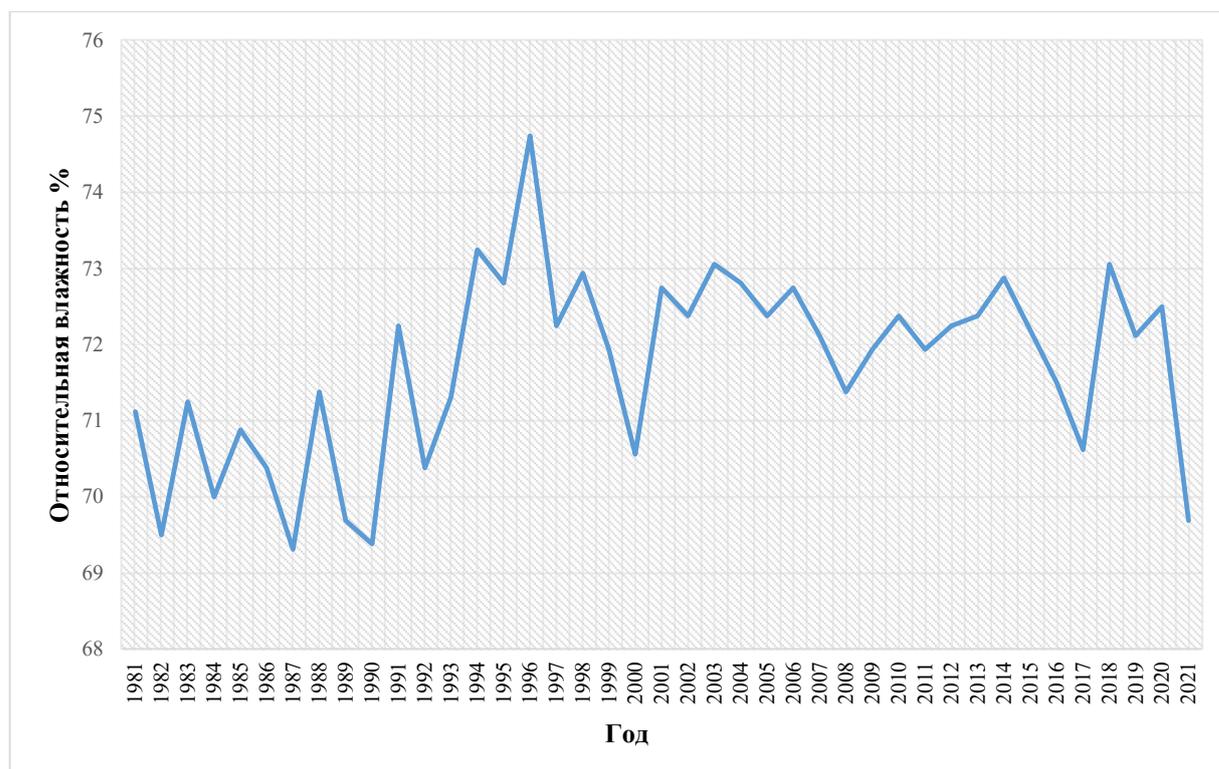


Рисунок 2.12 – График среднегодовой относительной влажности % для района с 1981 по 2023 г. (построен автором в программе Microsoft Excel Данные сайта Nasa Power)

Относительная влажность в исследуемом районе высокая из-за большого количества осадков и расположения на Средиземном море; где среднегодовая влажность 71,71% [234].

Эвапотранспирация:

Эвапотранспирация — важнейший процесс, влияющий на речной сток в бассейне АКАШ в Сирии. Это относится к комбинированному процессу испарения воды с таких поверхностей, как почва, водоемы и растительность, а также транспирации растениями [234].

Количество эвапотранспирации варьируется в зависимости от нескольких факторов, включая температуру, влажность, ветер и солнечную радиацию. Высокие температуры и низкий уровень влажности могут увеличить скорость эвапотранспирации, уменьшая количество воды, доступной для речного стока [162, 200, 213].

Изменения растительного покрова также могут влиять на скорость испарения. Растительность с высоким индексом листовой площади, как правило, имеет более высокую скорость транспирации, что может привести к снижению доступности воды. Аналогичным образом, изменения в землепользовании, которые приводят к вырубке лесов или урбанизации, могут изменить характеристики поверхности и повлиять на скорость испарения и речной сток [242].

Хотя эвапотранспирация может уменьшить количество воды, доступной для речного стока, она также играет решающую роль в круговороте воды и функционировании экосистемы. Она помогает регулировать температуру и поддерживает баланс влаги в атмосфере, способствуя общей стабильности климата. Кроме того, она поддерживает рост растений и поддерживает зависящие от воды экосистемы, такие как водно-болотные угодья и прибрежные территории [162, 200, 213].

Понимание процессов эвапотранспирации и их связи с речным стоком имеет важное значение для эффективного управления водными ресурсами в бассейне исследования [242]. Реализовывая стратегии по оптимизации использования воды и сокращению ненужных потерь из-за эвапотранспирации, возможно, удастся увеличить объем воды, доступной для речного стока, и поддержать речные экосистемы в долгосрочной перспективе, на территории бассейна р. АКАШ оценивается потенциальное испарение по 144 мм/мес. а эвапотранспирация по 41 мм/мес [57]. (рисунок 2.13), (таблица А.5, рисунок А.7 и А.8 из приложения А).

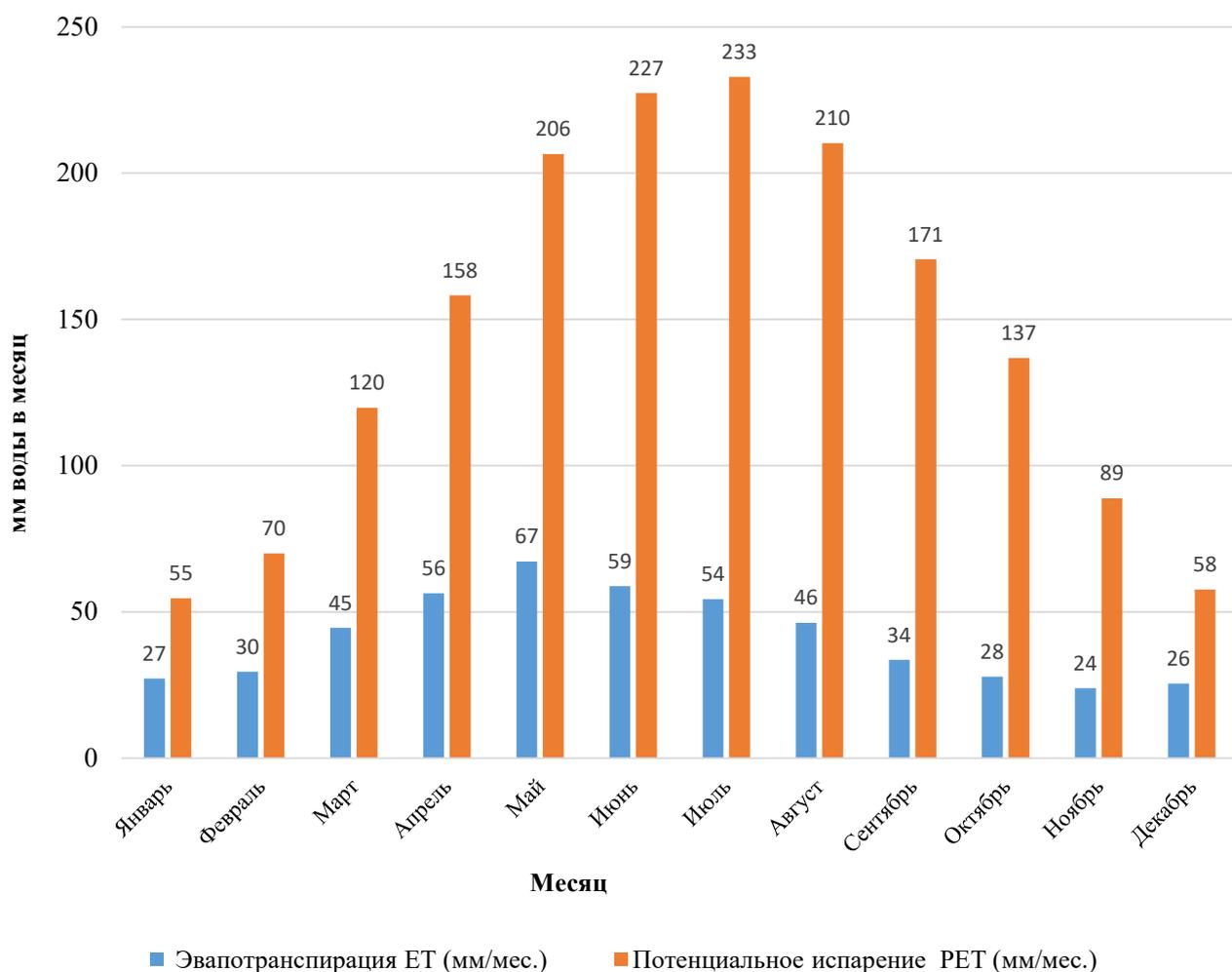


Рисунок 2.13 – Диаграмма среднемесячной эвапотранспирации и потенциального испарения из водосборного бассейна за период 2000–2022 гг. (построен автором в программе Microsoft Excel по данным MOD16A2GF_500m)

Важно также отметить роль ветра, влияющего на водный баланс и процесс испарения, где ветра могут увеличить скорость испарения. Когда дует ветер, он уносит молекулы воды из воздуха [2]. Это снижает влажность воздуха в зоне испарения, позволяя большему количеству молекул воды рассеиваться в воздухе [200], на рисунке представлены роза ветров в разных местах в пределах водосборного бассейна (рисунок 2.14).

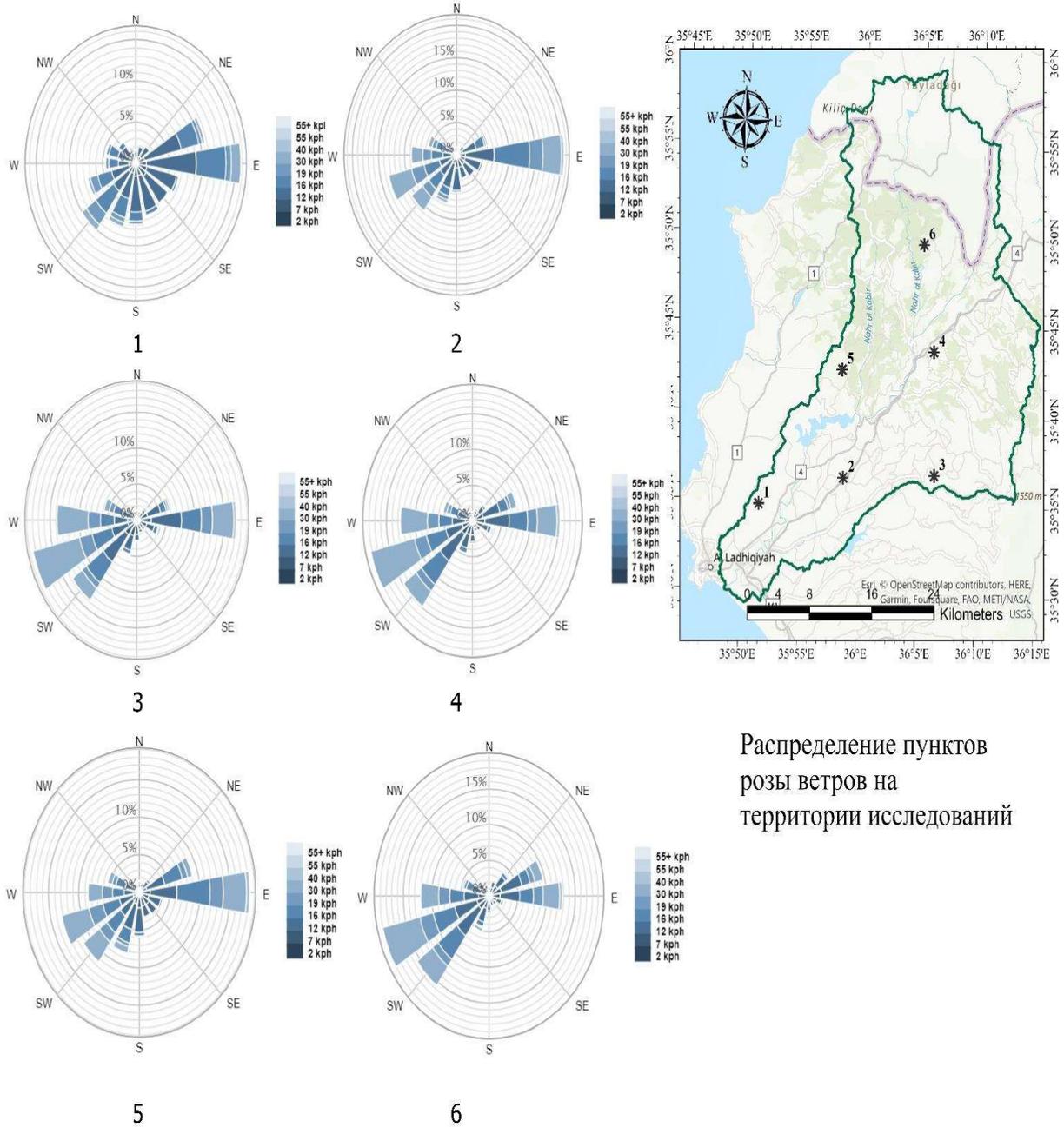


Рисунок 2.14 – карта объекта исследования с розой ветров в разных пунктах метеостанции (построен автором по программе ArcGis Pro)

2.3.2 Землепользование бассейн реки АЛ КАБИР АЛ ШАМАЛИ

Землепользование играет важную роль в гидрологическом цикле, понимание этой роли очень важно для устойчивого развития водных ресурсов водосборного бассейна АКАШ [74].

Тип землепользования сильно влияет на количество воды, которая может просачиваться в почву, по сравнению с количеством, которое становится стоком. Например, в городских районах с непроницаемыми поверхностями, такими как поверхности покрытые бетоном, асфальтом и т. д., сток относительно высок и инфильтрация низкая, а лесные территории наоборот [92, 222]. Также с точки зрения воздействия на испарение деятельности человека, такие как вырубка лесов и перевод земель из лесов в сельскохозяйственные угодья, приводит к изменению скорости испарения, а это в свою очередь, приводит к воздействию на количество водяного пара, который может вернуться в атмосферу [92, 222].

По берегам реки от истока до плотины 16 Тишрин раскинулись леса, занимающие почти около 85% общей площади. Это в северной и северо-восточной части, где растёт дуб, сосна, ель. Однако в холмистой местности, окружающей водохранилище 16 Тишрин, в основном распространено выращивание табака, а также различные фруктовые деревья, такие как яблоки, персики, инжир и груша [54, 234]. В пределах бассейна находятся более 270 застроенных территорий, помимо большого количества промышленных, экономических и туристических объектов и оливковых прессов (таблица 2.3 и рисунок 2.15).

Таблица 2.3 – Процент землепользование в пределах бассейн р. АКАШ

Вид землепользования	Процент %, из общей площади водосборного бассейна
Бесплодная земля	0,3
Застроенная территория	11,4
Сельскохозяйственные культуры	7,3
Пастбища (Кустарник)	45,2
Смешанный лес	34,7
Вода	1,1

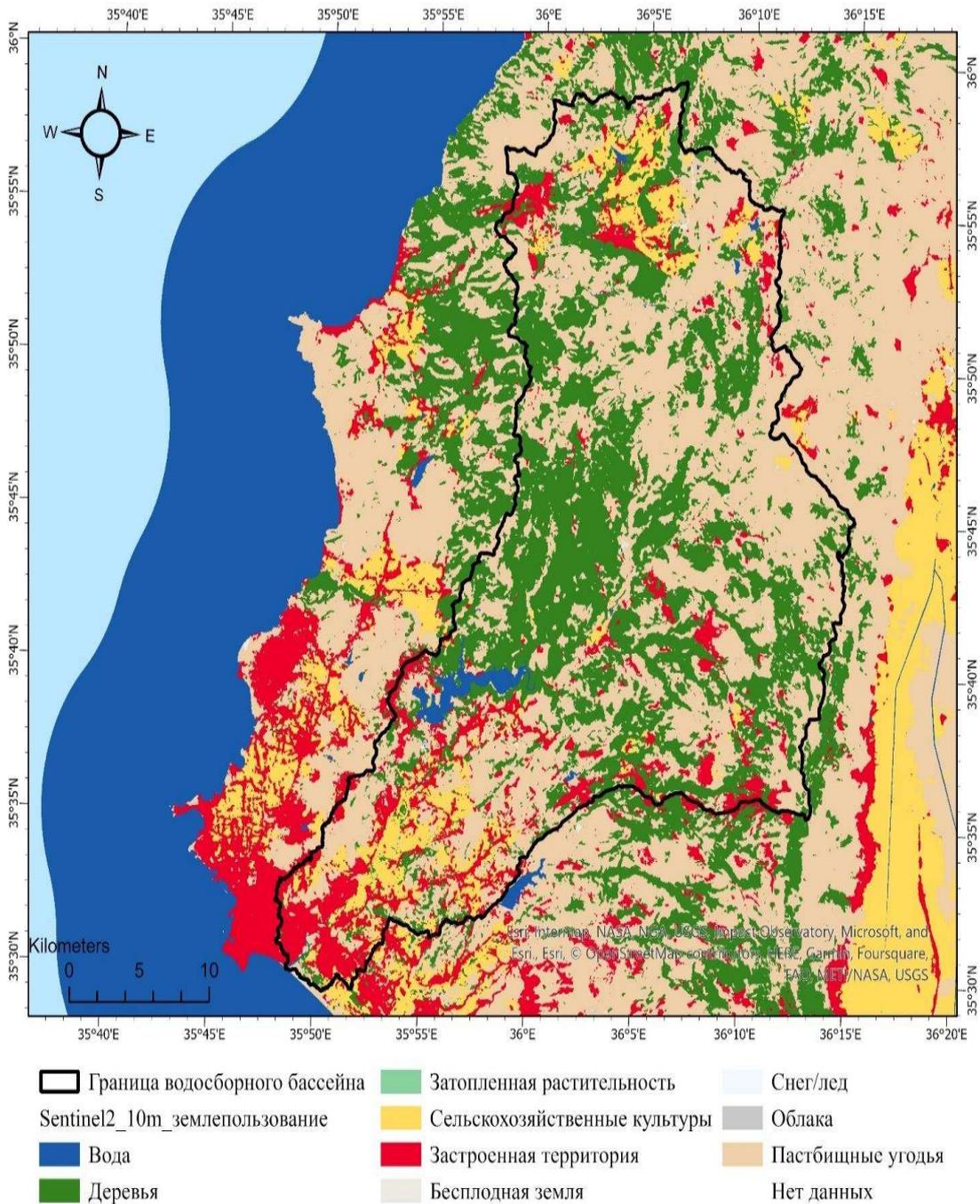


Рисунок 2.15 – Карта землепользования объекта исследования (построен автором по программе ArcGis Pro по данным ESRI 2023г)

2.3.3 Почва и геология бассейна реки АЛ КАБИР АЛ ШАМАЛИ

Почва является важной частью гидрологического цикла бассейна реки АКАШ. Почва является средой обитания растений и имеет решающее значение для

разных биологических, химических и физических процессов, влияющие на поток, хранение и качество воды. Поскольку почва может накапливать воду из талого снега или осадков и постепенно высвобождать ее в поверхностные реки и ручьи, почва служит местом хранения воды. Это способствует сокращению стока и наводнений после сильных дождей и обеспечивает рекам и ручьям постоянный запас воды в засушливые периоды [98, 158].

Способность почвы к инфильтрации и запас воды зависит от ее консистенции, структуры и содержания органических веществ, стоит отметить, что, когда количество осадков превышает способность почвы поглощать воду или просачиваться в грунтовые воды, это приводит к поверхностному стоку [98, 158].

Почва играет стратегическую и жизненно важную роль в регулировании стока и распределения воды в водосборном бассейне. Она влияет на сроки и объем поверхностного стока, доступность воды для роста растений и пополнение запасов подземных вод. Поэтому для понимания гидрологические процессы любого водосборного бассейна, необходимо изучить структуры, свойства почвы и определить гидрологические группы, чтобы правильно и эффективно управлять водными ресурсами в районе [98, 133].

Что касается свойства почвы бассейна реки АКАШ (рисунок 2.16), как показано на карте часть номер 1 и 3 почва глины (светлая), а номер 2 почвы суглинок. Почва водосборного бассейна относится к гидрологическим группам D & B, где группа (B) почвы имеют умеренную скорость просачивания, когда они полностью влажные, и умеренную скорость переноса воды, а группа (D) почвы имеют очень низкую скорость фильтрации, когда они полностью влажные, и очень низкую скорость переноса воды.

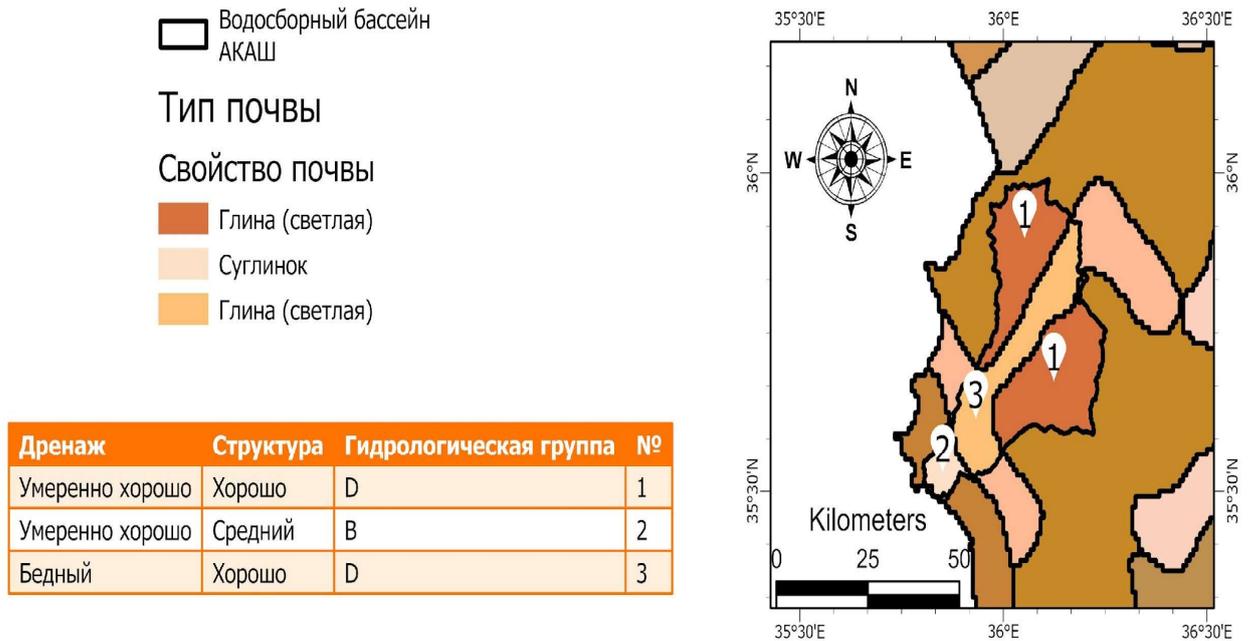


Рисунок 2.16 – Карта свойств почвы объекта исследования (построен автором по программе ArcGis Pro по данным ФАО организации)

Что касается сложившейся геологии, то в регионе выявлены осадочные отложения, относящиеся к разным геологическим эпохам, где на большей части земель бассейна, помимо Диагенетических известняковых образований, в юго-восточной окрестности бассейна преобладают Офиолитовые образования (зеленые породы) [166]. Эти образования относятся:

- Докембрийская эпоха
- Триасовый и Юрский периоды.
- Меловой период
- Палеогеновый период
- Эоценовый период
- Неогеновая эпоха
- Четвертичный период Q

Наклоны котловин уменьшаются сверху вниз и практически стабилизируются на уровне м (+100) [166].

Вывод по главе 2

Очень важно для любого научного исследования, точно определить и объяснить территорию исследования, ее важность и стратегическое положение на общей карте в целом, а также выявить схожие области, по климатическим и морфологическим характеристикам, с целью применения результатов, которые могут быть получены в других областях, не имеющие физических измерений по каким-либо причинам, которые могут быть более экономичными и более продуктивными из соображений безопасности и т. д.

Из вышеизложенного, мы можем сказать, что Сирию можно разделить на три региона, которые имеют одинаковые морфологические, климатические и почвенные характеристики:

1. Регион долины Евфрата аналогичен северо-восточным частям по обилию воды и плодородию почвы.
2. Прибрежные горы и полугорные высокогорья на северо-востоке схожи по высоте и пересеченной местности.
3. Пустыня Левант и пустыня Хаммад похожи тем, что здесь мало осадков и сухой климат.

Мы также предоставили точное описание бассейна реки АКАШ в связи с его полными природными характеристиками, включая климатические условия, почвы и землепользования, а также предоставили описание гидротехнических сооружений расположенных на реке, поскольку это важно при применении гидрологических моделей в различных программах, а также в решении проблем, от которых страдают эти объекты такие как потери на испарение и загрязнение.

Итак, в заключение этой главы можно сказать, что создана база данных по бассейну реки АКАШ для гидрологического моделирования, были найдены аналогические объекты, расположенные на территории САР.

ГЛАВА 3. ГИДРОЛОГИЧЕСКИЙ И МОРФОМЕТРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ОБЪЕКТА ИССЛЕДОВАНИЙ НА ОСНОВЕ ЦМР И ГИС ТЕХНОЛОГИИ.

3.1 Морфометрические характеристики бассейна реки АЛ КАБИР АЛ ШАМАЛИ и их влияние на формирование стока

Морфометрический анализ речных бассейнов АКАШ позволяет получить важные сведения о гидрологических и геоморфологических характеристиках, которые имеют непосредственное отношение к плотинам 16 Тишрин и управлению водным ресурсами в бассейне.

Морфометрический анализ включает в себя измерение и математический анализ формы, размеров и топографических особенностей речного бассейна и дренажной сети. Он позволяет получить количественную информацию о таких характеристиках бассейна, как порядок течения, коэффициент бифуркации, площадь бассейна, наклон, плотность и частота дренажа.

Морфометрические параметры позволяют получить критическое представление о гидрологических и эрозионных свойствах речного бассейна. Это имеет большое значение для плотины:

Коэффициент густоты речной сети и частота ручьев указывают на потенциал поверхностного стока. Высокие значения означают больший сток, что требует большей проектной мощности плотины.

Коэффициент бифуркации является показателем риска наводнений. При высоких значениях коэффициента необходимо проектировать надежные водосбросы для защиты от наводнений.

Коэффициент циркуляции и коэффициент удлинения определяют пиковые расходы. Круглые бассейны с высокими пиковыми расходами требуют более мощных плотин.

Рельеф и морфометрия склонов характеризуют интенсивность эрозии. Крутые бассейны с высоким рельефом имеют большую нагрузку на наносы, что влияет на емкость водохранилища плотины.

Порядок течения в главном русле отражает объем стока. Более высокий порядок означает более крупные плотины и водохранилища.

Площадь бассейна напрямую связана с водообеспеченностью и требованиями к размерам плотины.

Таким образом, морфометрический анализ позволяет инженерам получить количественные данные о гидрогеоморфных свойствах бассейна, которые влияют на размеры плотины, объемы водохранилища, водосбросные способности и аспекты управления наносами.

Кроме того, морфометрические параметры позволяют судить о стадии геоморфологического развития и устойчивости бассейна. Молодые, активно разрушающиеся бассейны требуют адаптивного управления плотинами, в отличие от зрелых, стабильных бассейнов [95, 147, 223].

Для формирования рек морфометрия показывает:

Высокая плотность стока ускоряет вертикальную эрозию потоков и углубление долин, создавая V-образные молодые долины.

Низкий коэффициент бифуркации и рельеф свидетельствуют о зрелой стадии развития рек с широкими поймами и меандрирующими руслами.

Вытянутые бассейны с малыми наклонами создают более параллельную, боковую планировку, чем врезание рек.

Частота стока коррелирует с текстурой сети притоков. Высокая частота приводит к образованию плотных, мелководных притоков.

Таким образом, морфометрический анализ позволяет лучше понять факторы, определяющие формирование рек - вертикальные или боковые врезы, меандры или относительно прямые русла. Эти знания помогают в обучении речному делу, проектировании и борьбе с наводнениями.

Таким образом, морфометрический анализ позволяет количественно оценить физические характеристики бассейна, которые оказывают решающее влияние на

требования к проектированию плотин, планированию водохранилищ, а также на процессы развития рек. Он является фундаментальным инструментом для инженеров-гидротехников и геоморфологов, занимающихся проектами, связанными с реками и плотинами [6, 9, 95, 147].

3.1.1 Характеристики формы бассейна

Коэффициент округлости (Циркулярность) – отношение относится к близости или расхождению формы бассейна с круглой формой, и его значение ограничено между 0 и 1. Высокие значения, близкие к 1, обычно указывают на наличие круглых форм водоемов. Низкие значения, близкие к нулю, указывают на то, что бассейн отходит от круглой формы и приближается к прямоугольной. Выражается как отношение площади бассейна к площади круга, длина окружности которого равна длине окружности бассейна. Вычисляется по формуле [226]:

$$CR = \frac{A}{A_0} \quad (3.1)$$

Где: CR – Коэффициент округлости; A – Площадь бассейна, км²; A_0 – Площадь круга, длина окружности которого равна окружность бассейна A_0 , км².

Параметр формы бассейна: представляет собой отношение квадрата длины бассейна к площади бассейна, и его значение всегда больше единицы. Чем значение больше единицы, тем форма бассейна приближается к круглой и расход в нем высокий [226]. Вычисляется по формуле:

$$BSF = \frac{L^2}{A} \quad (3.2)$$

Где: BSF – параметр формы бассейна; L^2 – квадрата длины бассейна, км.

Коэффициент формы (S): показывает согласованность общей формы различных частей бассейна [226]. Вычисляется по формуле:

$$S = \frac{A}{L^2} \quad (3.3)$$

Результат характеристики формы бассейна представлены в таблице 3.1.

3.1.2 Топографические характеристики водосборных бассейнов

Коэффициент рельефа – отношение считается одной из важнейших особенностей топографии бассейна и представляет собой величину разности между самой высокой и самой низкой точками бассейна ΔH и длиной бассейна L [226]. Это отношение велико в высоких площадях и уменьшается по мере того, как земли становятся плоскими:

$$RR = \frac{\Delta H}{L} \quad (3.4)$$

Где: RR – коэффициент рельефа; ΔH – разность между самой высокой точка в бассейне и устья; L – длина бассейна, км.

Значение числа шероховатости – важным показателем, который обобщает взаимодействие между углублением и поверхностью водосборного бассейна. Это также полезный показатель для связи морфометрических характеристик водосборного бассейна и верхней части паводкового дренажа [226]. Показатель шероховатости извлекается согласно следующему уравнению:

$$\text{ЧШ} = \frac{D \times \Delta H}{P} \quad (3.5)$$

Где: ЧШ – Число шероховатость; P – периметр бассейна, км; D – Коэффициент густоты речной сети.

Гипсометрический интеграл – выражает относительную связь между относительной высотой и относительным расстоянием любой высоты в водосборном бассейне, а также является мерой времени, показывающей стадию эрозионного цикла, через которую проходит бассейн. Он также показывает количество скального материала, потерянного бассейном, и количество, ожидающее своей очереди для удаления в результате различных процессов эрозии.

Цикл эрозии выражает общее время, необходимое для понижения топографии земли до базового уровня, то есть самого низкого уровня, и его можно разделить на три стадии, где первая стадия представляет собой стадию молодости, в которых гипсометрический интеграл больше 0,6, а различные формы гипсометрических кривых можно оценить путем сравнения различных

водосборных бассейнов и бассейнов классифицированных по этапам геоморфологического развития, что касается второй стадии, то она представляет собой стадию зрелости или равновесия, и гипсометрический интеграл на этой стадии достигает (0,3-0,6), последняя стадия она представляет собой стадию старости, при которой водоем достиг стадии стабильности, а гипсометрический интеграл меньше 0,3 (рисунок 3.1) [223]. Вычисляется по формуле:

$$HI = \frac{(\text{Средняя высота} - \text{минимальная высота})}{(\text{Максимальная высота} - \text{минимальная высота})} \quad (3.6)$$

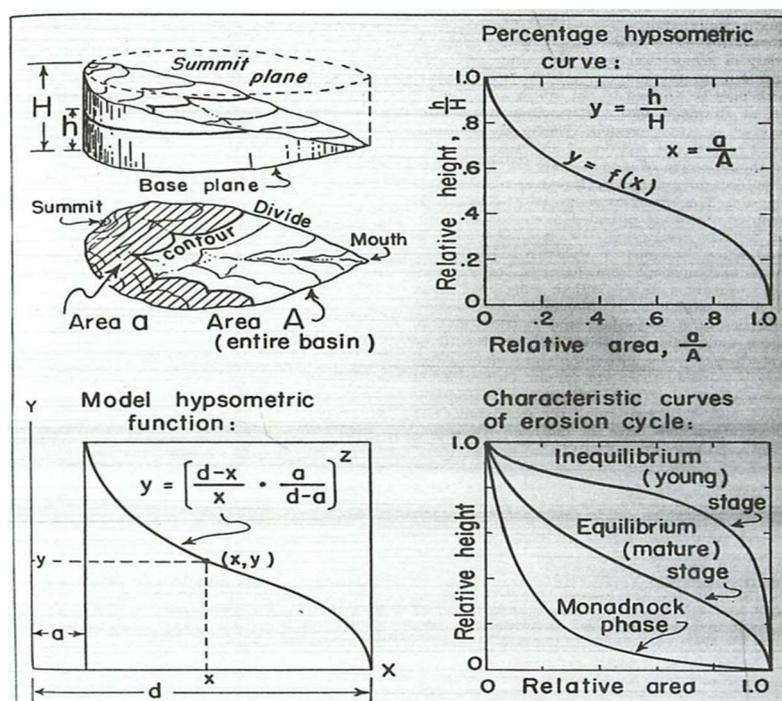


Рисунок 3.1 – Метод гипсометрического анализа [223]

Форма кривой гипсометрической:

Водные бассейны исследуемого района различаются по форме гипсометрической кривой, так как водоемы малой площади имеют выпуклую форму, а гипсометрические кривые с вогнутой формой связаны с бассейнами крупных рек [141].

Формы гипсометрической кривой и стадия эрозии, через которую она проходит (рисунок 3.2) [163].

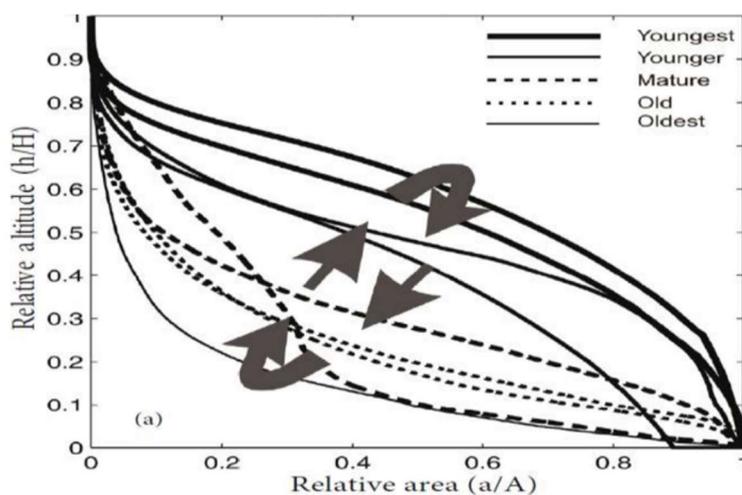


Рисунок 3.2– Формы гипсометрической кривой [163]

$$\text{Гипсометрическая кривая} = \frac{\text{Относительная высота } (h/H)}{\text{Относительная площадь } (a/A)} \quad (3.7)$$

Для объекта исследования гипсометрическая кривая составляет 1,9, а гипсометрический интеграл 0,42 это значит, что объект проходит стадию зрелости (рисунок 3.3).

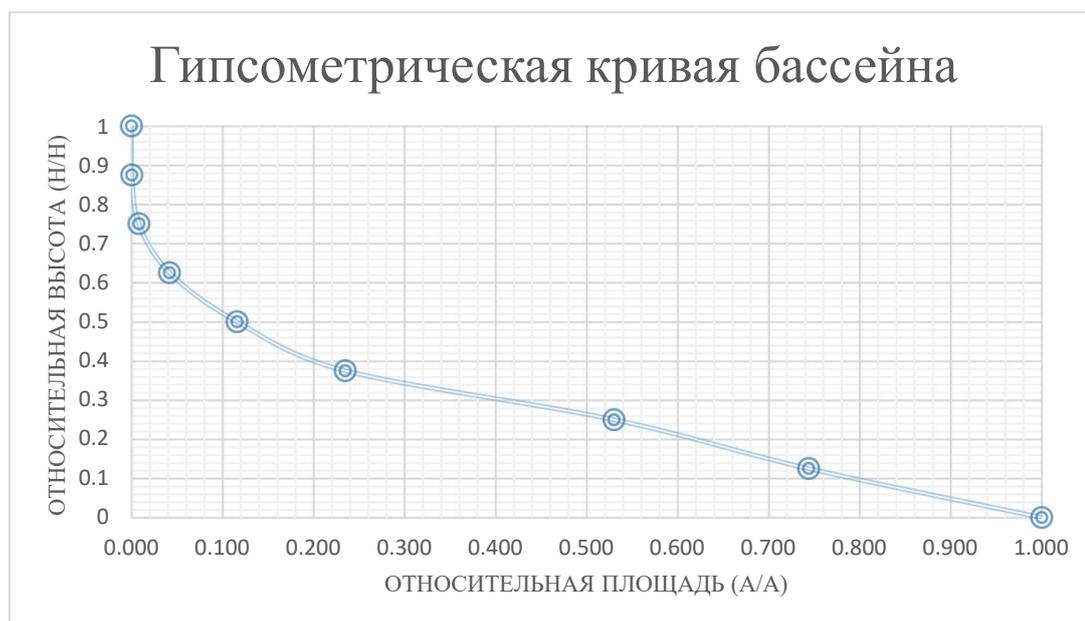


Рисунок 3.3 – Гипсометрическая кривая бассейна реки Ал Кабир Ал Шамали

Наклон (градусы) – чем больше наклон земной поверхности, тем больше скорость движения поверхностного стока, а значит, степень концентрации будет больше и пик паводка будет больше. В ходе данного исследования регрессия была рассчитана в каждой точке модели водосборного бассейна путем применения

метода клеточного (Raster) анализа к данным модели, выделенным разными цветами. Где каждая ячейка принимает значения наибольших наклонов, которые выражают величину изменения высоты между каждой ячейкой и соседней ячейкой, и чем больше наклон, тем больше высота в области и наоборот, чем меньше наклон, область становится близкой к плоской форме, наклон и диаграмма, показывающая процент каждого класса наклона (рисунок 3.4).

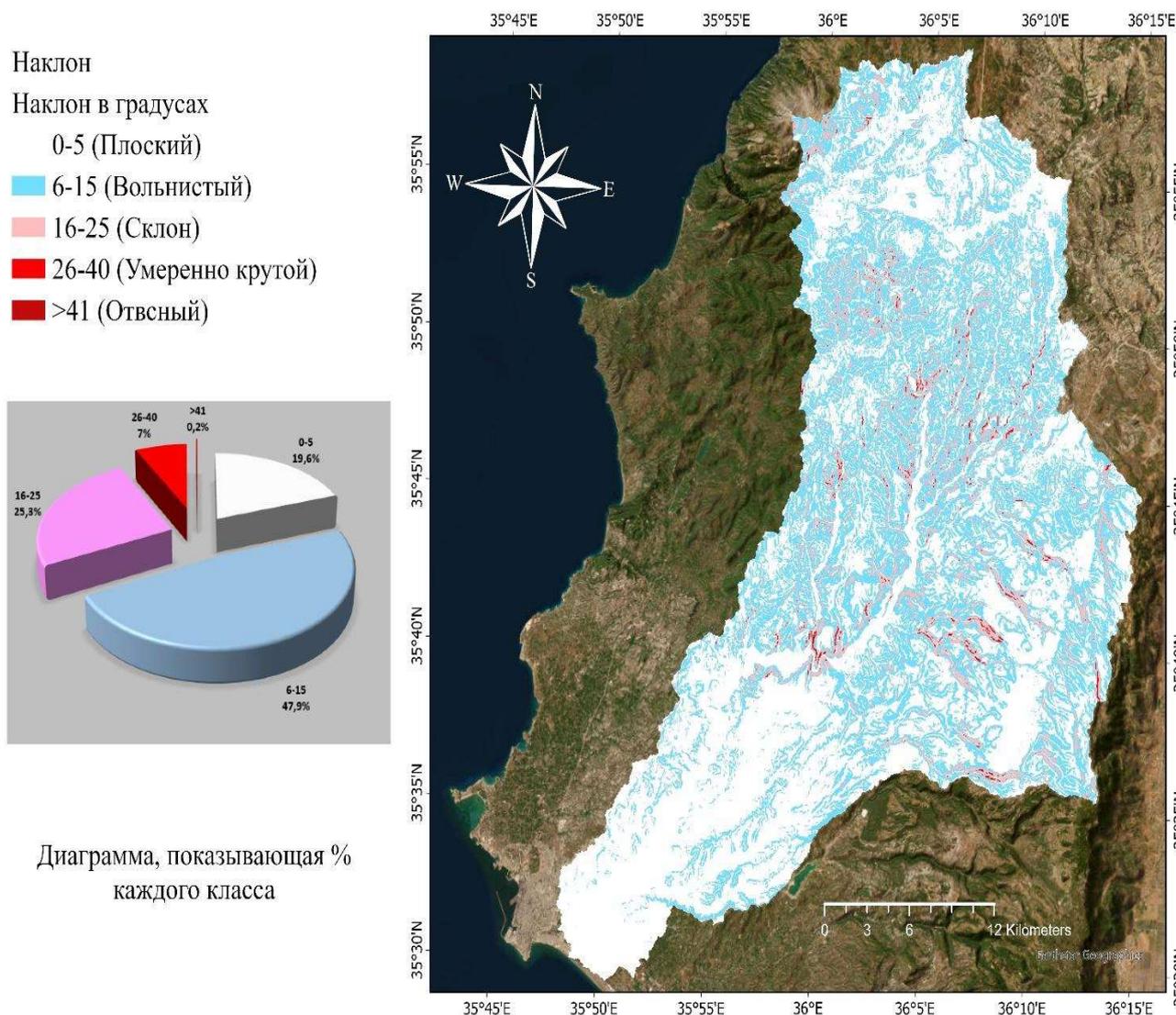
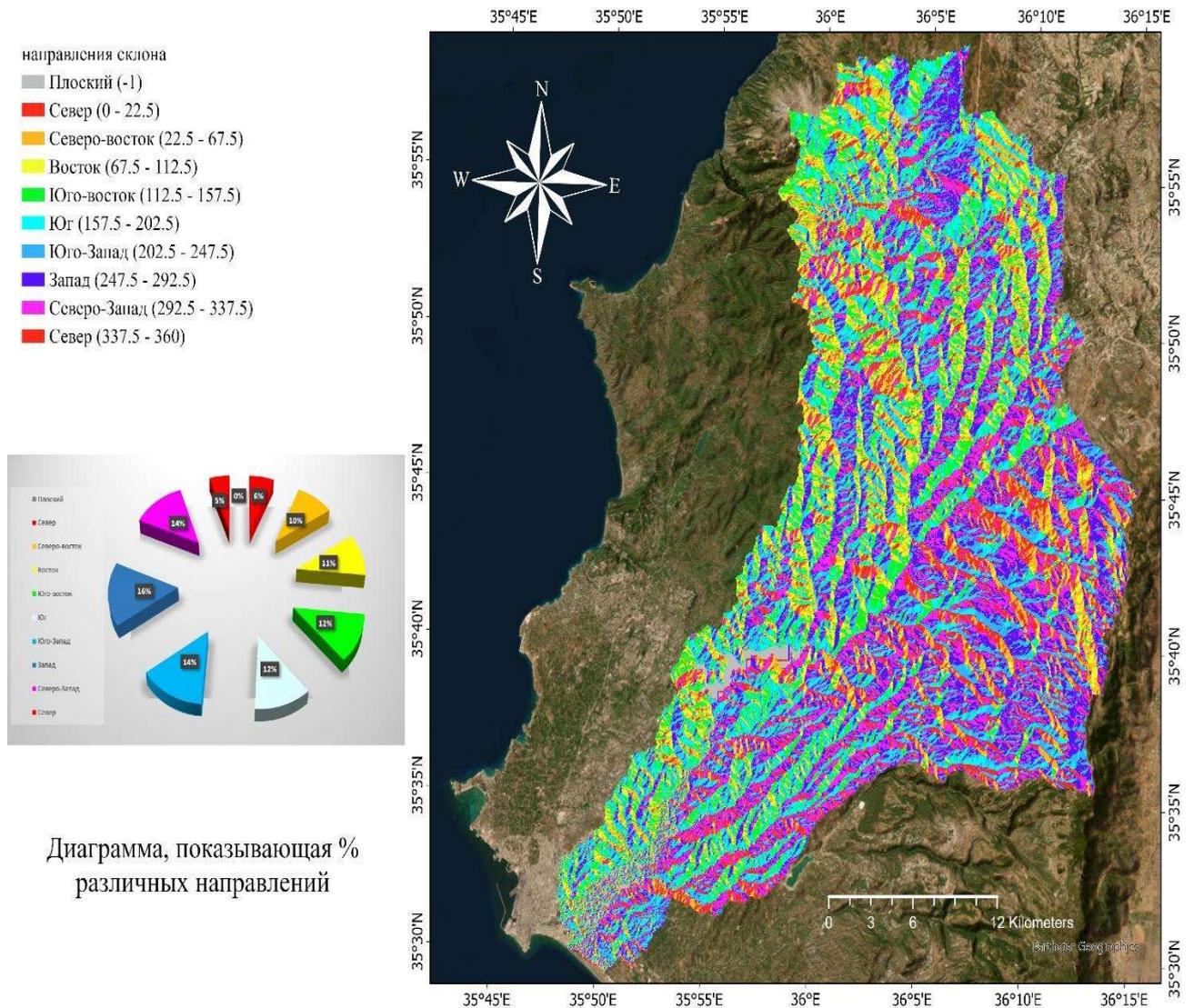


Рисунок 3.4 – Карта наклона (градусы) и диаграмма, показывающая % каждого класса наклона (построен автором по программе ArcGis Pro по данным ЦМР ASTER V3)

Направление склона – речь идет о внешнем виде или ориентации формы по отношению к четырем направлениям. Поскольку внешний вид (Аспект) относится к более крутым участкам направления наклона в определенном положении или

месте, а направление наклона означает поверхность возвышенной области или склон горы (Лицо горы). Направление склона измеряется по часовой стрелке в градусах, начиная с севера на нулевом градусе, затем снова заканчивая на севере, чтобы выполнить полный поворот на 360 градусов для каждой ячейки в цифровой модели рельефа (рисунок 3.5).



Диаграмма, показывающая % различных направлений

Рисунок 3.5 – Карта направления склона и диаграмма, показывающая % различных направлений (построен автором по программе ArcGis Pro по данным ЦМР ASTER V3)

Морфометрический параметр бассейна: просмотр вертикального профиля вдоль заданного пути с использованием потенциальных данных о высоте (рисунок 3.6).

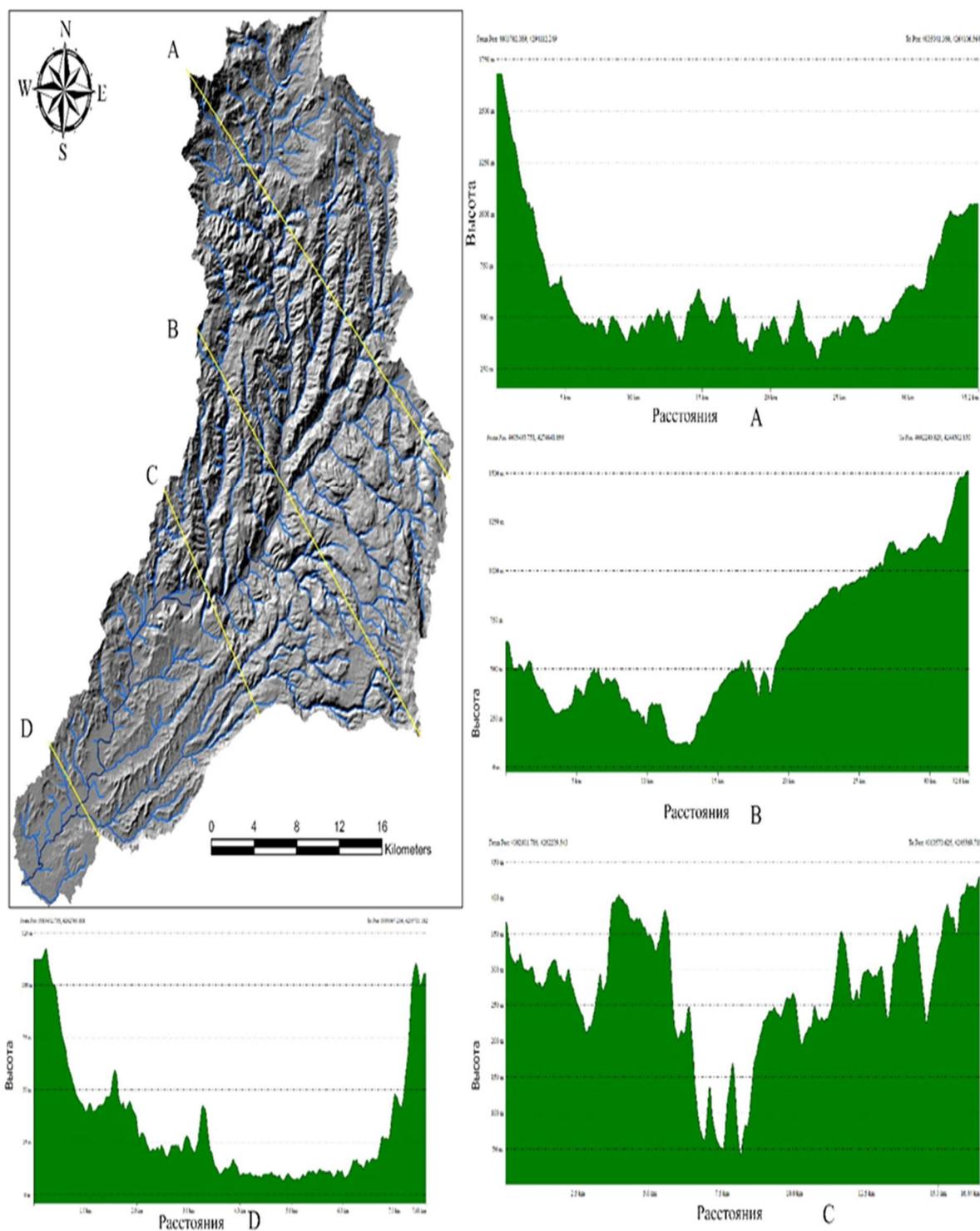


Рисунок 3.6 – Карта морфометрических параметров Бассейна Ал Кабир Ал Шамали, полученные из ASTER DEM построен автором по программе Global Mapper и ArcGis pro, представляет карту отмывки рельефа, вид отмывки рельефа с водотоками и профили (А, В, С, D) разреза. (построен автором по программе Global Mapper по данным ЦМР ASTER V3)

Результат топографических характеристик водосборных бассейнов представлены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – результаты пространственных характеристик бассейна для места исследования по данным ЦМР [5]

Пространственные характеристики	Величина	Способ решения	Значение параметров
Площадь бассейна А, км ²	1096	Через программу ARCGIS PRO из файла ЦМР (ASTER V3) для объекта исследования	Значение площади бассейна как морфометрической переменной проявляется во влиянии на объем стока воды в пределах речного бассейна, где существует прямая зависимость между площадью каждого бассейна и объемом стока воды в речную дренажную сеть.
Периметр Р, км	204,60	Через программу ARCGIS PRO из файла ЦМР (ASTER V3) для объекта исследования	Это связано со многими другими морфометрическими характеристиками, такими как форма бассейна, удлинение и округлость.
Длина бассейна L, км	60,54	Расстояние между самой дальней точкой бассейна и устьем, которая получена через программу.	Помогает решить другие характеристики дренажной системы бассейна.
Длина основного потока (Река), км	86,824	Через программу ARCGIS PRO из файла ЦМР (ASTER V3) для объекта исследования	Помогает решить другие характеристики дренажной системы бассейна.
Максимальная высота, м	1700	Из контурной карты, извлеченной из ЦМР	Помогает получить гипсометрическую кривую бассейна
Минимальная высота, м	0	Из контурной карты, извлеченной из ЦМР	Помогает получить гипсометрическую кривую бассейна

Пространственные характеристики	Величина	Способ решения	Значение параметров
Общая длина речных русел, км	811,02	Через программу ARCGIS PRO из файла ЦМР (ASTER V3) для объекта исследования	Помогает решить другие характеристики дренажной системы бассейна.
Ширина бассейна, км	18,104	Ширина бассейна = A/L	При определении формы бассейна по соотношению длины к ширине бассейна.
Коэффициент округлости (Циркулярность) (CR)	0,329	Через уравнение номер (3.1)	Величина ближе к нулю, это значит, что форма бассейна ближе к прямоугольнику
Параметр формы бассейна (BSF)	3,34	Через уравнение номер (3.2)	-
Площадь круга, длина окружности которого равна окружности бассейна A_0 , км ²	3329,8	Рассчитывается из отношения длины окружности и площади круга. $P = D\pi$ $A = \pi R^2$	Помогает решить другие характеристики дренажной системы бассейна.
Коэффициент формы	0,299	Через уравнение номер (3.3)	Низкое значение указывает на то, что бассейн далеко не полностью однороден. Также низкое значение указывает на отсутствие однородности между площадью сброса и продолжением водных путей. В высокогорных районах бассейн имеет относительно круглую форму, а ниже по течению – прямоугольную (рис. 12).
Гипсометрический интеграл	0,42	Через уравнение номер (3.6)	-

Пространственные характеристики	Величина	Способ решения	Значение параметров
Гипсометрическая кривая	1,9	Через уравнение номер (3.7)	-
Коэффициент рельефа м/км	28	Через уравнение номер (3.4)	-
Число шероховатость	6,18	Через уравнение номер (3.5)	Маленькое значение показывает то, что плотность дренажа и коэффициент рельефа маленькие, а площадь бассейна большая
Константа выживания потока	1.35	Через уравнение номер (3.11)	-

3.1.3. Параметры водосборных бассейнов

Методом, используемым в количественном анализе для изучения характеристик водосборных бассейнов в районе исследования, является метод (Strahler) и некоторые другие методы, где морфометрический анализ относится ко всем стандартным характеристикам бассейнов, которые являются результатом проведения определенных измерений водных бассейнов. А морфометрические характеристики бассейнов напрямую связаны с такими природными факторами, как окружающая среда, климат и покровная растительность, и любыми их изменениями.

Порядок водотока: Процесс определения порядка водотока, из которого состоят бассейны, полезен для изучения объема водооттока, характерного для каждого бассейна. Это позволяет оценить способность этих бассейнов к эрозии и седиментации, что, в свою очередь, снижает их влияние на различные виды землевладения как в пределах бассейна, так и на прилегающих территориях.

Высокие порядки водотока указывают на движение воды в зонах с низким градиентом и проницаемостью. Средние порядки встречаются в районах со

средним и высоким градиентом поверхности; если количество средних порядков велико, это может свидетельствовать о наличии твердых горных пород. Низкие порядки (первый и второй) располагаются на скалистых крутых обрывах; их количество обычно велико, поскольку вода в этих потоках течет быстро. Первые порядки характеризуются небольшой длиной по сравнению с остальными порядками в исследуемой области (рисунок 3.7).

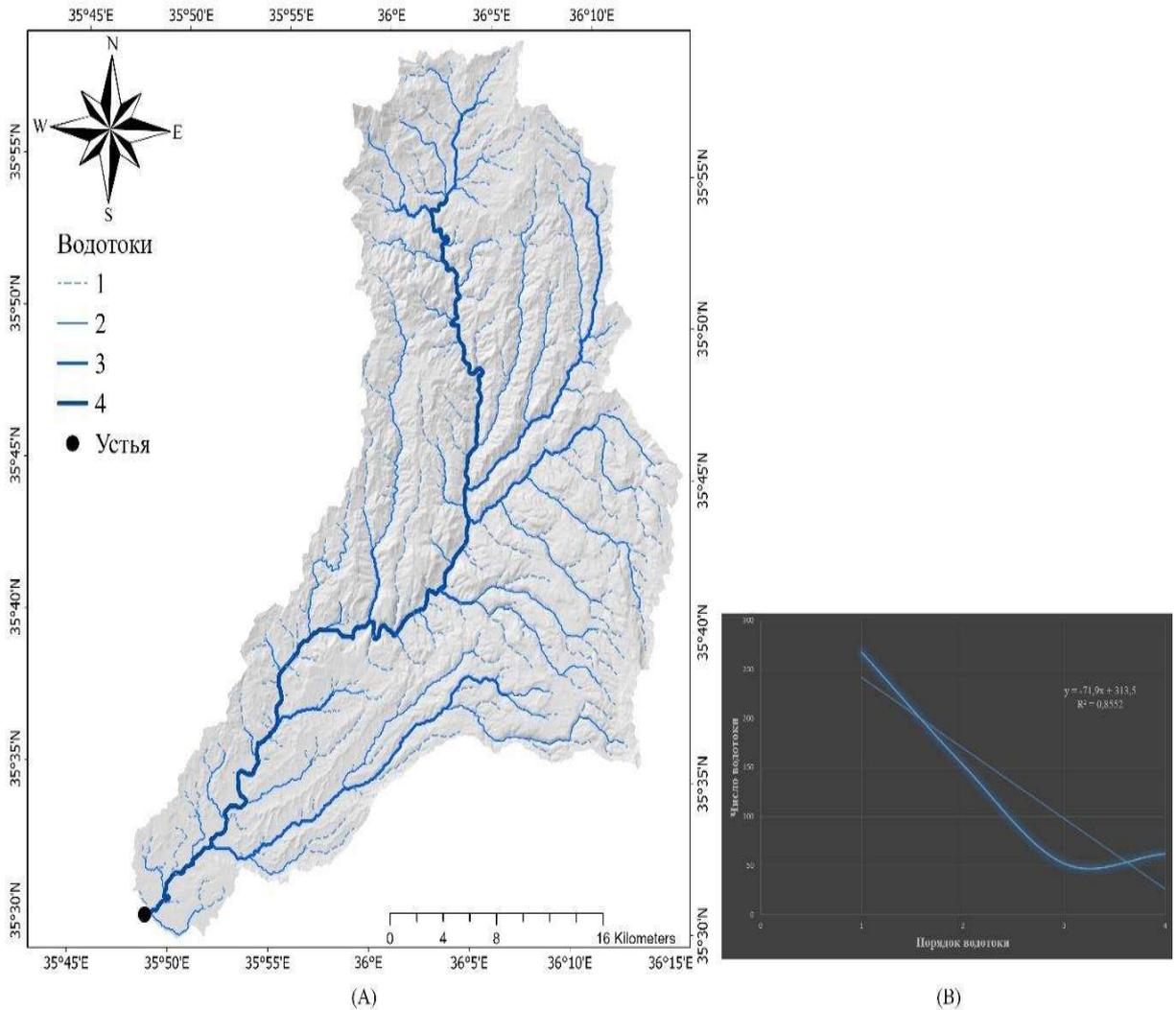


Рисунок 3.7 – Карта водотока бассейна реки Ал Кабир Ал Шамали (А); Регрессия и коэффициент корреляции количества потоков в зависимости от порядка потоков (В) (построен автором по программе ArcGIS Pro по данным ЦМР ASTER V3)

Для расчёта использовали файл ЦМР с помощью программы ArcGIS pro и метод (Strahler), чтобы определить порядок водотока [224].

Длина водотока: расчёт длины порядка водотока вычисляется через программу ArcGIS PRO, затем вычисляем среднюю длину водотока каждого порядка по формуле [223]:

$$LS' = \frac{\sum L_s}{N_s} \quad (3.8)$$

Где: LS' – средняя длина притока (реки), км; $\sum L_s$ – общая длина водотоков, км; N_s – количество притоков.

Если оценка определённой степени длины водотоков высокая это указывает на то, что эти водотоки двигаются в области с малым наклоном где число водотока мало за то длина больше, и наоборот, если оценка определённой степени длины водотоков низкая это указывает на то, что эти водотоки двигаются в области крутых скалистых утесов где число водотоков большое за то длина маленькая [99].

Коэффициент бифуркации – соотношение между количеством водотоков для одного порядка и количеством водотоков для следующего порядка. Его соотношение в бассейнах часто колеблется между (3-5) и теоретическим значением (2), и является естественным отражением климатических, топографических и геологических условий исследования площади и что значения коэффициентов бифуркации, близкие к (3-5), свидетельствуют о сходстве характеристик бассейна в климатическом и структурном отношении и что любое повышение или понижение этого соотношения выше вышеуказанного предела свидетельствует об асимметрии бассейна в климатическом и топографическом отношении, т.е. свидетельствует о наличии о природных аномалиях в бассейне или о наличии тектонической активности в районе бассейна [224]. Вычисляется по формуле:

$$Rb = \frac{N_u}{N_{u+1}} \quad (3.9)$$

Где: Rb – коэффициент бифуркации; N_u – количество притоков данного порядка; N_{u+1} – количество притоков следующего более высокого порядка;

Коэффициент густоты речной сети – это означает степень разветвления и распространения речной сети в пределах определенной территории. Вычисляется по формуле:

$$D = \frac{\sum L_s}{A} \quad (3.10)$$

Где: D – коэффициент густоты речной сети, км/км²; $\sum L_s$ – общая длина водотоков, км; A – площадь бассейна, км².

Плотность дренажа бассейна имеет большое значение с морфологической и гидрологической точки зрения, поскольку она свидетельствует о характере стока поверхностных вод в бассейне, на который влияют геологические факторы, наклон, растительный покров, а также интенсивность осадков. Также подчеркивается, что климат и рельеф местности отвечают за разницу в интенсивности дренажа на 97% [172]. И что на участке, структура дренажной системы которого грубая, плотность его стока низкая, так как породы, обладающие способностью к проницаемости, имеют грубую структуру, и поэтому его плотность стока уменьшается с учетом фактора наклона поверхности земли, так как она оказывает существенное влияние на плотность дренажа, что касается области с гладкой структурой картины разряда, то ее плотность дренажа высокая. Области с необычно высокой плотностью стоков называются плохими землями [113].

Константа выживания потока. Предложено учёный Шумм (Schumm), чем выше значение результатов, тем больше это свидетельствует о расширении бассейновой области за счет водных каналов ограниченной протяженности. Вычисляется по формуле [216]:

$$\text{Константа выживания потока} = \frac{1}{D} \quad (3.11)$$

Частота рек (число рек на единицу площади): означает отношение количества водотоков для всех порядков данного бассейна к площади питающего бассейна [138]. Вычисляется по формуле:

$$F = \frac{\sum N_u}{A} \quad (3.12)$$

Где: F – частота рек; $\sum N_u$ – сумма всех порядков водотоков; A – площадь бассейна, км².

Текстура водосбора (Texture Ratio):

Вычисляется по следующей формуле:

$$\text{Текстура водосбора} = \frac{\sum N_u}{P} \quad (3.13)$$

Текстура водосбора показывает, в какой степени водосборный бассейн прерывается водотоками. Геологические формации, топография, климат, тип почвы и степень инфильтрации контролируют значения скорости топографической структуры.

В 1950 году учёный Смит (Smith) сделал классификацию для степени топографических структур (таблица 3.2). Результат параметров водосборных бассейнов представлены в таблице 3.3. [216].

Таблица 3.2 – Степень топографической структуры по классификации Смит (Smith) [216]

Степень топографической структуры (водотоков/км)	Классификация
Меньше, чем 4 водотока/км	Степень топографической структуры грубая
От 4 до 10 водотоков/км	Степень топографической структуры средняя
Больше, чем 10 водотоков/км	Степень топографической структуры гладкая

Таблица 3.3 – Результат параметров водосборных бассейнов для места исследования по данным ЦМР

Порядок притока	Число притоков	Коэффициент бифуркации R_b $R_b R_b$	Общая длина притоков (км)	Коэффициент густоты речной сети (км/км ²)	Частота рек (водотоков/км ²)	Средняя длина притока (км)	Текстура водосбора
1	268	1,751	367,552	0,744	0.5	1,37	2,615
2	153	2,94	276,264			1,8	
3	52	0,83	92,749			1,78	
4	62		74,447			1,20	
Сумма	535		811,014			-	

В целом водосборный бассейн АКАШ можно разделить на три основных участка (рисунок 3.8):

Верхняя часть водосборного бассейна:

- Начинается от начала формирования рифта до участка деревни Аль-Сафкун, проходя 38 км в районе Урдо. Этот участок горный, на котором борта долин опускаются на глубину, достигающую 250 м.

- Поперечное сечение реки на этом участке имеет форму буквы V в известняке и зеленых скалах, а дно долины расширяется в районе Аль-Сафкуна на 50 – 100 м (рисунок Б.1 из приложения Б).

Средняя часть водосборного бассейна:

Начинается от деревни Аль-Сафкун на высоте 330 метров до моста Хан Аталлах (дорога Латакия-Алеппо) на высоте 75 метров. Долина реки на месте Хан-Аталлы является воротами на плато Бахлулия на прибрежной равнине. На этом участке река пересекла 17 км, что представляет собой участок, где проходит мощная линия разлома (разлом Латакия-Джиср-эш-Шугур), отделяется разлом, отделяющий прибрежный горный массив от массива Аль-Баир и Аль-Акра. В этом участке русло реки принимает форму полуоткрытого изогнутого патрубка, а на его берегах и склонах высоты достигают более 200 метров (рисунок Б.2 из приложения Б).

Нижняя часть водосборного бассейна:

Река протекает через нижний бассейн на широкой плоской долине (Латакийская равнина), где видны гравий и камни в русле реки, а также четыре речные террасы, указывающие на высокую вертикальную и боковую эрозию в этом участке, где река извивается на плоской долине, и где появляются речные изгибы, а с левой стороны реку питает река Каш в районе Стакирс. Поперечный профиль речной долины в этом участке имеет форму буквы U (рисунок Б.3 из приложения Б).

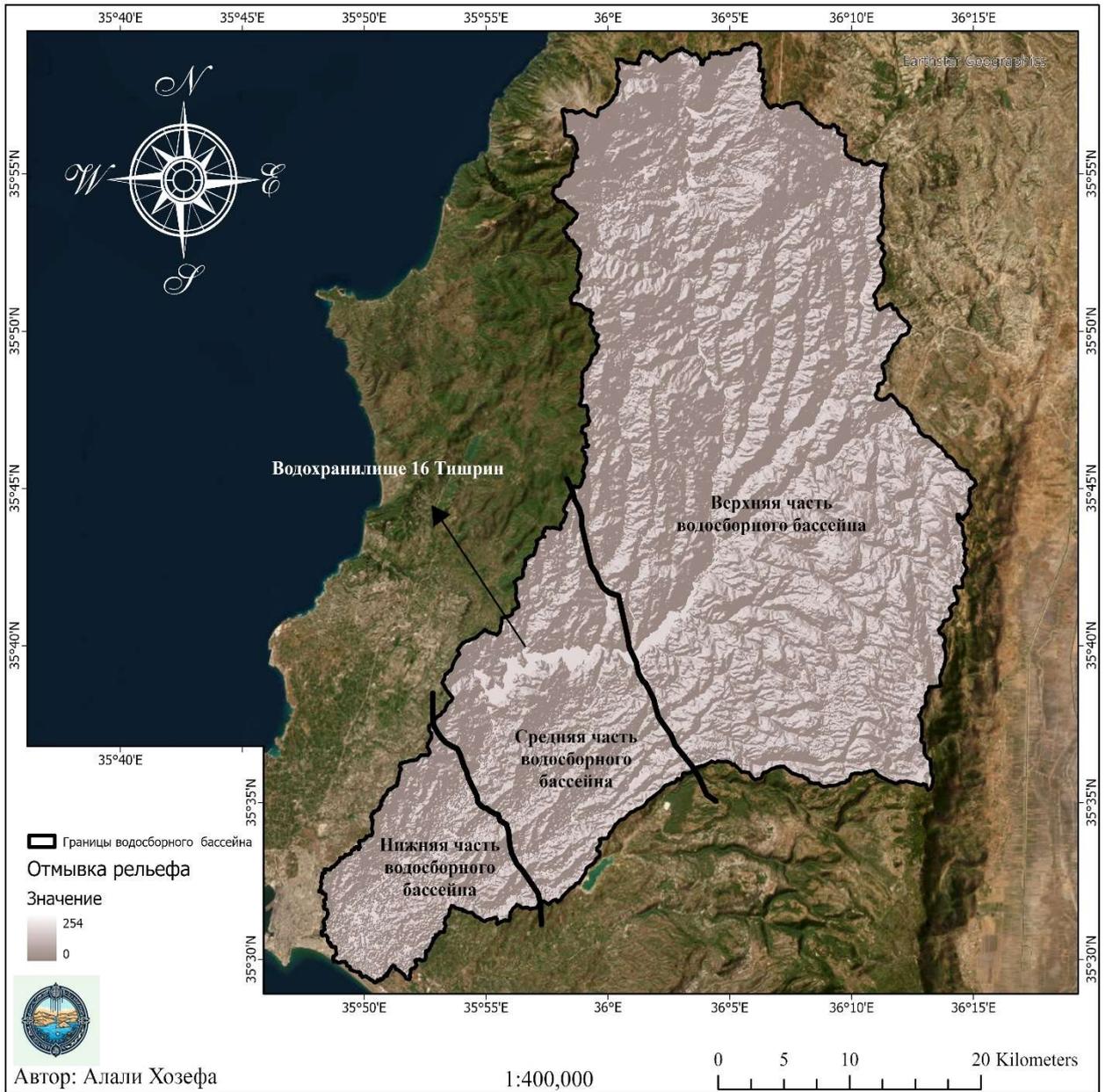


Рисунок 3.8 – Классификация водосборного бассейна по морфологическим признакам (построен автором по программе ArcGis Pro по данным ЦМР ASTER V3)

3.2 Гидрологический анализ бассейна реки АЛ КАБИР АЛ ШАМАЛИ

Река АКАШ считается самой плодovитой рекой в прибрежном регионе. Река берет начало в гористой местности на турецкой границе и протекает по равнине на юго-запад. Она питается из небольших рек и источников и впадает в Средиземное море к югу от города Латакия.

Река АКАШ имеет постоянный сток, и ее обилие во многом зависит от количества осадков, так как ее обилие в сезон дождей достигает около $40 \text{ м}^3/\text{сек}$, а в засушливые периоды снижается до $1 \text{ м}^3/\text{с}$, а ее расход может прекратиться совсем, как это произошло в 1985 году.

Государство, заботясь о том, что климатические условия причиняют ущерб и вред плодородной равнине зимой во время наводнения с одной стороны, и из-за необходимости водоснабжения в летний период через систему ирригации в плодородной равнине с другой стороны. В русле реки была построена агрегатная плотина среднего размера (16 Тишрин) емкостью 210 млн м^3 , которая орошает соседние земли с уровнем воды 100 и менее.

В настоящее время государство строит новую плотину на реке Брэддон.

Бассейн реки АКАШ занимает около 1096 км^2 , из них около 173 км^2 этого бассейна расположено в районе Орду Искендерунского района, а также включает в себя площадь бассейна реки Каш, составляющую 146 км^2 , которая является левым притоком р. АКАШ длиной 36 км. Впадает в реку на месте села Стахрис, за 9 км до устья, поэтому приток не впадает в водохранилище 16 Тишрин. Соответственно площадь бассейна р. АКАШ от начала в ее верхнем бассейне до места расположения плотины 16 Тишрин составляет 929 км^2 в пределах нынешней сирийской территории, а среднее количество осадков по всему бассейну оценивается в 950 мм/год .

Режим стока связан с сезонностью выпадения осадков, а обилие — с интенсивностью осадков. Средний расход реки в дождливые годы может достигать $17,1 \text{ м}^3/\text{с}$, а в малодождевые годы средний показатель снижается до $2,3 \text{ м}^3/\text{с}$.

Средние нормы осадков по всему бассейну составляют 950 мм/год , а по питающему бассейну от верхнего бассейна до участка плотины 16 Тишрин они достигают 1113 мм/год .

Трудно инвестировать воды в нижний бассейн реки и в ее приток, реку Аль-Каш, из-за того, что русло реки находится ниже уровня сельскохозяйственных угодий, но количество сброшенной впустую воды от ворот 16 Тишрин плотина представляет собой превышение емкости плотины, составляющей 142 млн/м^3 ,

могут быть задержаны путем накопления в верхних плотинах, которые строятся на гидрологической сети реки в верхнем бассейне.

Чтобы получить адекватное представление о гидрологическом состоянии бассейна, мы использовали инструменты гидрологического анализа, предоставляемые программой SAGA GIS, где предоставляют мощные методы представления пространственных данных и анализа гидрологических процессов. В частности, цифровые модели рельефа (ЦМР) в программе позволяют представить земную поверхность с высоким разрешением, обеспечивая фундаментальные данные для гидрологического анализа.

Некоторые ключевые гидрологические анализы с использованием ГИС-технологий включают [121]:

1. **Закрытые депрессии (Closed Depressions):** относятся к низким точкам в цифровой модели возвышения (ЦМР), которые не позволяют воде сливаться и вместо этого образуют бассейны стоячей воды (рисунок Б.4 из приложения Б).

2. **Индекс конвергенции (CI) (Convergence Index):** — это мера, используемая в программе SAGA GIS для оценки качества определения направления потока в цифровой модели рельефа (ЦМР). CI используется для определения того, был ли ЦМР успешно обработан, чтобы точно представлять поток воды через ландшафт (рисунок Б.5 из приложения Б).

3. **Диффузная инсоляция (Diffuse Insolation):** относится к части входящего солнечного излучения, которая разбросана атмосферой и достигает поверхности Земли в диффузном или рассеянном образом. В контексте программы SAGA GIS диффузная инсоляция является важным вводом для моделирования количества солнечной энергии, полученной на поверхности Земли, что необходимо для многих типов моделирования и анализа окружающей среды, таких как оценка потенциала для выработки солнечной энергии (рисунок Б.6 из приложения Б).

4. **Прямая инсоляция (Direct Insolation):** относится к части входящего солнечного излучения, которая достигает поверхности Земли в прямой или лучевой манере. В контексте программы SAGA GIS прямая инсоляция является важным вкладом для моделирования количества солнечной энергии, полученной на

поверхности Земли, что необходимо для многих типов моделирования и анализа окружающей среды, таких как оценка потенциала для производства солнечной энергии (рисунок Б.7 из приложения Б).

5. Фактор LS (LS-Factor): также известный как коэффициент длины, является термином, используемым в контексте цифровых моделей рельефа (ЦМР) и гидрологического моделирования. В программе SAGA GIS LS-фактор используется для оценки потока воды по ландшафту, представленному ЦМР.

LS-фактор является соотношением длины потока над наклоном потока. Он используется для учета влияния топографии на поток воды, причем более высокие значения LS-фактора указывают на более крутые склоны и более быстрый поток, а более низкие значения указывают на более мягкие наклоны и более медленный поток. Фактор LS обычно используется в сочетании с процессом накопления потока для оценки потока воды по ландшафту, представленному ЦМР (рисунок Б.8 из приложения Б).

6. Индекс охраны (Protection index): это термин, используемый в контексте управления природными ресурсами и планирования землепользования в ГИС. Он обозначает численное значение, которое представляет собой уровень защиты или сохранения определенного ресурса или территории (рисунок Б.9 из приложения Б).

7. Глубина долины (Valley Depth): это метрика, используемая для количественной оценки глубины долин в цифровой модели рельефа (ЦМР) в ГИС. Глубина долины рассчитывается путем определения минимальной высоты вдоль разреза, перпендикулярного оси русла в долине. Минимальная высота вдоль трансекта представляет собой дно долины, а максимальная высота вдоль трансекта представляет собой борт долины. Разница между дном и бортом долины — это глубина долины (рисунок Б.10 из приложения Б).

8. Базовый уровень сети каналов (Channel Network Base Level): Базовый уровень сети каналов, также известный как уровень выхода дренажа, — это термин, используемый в гидрологии и геоморфологии для описания самой низкой высоты вдоль сети каналов, часто на выходе из них, где поверхностные воды впадают в более крупный водный объект. Базовый уровень сети каналов является важнейшим

параметром при анализе дренажных систем, поскольку он определяет общий наклон сети каналов и влияет на формирование и эволюцию схем дренажа (рисунок Б.11 из приложения Б).

9. Векторная пересеченность местности (Vector Terrain Ruggedness (VRM)): это индекс пересеченности местности, который используется для количественной оценки неровности и сложности поверхности рельефа в программе SAGA GIS. VRM рассчитывается на основе информации о наклоне, аспекте и кривизне рельефа, полученной из цифровой модели рельефа (ЦМР). Он выражается в виде непрерывной величины, изменяющейся от 0 до 1, где значение 0 означает плоскую местность, а значение 1 - самую пересеченную (рисунок Б.12 из приложения Б).

10. Индекс мощности потока: Один из важных коэффициентов, используемых в качестве показателя эрозионной прочности водотока, чем больше площадь водосборный бассейн и наклон, тем больше значение индекс мощности потока, и наоборот [122, 179]. Вычисляется по формуле:

$$P = \rho g q \times \tan B, \quad (3.14)$$

Где: P – индекс мощности потока; ρ – плотность воды; g – гравитационное ускорение земли; q – количество сбрасываемых стоков на единицу длины.

Или можно рисовать с помощью программы ArcGIS PRO через уравнение (рисунок 3.9).

$$SPI = Flow_{acc} \times Cellsize \times \tan(slope) \times \pi/180, \quad (3.15)$$

Где: $Flow_{acc}$ – аккумуляция тока; $Cellsize$ – размер ячейки файла ЦМР; $\tan(slope)$ – \tan (наклона); $\pi/180 \approx 0.017453$.

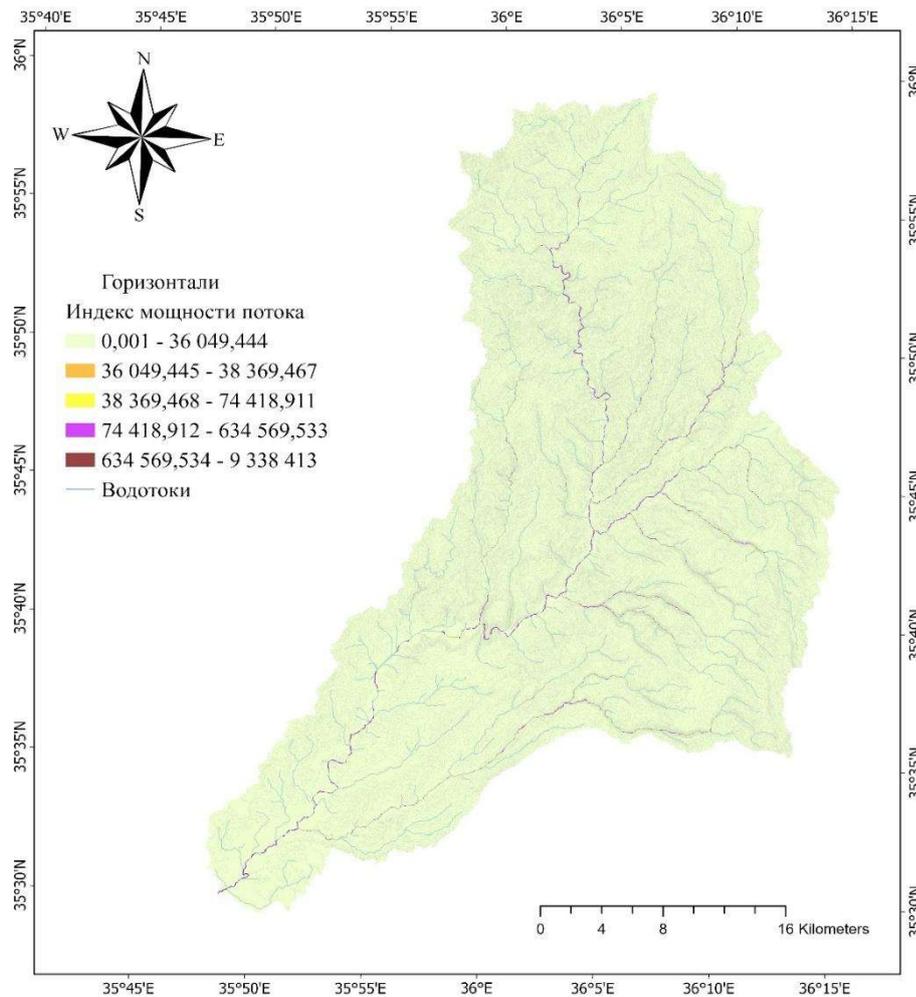


Рисунок 3.9 – Карта индекс мощности потока (построен автором по программе ArcGis Pro по данным ЦМР ASTER V3)

11. Индекс переноса наносов: учитывает влияние топографии на эрозию. Двумерная площадь водосбора используется вместо одномерного коэффициента длины склона, как в универсальном уравнении потери почвы [96, 178]. Вычисляется по формуле:

$$T = (m + 1) \times \left(\frac{As}{22.13} \right)^m \times \sin \left(\frac{B}{0.0896} \right)^n, \quad (3.16)$$

Или можно рисовать с помощью программы ArcGIS PRO через уравнение (рисунок 3.10)

$$STI = \text{Power} (\langle FA \rangle / 22.13, 0.6) * \text{Power} (\text{Sin}(\langle \text{slope} \rangle) / 0.0896, 1.3), \quad (3.17)$$

Где: FA – аккумуляция тока; Sin ("slope") – Sin (наклона).

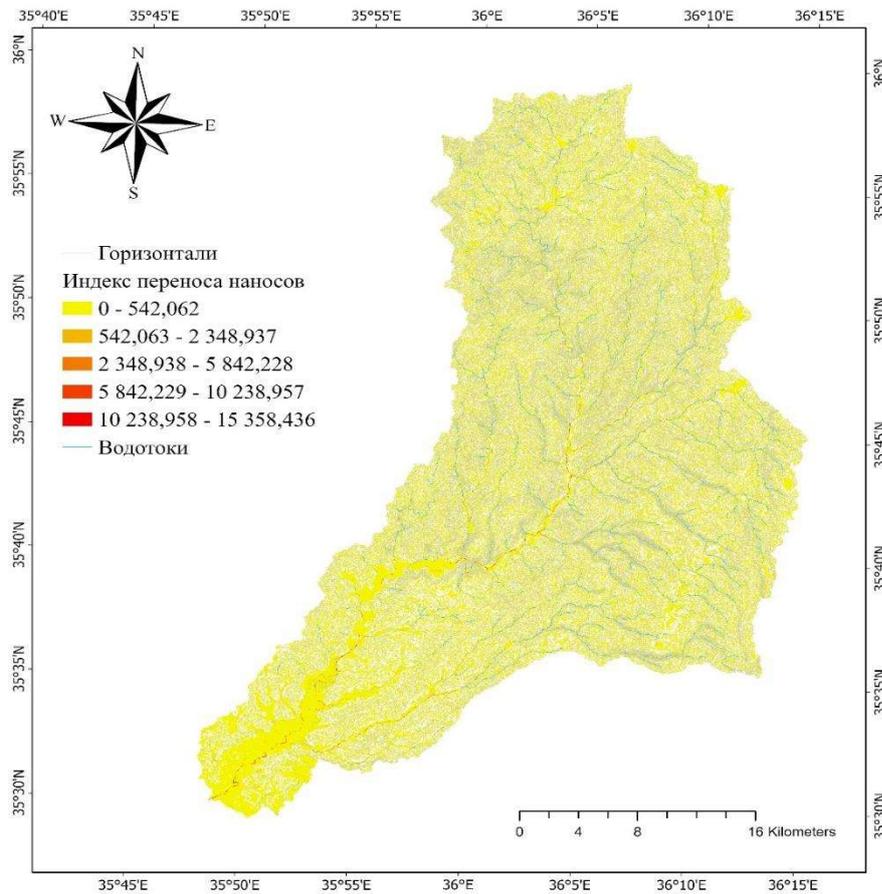


Рисунок 3.10 – Карта индекс переноса наносов (построен автором по программе ArcGIS Pro по данным ЦМР ASTER V3)

12. Индекс топографический влажности: используется для количественной оценки топографического контроля гидрологических процессов [157, 219]. Вычисляется по формуле:

$$W = \ln \frac{As}{\tan B}, \quad (3.18)$$

Где: As – эффективная площадь водосбора, M^2 ; $\tan B$ – \tan (наклона).

Или можно рисовать с помощью программы ArcGIS PRO через уравнение (рисунок 3.11).

$$TWI = \ln \frac{(Flow_{acc}+1) \times Cellsize}{\tan (slope \times \pi / 180) + 0.001} \quad (3.19)$$

Где: $Flow_{acc}$ – аккумуляция тока; $\tan ("slope")$ – \tan (наклона); $Cellsize$ – размер ячейки файла ЦМР. $\pi/180 \approx 0.017453$.

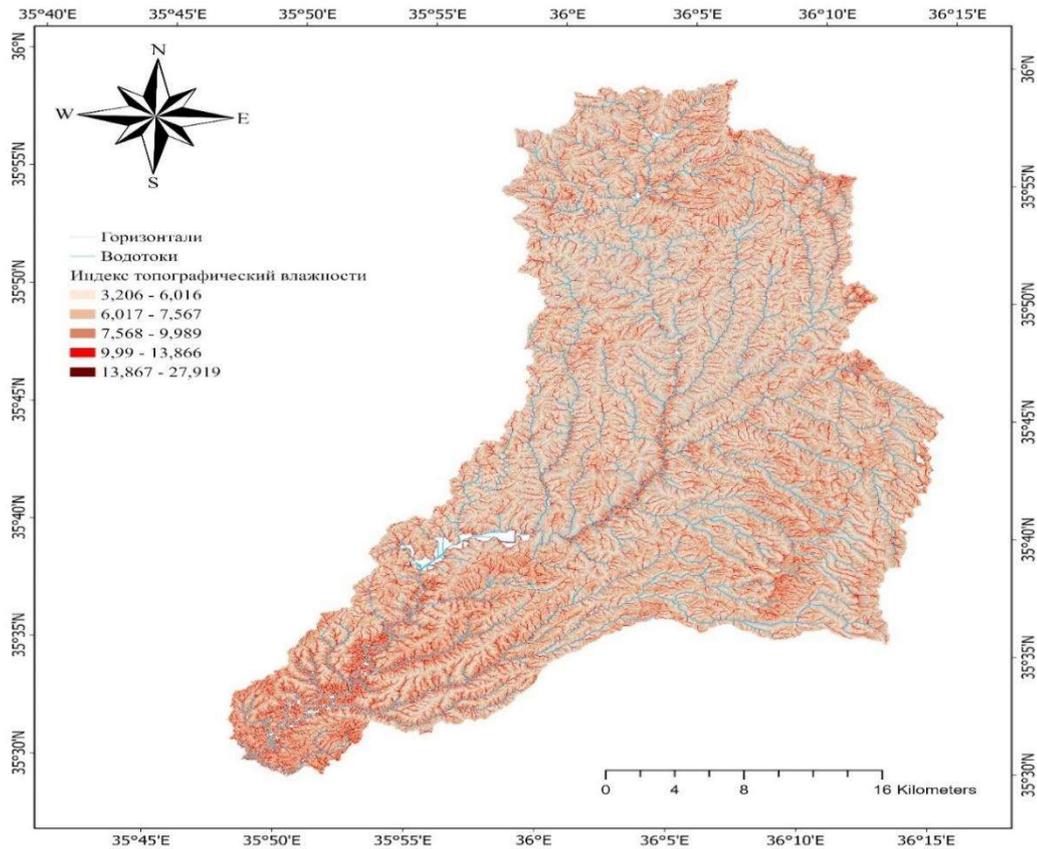


Рисунок 3.11– Карта индекс топографической влажности (построен автором по программе ArcGIS Pro по данным ЦМР ASTER V3)

13. Индекс шероховатости местности: показывает разницу высот между соседними ячейками цифровой модели рельефа (ЦМР). TRI, в свою очередь, является одним из основных факторов, влияющих на энергию потока, емкость поверхности, скорость стока и маршрутизацию в масштабе водораздела (рисунок 3.12).

[180, 201].

Вычисляется по формуле:

$$TRI = \gamma [\sum (x_{ij} - x_{00})^2]^{1/2} \quad (3.20)$$

Где: $x_{ij} - x_{00}$ высота каждой соседней ячейки до ячейки (0.0)

Классификация индекса шероховатости местности представлено в таблице 3.4.

Таблица 3.4 – Классификация индекса шероховатости местности [180]

Степень индекса шероховатости местности(м)	Классификация
0-80	Ровная поверхность местности.
81-116	Почти ровная поверхность.
117-161	Слегка шероховатая поверхность.
162-239	Поверхность средней шероховатости.
240-497	Умеренно шероховатая поверхность.
498-958	Высокопрочная поверхность.
959-4367	Очень прочная поверхность.

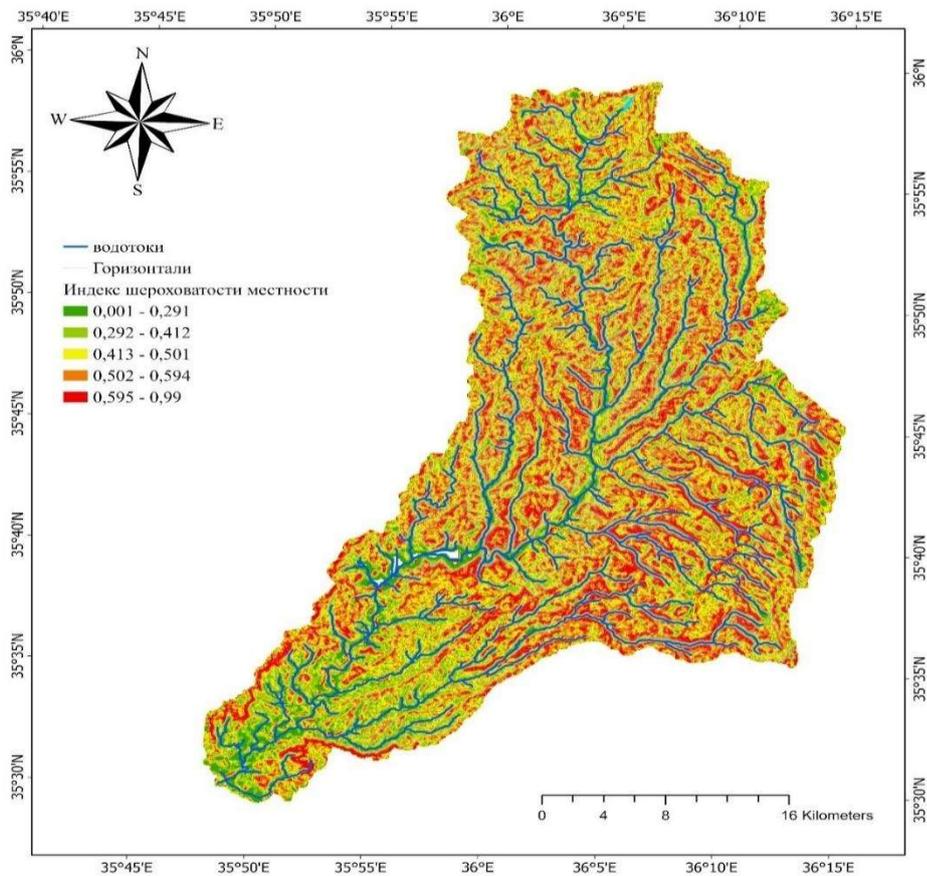


Рисунок 3.12 – Карта индекса шероховатости местности (построен автором по программе ArcGIS Pro по данным ЦМР ASTER V3)

14. Коэффициент наводнения: вычисляется по формуле, результат представлен в таблице 3.5 [145, 206]:

$$\text{Коэффициент наводнения} = \text{Коэффициент густоты речной сети} \left(\frac{\text{км}}{\text{км}^2} \right) \times \text{частота водотоков} \left(\frac{\text{водотоки}}{\text{км}^2} \right) \quad (3.21)$$

Таблица 3.5 – результат коэффициент наводнения для места исследования по данным ЦМР

Порядок водотока	Число водотоков	Площадь бассейна А, км ²	Частота рек (водоток /км ²)	Коэффициент наводнения
1	268	575,52	0,47	0,35
2	153	886,68	0,173	
3	52	1002,49	0,052	
4	62	1096	0,057	
Сумма	535	1096	0,5	

Вывод по главе 3

Данная глава раскрывает в целом возможности программы геоинформационных систем (ArcGIS pro, Global Mapper и SAGA-GIS) по построению морфометрических и гидрологических баз данных из ЦМР, содержащей характеристики формы, параметры топографического и гидрологического бассейна, необходимые для проведения гидрологического анализа с целью снижения риска затопления и оптимального управления водными ресурсами.

Использовать возможности ГИС технологий с помощью данных ЦМР чтобы построи́т гидроморфометрическую базу данных для не исследуемых бассейнов простым способом и экономическим со сравнением с традиционным способам анализа.

Из карт, полученных при обработке цифровой модели рельефа в программе SAGA-GIS, получили множественные параметры необходимые для гидрологических моделирований р. АКАШ, например коэффициент шероховатости потока реки и т.д.

Эта глава показывает то, что цифровые модели рельефа, является главным исходным данным для построения гидроморфометрической базы (рисунок Б.13 из приложения Б).

ГЛАВА 4. ВОДНЫЙ БАЛАНС ВОДОХРАНИЛИЩА 16 ТИШРИН НА РЕКЕ АЛ КАБИР АЛ ШАМАЛИ

4.1. Вычисление эмпирической обеспеченности среднегодовых расходов воды

В течение года водохранилище 16 Тишрин наполняется водой, либо опорожняется в зависимости от баланса между притоком и оттоком (таблица 4.1).

Таблица 4.1 – Приток, отток и годовой дождь водохранилища 16 Тишрин с 1987 года создание до 2017г.

№	Время	Приток (млн куб. м)	Отток, (млн куб. м)	Годовой дождь, мм
1	1987-07-15	73,3	0	675
2	1988-07-14	388,2	313,95	1380
3	1989-07-14	95	0,5	715
4	1990-07-14	93,2	6,18	708
5	1991-07-14	156,5	55,436	1012,5
6	1992-07-13	247,1	187,38	1135
7	1993-07-13	118,71	47,006	809
8	1994-07-13	154,5	66,34	1009
9	1995-07-13	122,3	39,488	822
10	1996-07-12	218,9	125,626	1100
11	1997-07-12	159,9	78,256	1023
12	1998-07-12	264,1	222,563	1186
13	1999-07-12	129,1	38,862	854
14	2000-07-11	157,92	52,018	1014
15	2001-07-11	158,65	50,862	1015
16	2002-07-11	291,57	268,186	1210
17	2003-07-11	335,57	253,337	1325
18	2004-07-10	258,09	176,866	1155
19	2005-07-10	137,03	67,025	915
20	2006-07-10	146,65	54,278	1012
21	2007-07-10	125,49	30,444	826
22	2008-07-09	105,37	13,22	732

№	Время	Приток (млн куб. м)	Отток, (млн куб. м)	Годовой дождь, мм
23	2009-07-09	237,7	137,25	1128
24	2010-07-09	168,11	100,5	1045
25	2011-07-09	161,99	14,57	1168
26	2012-07-08	253,19	528,5	1560
27	2013-07-08	341,982	282,75	1365
28	2014-07-08	40,45	0,5	365
29	2015-07-08	392,19	262,5	1400
30	2016-07-07	109,25	12,213	850
31	2017-07-07	130,29	14,32	875

Исходя из данных, представленных в таблице выше, основная статистика данные представлена в таблице 4.2.

Таблица 4.2 – Основная статистика наблюдаемые данные (Приток, Отток и годовой дождь) в водохранилище 16 Тишрин

Основная статистика данных	Приток (млн куб. м)	Отток, (млн куб. м)	Годовой дождь, мм
Минимум	40,45	0	365,00
Максимум	392,19	528,50	1560,00
Среднее значение	186,20	112,93	1012,5
Стандартное отклонение	92,236	124,02	254,50
Медиана	157,92	55,436	1014,0
Коэффициент вариации (Cv)	0,5	1,1	0,25
Коэффициент асимметрии (Cs)	0,8	1,6	-0,11
Коэффициент эксцесса (Ck)	2,54	4,8	2,9
Количество наблюдений	31	31	31

Для количественной оценки поверхностного стока на водохранилище 16 Тишрин и установления статистической закономерности притока воды в

водохранилище, а также колебаний во времени, мы построили кривые обеспеченности притока воды. В зависимости от C_v , C_s , процент C_s/C_v значение равно $1,62^4$, и Среднее значение притока (таблица В.1 из приложения В) мы сможем построить аналитический коэффициент обеспеченности, по полученным результатам (таблице 4.3 и на рисунок 4.1)

Таблица 4.3 – Обеспеченные значения годового притока в водохранилище 16 Тишрин в млн куб.м. (при $C_s/C_v = 2$ и $C_v = 0.5$, таблица В.2 из приложения В).

Обеспеченность %	Значение (Объём стока, 10^6 M^3)	Обеспеченность %	Значение (Объём стока, 10^6 M^3)	Обеспеченность %	Значение (Объём стока, 10^6 M^3)
0.01	741.1	20	257	95	63.7
0.1	608.9	30	221.6	97	54
0.3	541.9	40	193.7	99	39,1
0.5	510.2	50	171,3	99,5	31,6
1	467.4	60	149	99,7	27,93
3	396.62	70	128.5	99,9	20,5
5	361.23	80	106.1		
10	311	90	82		

⁴Будем брать процент C_s/C_v равный 2 из-за того, что количество наблюдений мало, всего за 31 год, и умножим на среднее значение притока чтобы получить обеспеченные значения годового притока в водохранилище.

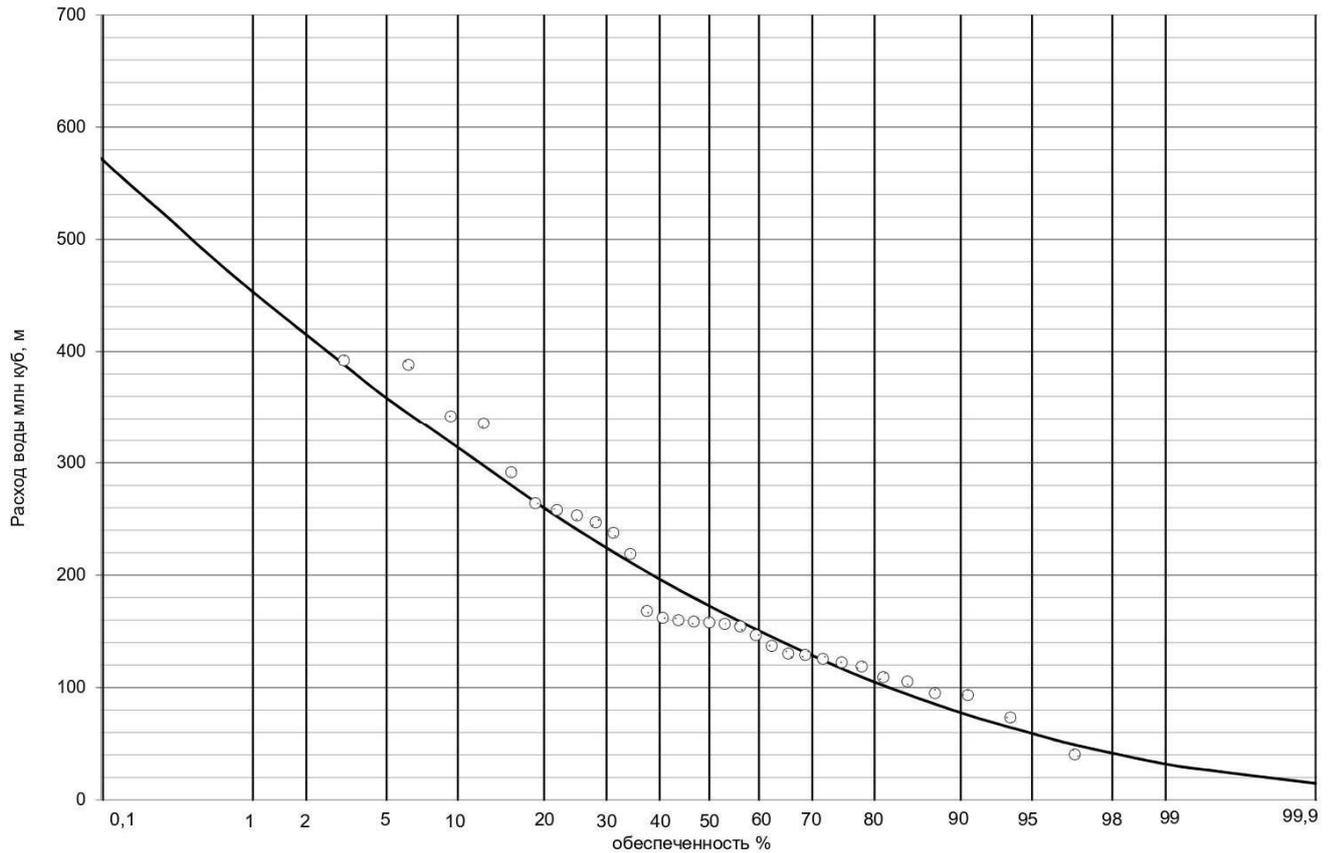


Рисунок 4.1 – Эмпирическая обеспеченность среднегодовых расходов воды в водохранилище 16 Тишрин

Общая вместимость водохранилища 16 Тишрин составляет 210 млн куб. м., если обратиться к данным таблицы 4.3, показано что в год приток с обеспеченностью 5%, объём притока воды в водохранилище составляет 361.23 млн куб. м. это значит, что для заполнения ёмкости водохранилища требуется использовать около 58% объёма притока для заполнения водохранилища, а около 151,23 млн куб. м. пропускать в нижнем бьефе.

4.2 Расчет объема-площади водохранилища 16 Тишрин по данным цифровой модели рельефа SRTM

Для расчёта использовали два разных способа:

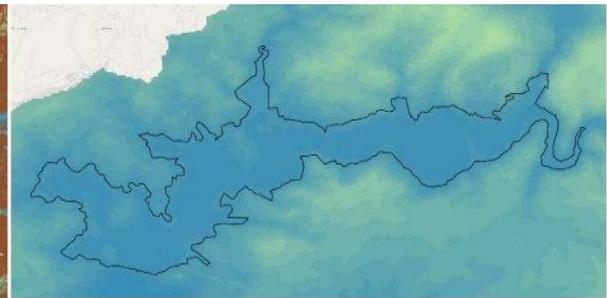
1. Первый способ без изменения структуры ЦМР: в этом способе загрузили ЦМР и импортировали его в программу QGIS, очень важно отметить, что данные имеют географические координаты WGS 84, а это не подходит для каких-либо измерений, поэтому нужно менять систему координат и использовать либо

Universal Transverse Mercator (UTM) или Equal Area Cylindrical при сохранении географического положения.

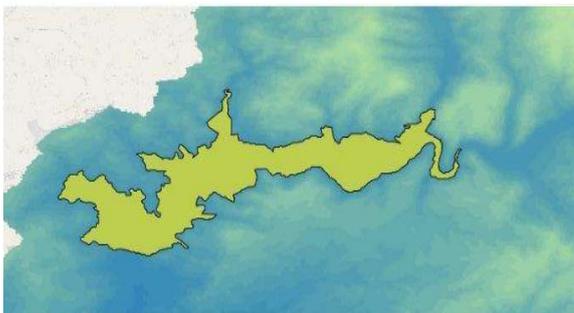
Для нашего объекта мы использовали координаты WGS 84/UTM zone 37N, затем используем алгоритм извлечений контурной карты из ЦМР с целью найти контурную линию, которая содержит максимальную зону затопления, этот контур является 88,6 метр, редактируем его, чтобы выглядел как наш объект, потом преобразуем наши контурные линии в многоугольник. Следующий шаг — это извлечение ЦМР под наш объект (рисунок 4.2) [10].



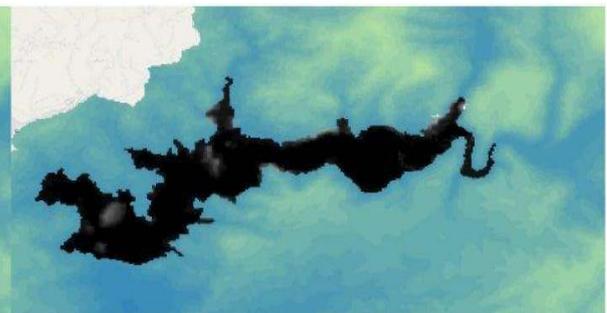
Первый шаг: извлечение контурной карты



Второй шаг: определить максимум контурной линии и обработать контурную линию



Третий шаг: преобразование линий в полигон



Четвёртый шаг: извлечения ЦМР для объекта исследования

Рисунок 4.2 – Этапы получения цифровых моделей рельефа для водохранилища 16 Тишрин без изменения структуры ЦМР (Построена авторами по программе QGIS 3.30.1 по данным ЦМР SRTM 30)

Последний шаг вычисляем соотношение между высотой и объемом используя ЦМР и выбираем инструмент объем поверхности растра (Raster surface volume), алгоритм подсчета только ниже базового уровня (count only below base level). Этот алгоритм, по существу, подсчитывает только те ячейки ниже базового уровня, которые считаются погруженными, и вычисляет объем только

погруженной части этих ячеек. Этот подход обеспечивает более точную оценку количества воды, которое может быть извлечено из водохранилища, поскольку он учитывает объем только тех ячеек, которые содержат воду. Однако он не включает объем открытой части ячеек ниже базового уровня, что может быть важно для других видов анализа [65].

2. Второй способ изменения структуры ЦМР: в этом способе выполняем те же действия, начиная с загрузки цифровой модели рельефа и изменения координат как и в первом способе, затем редактируем данные которые зашифрованы в структуре ЦМР, это возможно с использованием инструментов Serval, поправка имеет форму линии в месте расположения плотины и значение высоты этой плотины, гребень 81,65 м.

Следующий шаг: извлечение контурных линий из ЦМР с интервалом 0,5 м для нашего объекта, обработаем эти линии и отпускаем только контурные линии нашего объекта, потом преобразуем контурные линии в многоугольники и вычисляем площадь многоугольников геометрическим способом (рисунок 4.3).

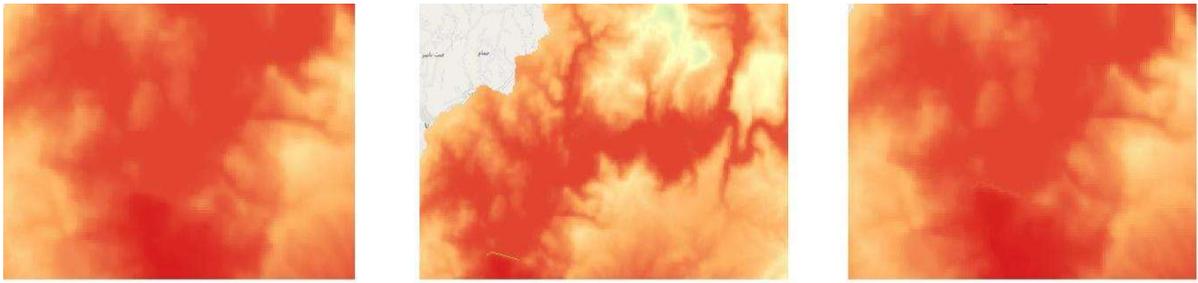
Последний шаг: полученные данные импортировали в программу Excel и находим объем с помощью следующих уравнений:

$$V_i = \frac{A_i + A_{i+1}}{2} \times h, \quad (4.1)$$

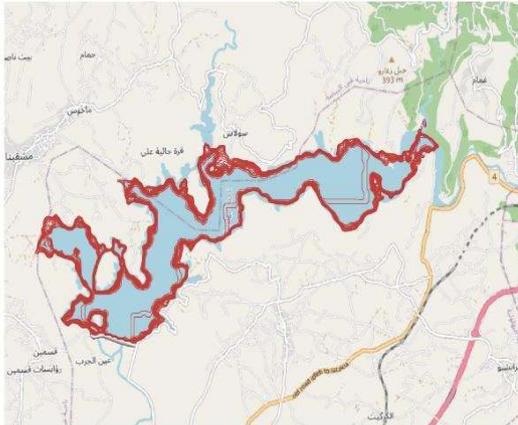
Где: V_i – объем определённого уровня; A_i – площадь самого низкого уровня, самый низкий уровень нашего объекта – это 71,5 м; A_{i+1} – площадь следующего уровня, это будет уровень 72 м; h – уровень воды, м.

$$V_{\text{Аккумуляция}} = \sum_{i=1}^i V_i, \quad (4.2)$$

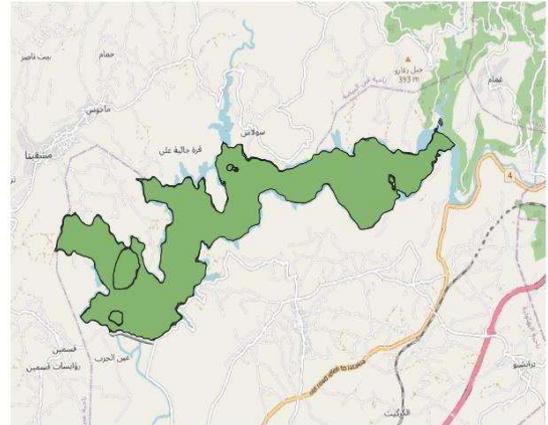
Где: $V_{\text{Аккумуляция}}$ – объем водохранилища, млн. куб м; $\sum_{i=1}^i V_i$ – сумма объема в каждом уровне, млн. куб м.



Этапы преобразования ЦМР плотины



Извлечение контурных линий из ЦМР с интервалом 0.5 м



Преобразование контурных линий в полигонах

Рисунок 4.3 – Этапы преобразования цифровых моделей рельефа водохранилища 16 Тишрин с изменением структуры ЦМР (Построено автором по программе QGIS 3.30.1 по данным ЦМР SRTM 30)

В конце полученные данные из обоих способов импортировали в программу Excel и обработали с настоящими данными полученные из Maan Vobo 2019 г. для того, чтобы исправить ошибки в высоте и объеме [165].

После коррекции данные полученные с помощью ЦМР в программе Excel можно использовать функции полиномиальные формулы, чтобы рассчитать объем водохранилища, если все, что известно, — это площадь его поверхности или высота уровня воды.

В результате использования ЦМР (SRTM 30^[5]) для расчёта объема воды и площади зеркала водохранилища в объекте исследования, оценили кривые

⁵ SRTM 30 — это цифровая модель рельефа, используемая для определения высоты земли и местности по всему миру. Эта модель создана с использованием радиолокационных данных, собранных в ходе миссии NASA SRTM (Shuttle Radar Topography Mission), запущенной в 2000 году. Модель содержит данные о высоте с разрешением 30 метров, что делает ее одной из самых точных моделей для определения высоты Земли [34].

(площадь-объем-уровень) (ПОУ) водохранилища двумя способами, без изменения в структуре ЦМР и с изменением в структуре ЦМР (рисунок 4.4), процент отклонения до и после коррекции данных полученных через ЦМР и настоящими физическими данными [165].

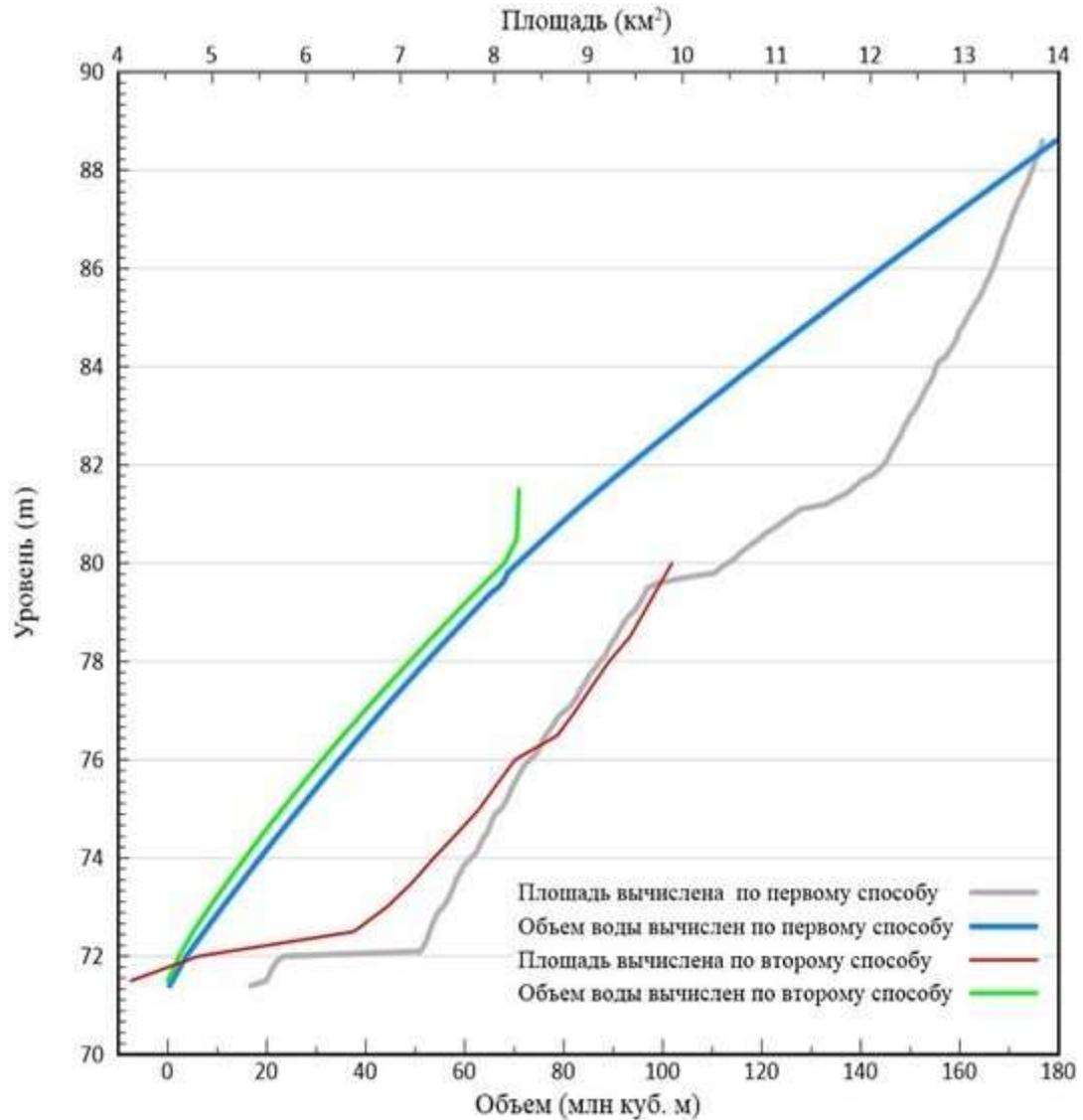


Рисунок 4.4 – Диаграмма объема воды и площадь водохранилища 16 Тишрин по данным SRTM 30 для обоих способов (Построена автором по программе Grapher)

Результаты коррекции ЦМР представлены в таблице 4.4, из таблицы можно сказать, что первый способ более надежнее, чем второй способ [10].

Таблица 4.4 – Коррекция и отклонение данных цифровых моделей рельефа от данных.

Способ решение	Ошибка в высоте ЦМР (м)	Ошибка в объеме ЦМР (Млн куб. м.)	Отклонение (%) объем SRTM без исправления от физических измеренных данных, у НПУ (74.65 М)	Отклонение (%) объем SRTM после исправления от физических измеренных данных, у НПУ (74.65 М)
Первый способ (без изменения структуры ЦМР)	2,65	183,7	87,51	0
Второй способ (с изменением структуры ЦМР)	2,65	185,6	89,70	0,2

Пользуя результаты, полученные через ЦМР и физические измеренные данные можно получить характеристику водохранилища (таблица 4.6, рисунок 4.5) (таблица В.3 из приложения В).

Использование функции полиномиальные формулы, позволили получить два уравнения для мониторинга поверхности водохранилища 16 Тишрин, после коррекции данных, получили объем воды в зависимости от площади и уровня:

$$y = -3.12638803 \cdot 734444E - 13X^6 + 1.36478159 \cdot 761561E - 11X^5 - 1.74819219 \cdot 703569E - 10X^4 + 2.85418558 \cdot 277530E - 09X^3 - 4.07699824 \cdot 086193E - 08X^2 + 1.75889439 \cdot 793553E + 01X - 7.04204092 \cdot 209065E - 07, \quad (4.3)$$

Где: y – объем воды в водохранилище, млн куб. м.; X – площадь зеркала водохранилища, км².

$$y = 7.61090308 \cdot 970536E - 08h^6 - 2.61023994 \cdot 768406E - 05h^5 + 3.66795272 \cdot 151828E - 03h^4 - 2.68706785 \cdot 370995E - 01h^3 + 1.08935658 \cdot 041082E + 01h^2 - 2.32143074 \cdot 178306E + 02h + 2.02815522 \cdot 971658E + 03, \quad (4.4)$$

Где: y – объем воды в водохранилище, млн куб. м.; h – уровень воды, м.

4.3 Расчет батиграфической и объёмной характеристики водохранилища 16 Тишрин

Батиграфические кривые показывают, как изменяются объем водохранилища, площадь поверхности, средняя глубина и кривая критерия литорали при изменении уровня воды. Создание этих кривых включает в себя расчет площадей между контурными линиями разной высоты и размера между слоями.

Таблица 4.5 – Формулы для расчета характеристики водохранилища 16 Тишрин

Параметр	Формула	Значение параметры	Источник	№ Формула
Объемы отдельных слоёв воды ΔV	Вычислено через SRTM после коррекции данных с физическим измеренным данным	Необходимо для расчёта (Суммарный объём)		
Суммарный объём	$V_{Hi} = \sum_{H_0}^{H_i} \Delta V_i$	По полученным результатам строим кривую объема, $V = f(H)$ (рисунок 4.5)	[43]	4.5
Средняя глубина водохранилища (h_{cp})	$h_{cp} = \frac{V_{Hi}}{\omega_{Hi}}$	По полученным результатам строим кривую средней глубины, $h_{cp} = f(H)$, (рисунок 4.5)	[43]	4.6
Площадь зеркала водохранилища, км ² (ω_i)	Вычислено через SRTM после коррекции данных с физическими измеренными данными	Необходимо для расчёта (площадь Литорали ωLi)		

Параметр	Формула	Значение параметра	Источник	№ Формула
площадь Литорали (ω_{Li})	$\omega_{Li} = \omega_{Hi} - \omega_{Hi-2}$	По полученным результатам строим кривую площадь поверхности водохранилища, $\omega = f(H)$, (рисунок 4.5)	[43]	4.7
Литораль критерий ($L_{\omega i}$)	$L_{\omega i} = \omega_{Li} / \omega_{Hi}$	По полученным результатам строим кривую Литораль критерий, $L_{\omega} = f(H)$, (рисунок 4.5)	[43]	4.8

Примечание: Многие параметры рассчитаны с помощью инструмента QGIS по данным SRTM 30 и были приняты к расчёту только после коррекции.

Значения параметров и символов:

Где: ω_{Hi-2} – площадь водной поверхности водохранилища, соответствующая уровню воды $H = H_i - 2$ м; ω_{Hi} – площадь зеркала водохранилища при отметке H_i ; V_{Hi} – суммарный объем воды в водохранилище при отметке H_i .

Батиграфический анализ водохранилища 16 Тишрин, представленный в таблице 4.6 и на рисунке 4.5, формирует критически важную основу для достижения всеобъемлющих целей эффективного управления водными ресурсами для многоцелевого использования. Профили глубин, объемы водохранилища и соотношение площадей будут способствовать проведению обоснованной политики и операций, чтобы сбалансировать приоритеты водоснабжения, ирригации, производства энергии, а также экологические и рекреационные потребности - как текущие, так и возникающие в будущем.

В частности, освещение морфометрии водохранилища определяет следующий этап исследования - точную количественную оценку потерь воды в

результате испарения на большой площади водохранилища. Это позволит понять годовой водный баланс и минимизировать потери на испарение, чтобы оптимизировать доступность воды. Возможные подходы включают выборочный забор воды из слоев с наименьшим воздействием или поверхностные ограничения с помощью инженерных покрытий.

Каждый сэкономленный таким образом кубометр воды особенно ценен для водной безопасности Сирии. Потенциально это может помочь поддержать проекты плотин, реализуемые по всему региону для сельского хозяйства, систем питьевого водоснабжения и защиты от засух, которые могут усилиться в связи с изменением климата. Превосходные знания о водных ресурсах и методы управления ими создают основу для преодоления стрессов и устойчивого развития. Батиграфический анализ знаменует собой важную веху в создании междисциплинарных решений проблем продовольственной безопасности, сохранения водных ресурсов и развития человеческого потенциала, стоящих перед Сирией в настоящее время и в долгосрочной перспективе.

Таблица 4.6– Расчет характеристики водохранилища

Отметка уровня воды, H_i м	Глубина, м	Площадь зеркала, $км^2$		Разность отметок ΔH , м	Объем, млн. $м^3$		Средняя глубина, $h_{ср}$, м	Литораль	
		Ω_i	$\Omega_{ср}$		Объем отд. слоя ΔV_i	Суммарный объем V_{H_i}		Площадь ΩL_i	Критерий L_{Ω}
33	0	0.00	0	-	0	0.00	0	0	-
34	1	0.001	0.001	1	0.001	0.001	1.0	0.001	1
35	2	0.050	0.026	1	0.055	0.056	1.1	0.05	0.98
36	3	0.200	0.125	1	0.339	0.40	2.0	0.15	0.75
37	4	0.350	0.275	1	0.577	0.97	2.8	0.15	0.43
38	5	0.500	0.425	1	0.780	1.75	3.5	0.15	0.30

Отметка уровня воды, H_i , м	Глубина, м	Площадь зеркала, $км^2$		Разность отметок ΔH_i , м	Объем, млн. $м^3$		Средняя глубина, $h_{ср}$, м	Литораль	
		Ω_i	$\Omega_{ср}$		Объем отд. слоя ΔV_i	Суммарный объем $V_{\Sigma i}$		Площадь ΩL_i	Критерий L_{Ω}
39	6	0.650	0.575	1	0.943	2.70	4.1	0.15	0.23
40	7	0.800	0.725	1	1.079	3.77	4.7	0.15	0.19
41	8	1.000	0.900	1	1.217	4.99	5.0	0.20	0.20
42	9	1.200	1.100	1	1.366	6.36	5.3	0.20	0.17
43	10	1.400	1.300	1	1.528	7.89	5.6	0.20	0.14
44	11	1.600	1.500	1	1.702	9.59	6.0	0.20	0.13
45	12	1.800	1.700	1	1.851	11.44	6.4	0.20	0.11
46	13	2.000	1.900	1	2.014	13.45	6.7	0.20	0.10
47	14	2.200	2.100	1	2.235	15.69	7.1	0.20	0.09
48	15	2.400	2.300	1	2.423	18.11	7.5	0.20	0.08
49	16	2.650	2.525	1	2.632	20.74	7.8	0.25	0.09
50	17	2.900	2.775	1	2.830	23.57	8.1	0.25	0.09
51	18	3.150	3.025	1	3.046	26.62	8.4	0.25	0.08
52	19	3.400	3.275	1	3.295	29.91	8.8	0.25	0.07
53	20	3.650	3.525	1	3.535	33.45	9.2	0.25	0.07
54	21	3.900	3.775	1	3.767	37.21	9.5	0.25	0.06
55	22	4.150	4.025	1	3.991	41.21	9.9	0.25	0.06
56	23	4.400	4.275	1	4.249	45.45	10.3	0.25	0.06
57	24	4.700	4.550	1	4.539	49.99	10.6	0.30	0.06
58	25	5.000	4.850	1	4.853	54.85	11.0	0.30	0.06
59	26	5.300	5.150	1	5.281	60.13	11.3	0.30	0.06
60	27	5.600	5.450	1	5.813	65.94	11.8	0.30	0.05
61	28	5.900	5.750	1	6.140	72.08	12.2	0.30	0.05
62	29	6.200	6.050	1	6.453	78.53	12.7	0.30	0.05
63	30	6.500	6.350	1	6.728	85.26	13.1	0.30	0.05

Отметка уровня воды, H_i , м	Глубина, м	Площадь зеркала, км^2		Разность отметок ΔH_i , м	Объем, млн. м^3		Средняя глубина, $h_{\text{ср}}$, м	Литораль	
		Ω_i	$\Omega_{\text{ср}}$		Объем отд. слоя ΔV_i	Суммарный объем V_{H_i}		Площадь ΩL_i	Критерий L_{Ω}
64	31	6.850	6.675	1	7.000	92.26	13.5	0.35	0.05
65	32	7.200	7.025	1	7.352	99.61	13.8	0.35	0.05
66	33	7.550	7.375	1	7.708	107.32	14.2	0.35	0.05
67	34	7.900	7.725	1	8.051	115.37	14.6	0.35	0.04
68	35	8.250	8.075	1	8.411	123.78	15.0	0.35	0.04
69	36	8.600	8.425	1	8.753	132.53	15.4	0.35	0.04
70	37	8.950	8.775	1	9.070	141.60	15.8	0.35	0.04
71	38	9.300	9.125	1	9.356	150.96	16.2	0.35	0.04
72	39	9.675	9.488	1	9.631	160.59	16.6	0.38	0.04
73	40	10.050	9.863	1	9.895	170.49	17.0	0.38	0.04
74	41	10.425	10.238	1	10.165	180.65	17.3	0.38	0.04
75	42	10.800	10.613	1	11.909	192.56	17.8	0.38	0.03
76	43	11.175	10.988	1	12.853	205.41	18.4	0.38	0.03
77	44	11.550	11.363	1	13.589	219.00	19.0	0.38	0.03
78	45	11.925	11.738	1	14.598	233.60	19.6	0.38	0.03
79	46	12.325	12.125	1	15.989	249.59	20.3	0.40	0.03
80	47	12.725	12.525	1	17.259	266.85	21.0	0.40	0.03

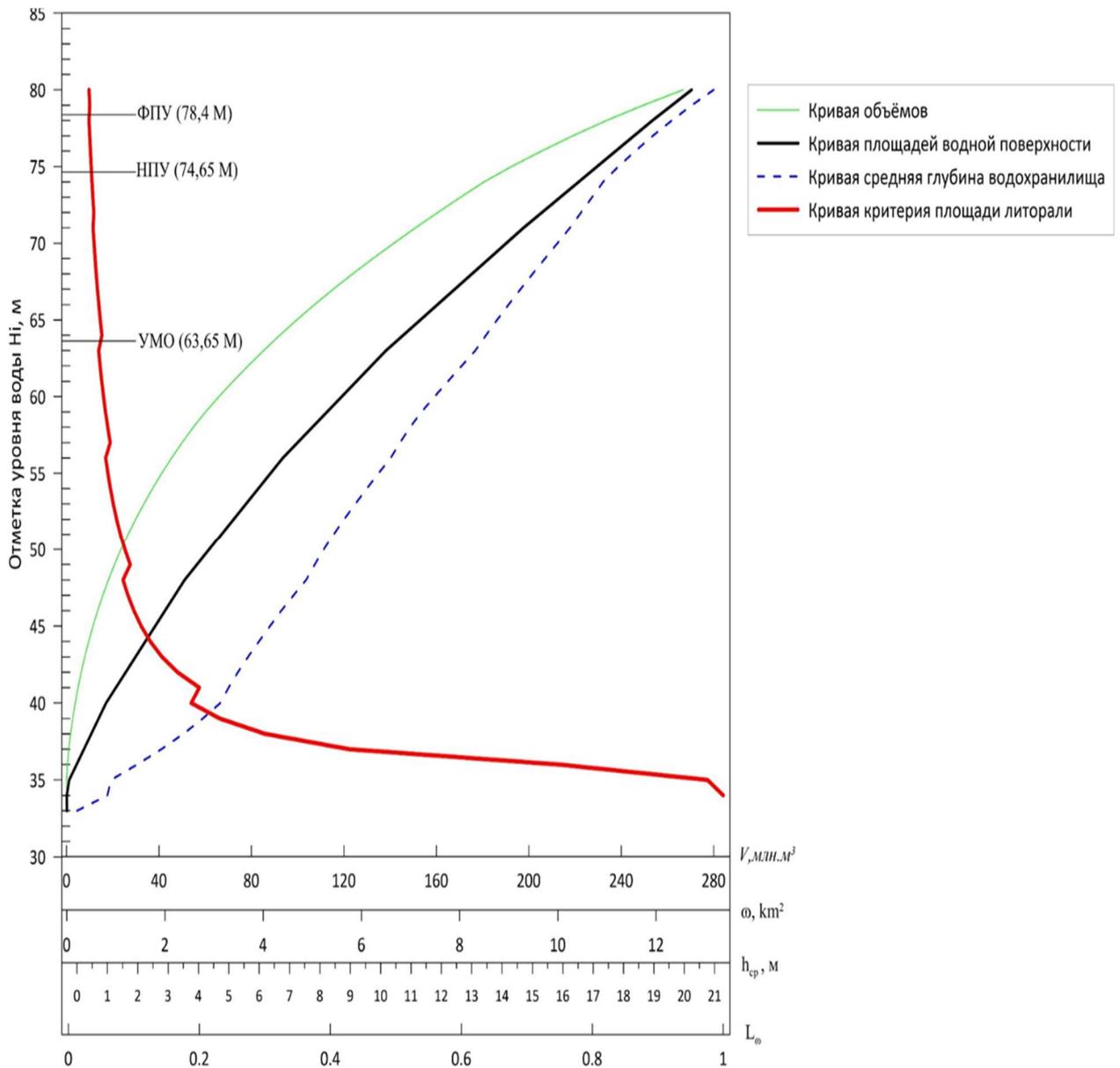


Рисунок 4.5 – Диаграмма Батиграфической характеристики водохранилища (Построена автором по программе Grapher)

4.4 Потери воды из водохранилища 16 Тишрин на испарения и инфильтрации.

С целью оценки испарения воды из водохранилища 16 Тишрин были применены последующие материалы:

1. **Набор данных CHIRPS:** Набор данных CHIRPS включает инфракрасные наблюдения с геостационарных спутников, таких как Geostationary Operational Environmental Satellites (GOES) Национального управления океанических и

атмосферных исследований (NOAA), а также данные об осадках с датчиков дождя и других метеорологических источников. Объединяя данные различных источников информации, CHIRPS стремится преодолеть ограничения, связанные с опорой исключительно на наземные наблюдения, особенно в регионах с ограниченным или редким охватом станций [124].

Чтобы получить данные об объекте 16 Тишрин, обработали цифровую модель рельефа и получили чип-файл для объекта 16 Тишрин площадью 11,2 км², что является максимальной площадью, затем обработали его через вебсайт climateengine, полученные спутниковые данные CHIRPS (ежедневные данные дождей) обработали с помощью Excel, чтобы получить среднемесячное количество осадков за 42 года. Данные отображены на рисунке 4.6.

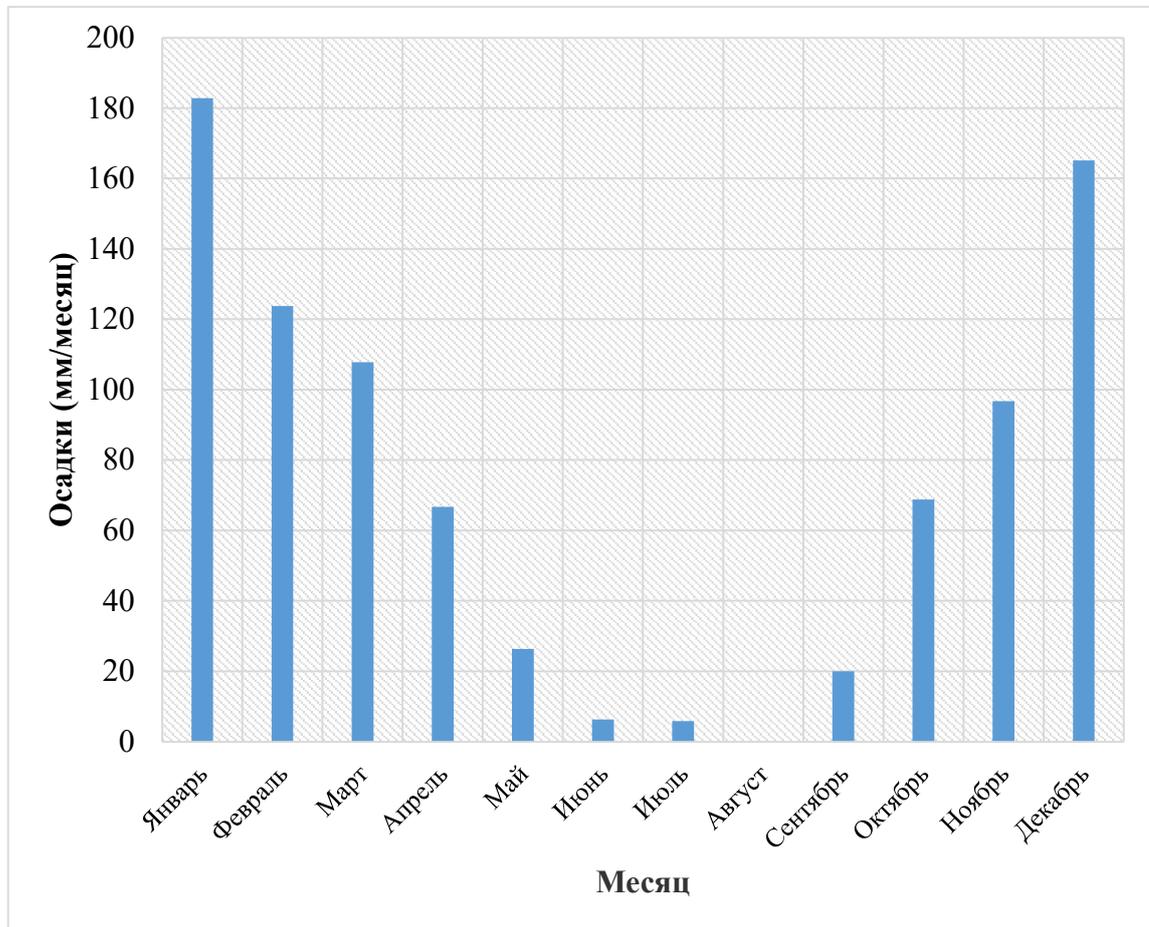


Рисунок 4.6 – Диаграмма среднемесячного количества осадков для водохранилища 16 Тишрин за период с 1981 по 2023 гг. (построена автором в программе Microsoft Excel по данным CHIRPS Daily)

2. Данные спектрорадиометра MODIS MOD16A2

Основной принцип работы продукта MOD16A2 основан на уравнении энергетического баланса, которое гласит, что энергия, поглощенная поверхностью Земли за счет поступающей солнечной радиации, должна быть уравновешена энергией, потерянной в результате различных процессов, включая испарение. MOD16A2 оценивает испарение путем количественной оценки энергии, доступной для испарения и транспирации, на основе спутниковой температуры поверхности земли, индексов растительности и метеорологических данных [184].

Алгоритм использует уравнение Пенмана-Монтейта, хорошо зарекомендовавшее себя в качестве метода оценки потенциального испарения. Он включает такие параметры, как характеристики растительности, свойства почвы и метеорологические условия, чтобы учесть влияние различных факторов окружающей среды на эвапотранспирацию. Выполнили те же предыдущие шаги, чтобы получить ежедневные данные об испарении (рисунок 4.7).

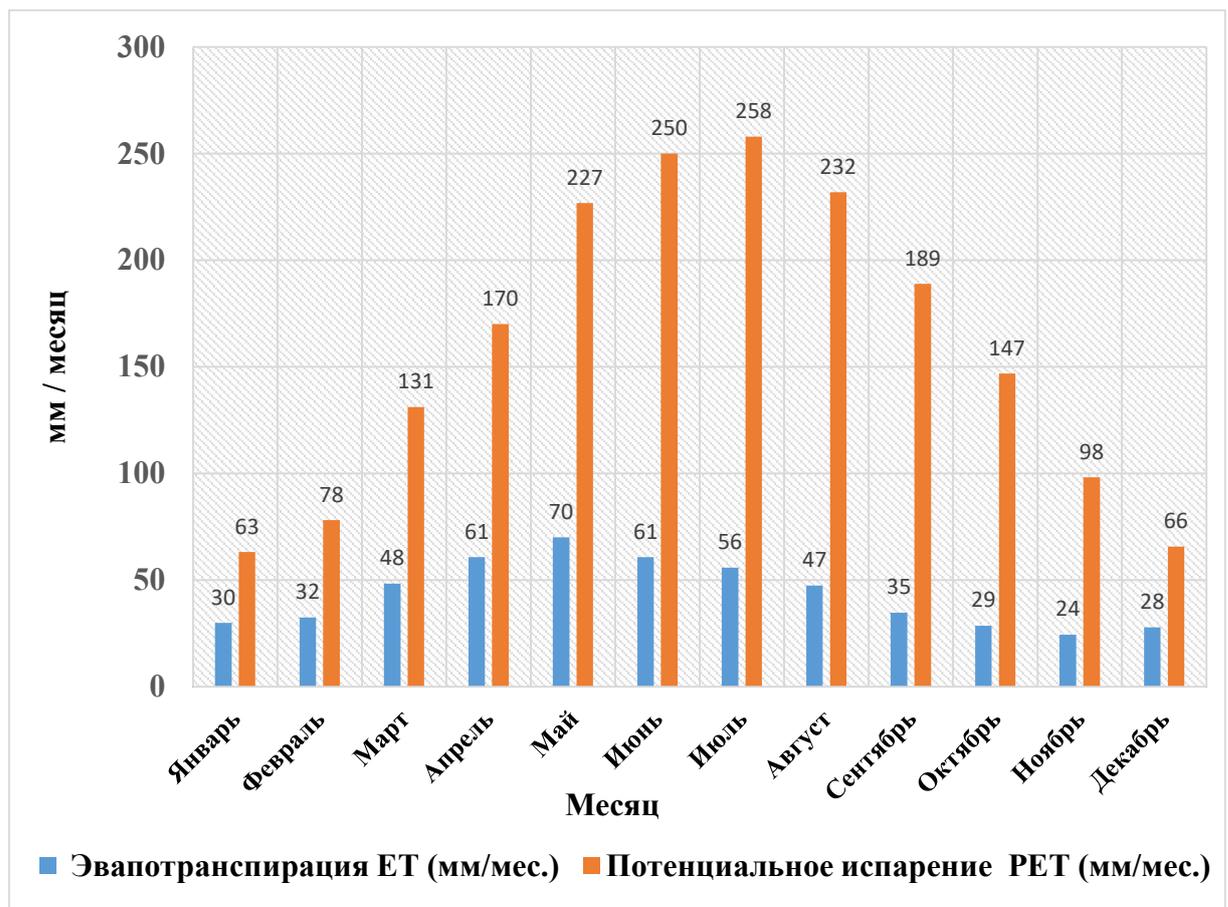


Рисунок 4.7 – Диаграмма среднемесячной эвапотранспирации и потенциального испарения из водохранилища 16 Тишрин за период 2000–2021 гг. (построена автором в программе Microsoft Excel по данным MOD16A2GF_500m)

3. *Расчет чистой скорости испарения* (NET Evaporation Rates): потенциальное испарение (PET) представляет собой максимально возможное испарение, которое могло бы произойти в идеальных условиях, предполагающих достаточное количество воды и отсутствие ограничений на наличие энергии для испарения. Это в первую очередь обусловлено климатическими факторами, такими как температура, солнечная радиация, влажность и скорость ветра.

Испарение воды с поверхности водохранилища может создать локальное скопление влажного воздуха над водой, что замедляет процесс испарения. Это связано с тем, что влажный воздух над водной поверхностью уже содержит определенное количество водяного пара, поэтому градиент насыщения между водой и воздухом уменьшается, что препятствует быстрому испарению.

Ветер может сместить этот влажный слой воздуха, особенно если его скорость достаточно высока. Это может снять препятствие для испарения и способствовать более интенсивному испарению с поверхности воды. Ветер также может перемешивать воздушную массу, что может способствовать увеличению обмена влаги между воздухом и водой.

Тем не менее, ветер, дующий с поверхности водоема, может также принести влагу над поверхностью воды, особенно если вода теплая или если поверхность водоема нагревается солнечным излучением. Это может вызвать конденсацию влаги и образование облаков или тумана, что в свою очередь может препятствовать дальнейшему испарению и уменьшить его интенсивность. Поэтому маловероятно, что фактическая скорость испарения с поверхности водохранилища может достичь 100% от потенциальной испаряемости (PET). Поэтому нужно уменьшить потенциальное испарение, чтобы смоделировать фактическую скорость испарения.

Геологическая служба США провела исследования в водно-болотных угодьях Эверглейдс на юге Флориды, и обнаружила, что фактическое испарение с открытой водной поверхности составляет 80% от PET (потенциального испарения). Таким образом, можно использовать эти значения благодаря схожести климатических условий [70] и определить чистую скорость испарения, мм.

$$\text{Расчет чистой скорости испарения} = 0.8 \times \text{PET} - P, \quad (4.9)$$

Где: РЕТ – потенциальная испаряемость, мм; Р – количество осадков, мм.

4. Расчет месячного объема потерь воды на испарение из водохранилища.

Определяем площадь зеркала водохранилища 16 Тишрин, затем используем следующую формулу:

$$V = X \times H, \quad (4.10)$$

Где: V – объем испарившейся воды, млн. м³; X – площадь зеркала водохранилища, км²; H – уровень испаряемой воды, м.

Однако площадь зеркала водохранилища никогда не бывает статичной, она постоянно меняется, поскольку объем воды в водохранилище либо увеличивается, либо уменьшается.

Чтобы выполнить эту задачу и вычислить площадь зеркала водохранилища, было использовано 12 изображений со спутника Sentinel-2 за период с октября 2021 г. по сентябрь 2022 г., затем был применен метод Модифицированной нормированной разницы индекса воды MNDWI (Modified Normalised Difference Water Index) [84, 189, 193].

$$MNDWI = \frac{Green - MIR}{Green + MIR}, \quad (4.11)$$

Где: Green – зеленый канал Sentinel-2; MIR – инфракрасный канал Sentinel-2.

Sentinel-2 – это спутник, разработанный Европейским космическим агентством (ЕКА) в рамках программы Copernicus, которая является европейской инициативой по наблюдению Земли и мониторингу окружающей среды. Цель миссии Sentinel-2 - получение оптических изображений высокого разрешения суши и прибрежных районов Земли для различных применений, включая сельское и лесное хозяйство, картирование почвенно-растительного покрова и мониторинг окружающей среды [102].

На спутнике Sentinel-2 установлен прибор для получения мультиспектральных изображений под названием MultiSpectral Instrument (MSI). MSI снимает данные в 13 спектральных диапазонах, охватывающих широкий диапазон длин волн от видимой до ближней инфракрасной и коротковолновой

инфракрасной областей электромагнитного спектра. Пространственное разрешение снимков составляет от 10 до 60 метров, в зависимости от спектрального диапазона [102].

Второй шаг – рассчитать количество осадков, выпавших на поверхность водохранилища,

$$V(P) = \frac{\text{СРЗНАЧ}(P)}{1000} \times X \times \frac{1000000}{1000000}, \quad (4.12)$$

Где: $V(P)$ – количество выпавших осадков на поверхности водохранилища; млн. м³; СРЗНАЧ (P) – среднеемесячное количество осадков для водохранилища 16 Тишрин, мм;

X – площадь зеркала водохранилища, км².

Третий шаг рассчитать фактические потери на испарение с поверхности водохранилища, вычисляется по формуле:

$$V(PET) = \frac{\text{СРЗНАЧ}(PET)}{1000} \times X \times \frac{1000000}{1000000}, \quad (4.13)$$

Где: $V(PET)$ – фактические потери на испарение с поверхности водохранилища, млн. м³; СРЗНАЧ (PET) – Среднеемесячное потенциальное испарение, мм; X – площадь зеркала водохранилища, км².

Последний шаг – берем фактическое испарение (Actual Evaporation (AET) – фокусируется только на испарении воды с поверхности почвы и водных источников, исключая транспирацию растений) и вычитаем осадки, результаты представлены в таблице 4.7 и рисунок 4.8 [4].

Таблица 4.7 – Результаты расчета потерь воды на испарение из водохранилища 16 Тишрин за гидрологический год (2021 – 2022 гг.)

Месяц	Осадки CHIRPS Прес. (мм)	Испарение MODIS PET (мм)	Количество выпавших осадков на поверхности водохранилища (млн куб. м)	Фактические потери на испарение с поверхности водохранилища (млн куб. м)	Испарение - Осадки (млн куб. м)	Объем воды в водохранилище (млн куб. м)	Уровень воды в водохранилище (м)	Площадь зеркала водохранилища (км ²)
Окт.	66.49	146.81	0.5	0.9	0.4	138.9	69.5	7.9
Ноя.	84.09	98.22	0.8	0.7	0	158.9	71.9	9.0
Дек.	178.03	65.71	1.3	0.4	-0.9	131.8	69.0	7.5
Янв.	189.36	63.12	1.5	0.4	-1.1	138.8	69.4	7.9
Февр.	129.71	78.06	1.4	0.7	-0.7	192.4	75.5	10.9
Март	95.56	131.07	0.9	1	0.1	168.2	72.9	9.6
Апр.	69.43	169.98	0.5	1	0.5	130.2	68.6	7.4
Май	24.80	226.75	0.3	1.8	1.6	177.5	73.9	10.1
Июнь	5.88	249.92	0.1	2	1.9	175.7	73.6	10.0
Июль	4.47	257.88	0	1.9	1.9	163.4	72.3	9.3
Авг.	0.07	231.88	0	1	1	97.3	64.8	5.5
Сен.	23.40	188.87	0.2	1.3	1.1	152.2	71.2	8.7
Сумма	871.29	1908.27	7.5	13.2	5.7			

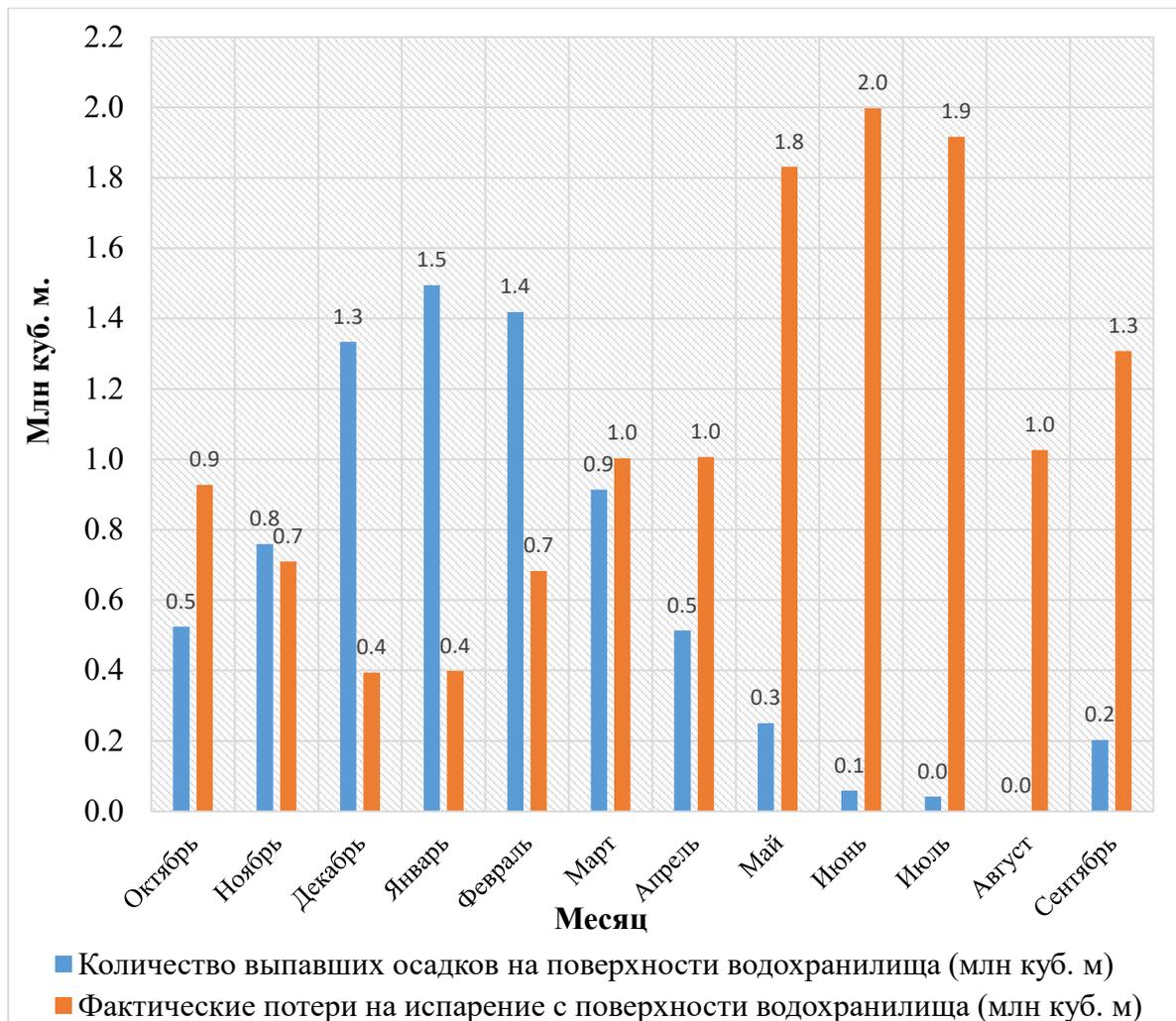


Рисунок 4.8 – Диаграмма среднемесячных объемов выпадения осадков и потерь воды на испарение за гидрологический период 2021 – 2022 гг. для водохранилища 16 Тишрин

Испарение с водохранилища представляет собой значительную экономическую проблему: в исследовании подчеркивается, что испарение с водохранилища 16 Тишрин приводит к значительным экономическим потерям. Потеря воды в результате испарения сокращает доступные запасы воды для различных целей, таких как сельское хозяйство, бытовое потребление и промышленная деятельность. Такое снижение доступности воды может привести к увеличению затрат, снижению производительности и замедлению экономического развития в регионах, испытывающих дефицит воды.

Методы исследования позволили получить важные результаты по водному балансу водохранилища, для целенаправленного решения этой проблемы. Диаграмма на рисунке 4.8 показывает, что объем выпавших осадков превышает

величину испарения только зимой, а величина испарения превышает объем выпавших осадков в другие сезоны. Летом потери достигают 4,8 млн куб. м. из общего количества потерянной на испарение воды 5,7 млн куб. м. в год [4].

Для расчета общих потерь воды из водохранилища 16 Тишрин с учетом инфильтрации выполним следующие действия:

1. Объект исследования находится в хороших гидрологических условиях, значит принимаем фильтрации равные 30 мм/месяц.

2. Объем потерь воды из водохранилища 16 Тишрин на инфильтрации вычисляется следующим образом [43]:

$$W_{\text{инф}} = 0,001 \times \Pi_{\text{и}} \times X \quad (4.14)$$

Где: $\Pi_{\text{и}}$ – Потеря воды на инфильтрацию принимается 30 мм/месяц в зависимости от гидрологических условий объекта исследования 16 Тишрин, мм; X – площадь зеркала водохранилища 16 Тишрин, км².

Потеря воды из водохранилища 16 Тишрин значительная из-за испарения и инфильтрации.

Испарение составляет 5,7 млн.куб.м. в год, а инфильтрация добавляет еще 3,1 млн.куб.м. (таблица 4.8), что приводит к общей потере воды в размере 8,8 млн.куб.м. в год.

Решение этой потери воды имеет существенное значение для устойчивости водохранилища и окружающей экосистемы. Реализация стратегий по сокращению испарения и инфильтрации смягчит негативные экономические и экологические последствия этих потерь.

Таблица 4.8 – Вычисление потерь воды из водохранилища 16 Тишрин в мм слоя вследствие инфильтрации

Месяцы	Фильтрация Ф, мм	Площадь зеркала водохранилища (км ²)	Потери вследствие инфильтрации в (млн.куб. м)
I	30	7.9	0.2
II	30	10.9	0.3
III	30	9.6	0.3

Месяцы	Фильтрация Ф, мм	Площадь зеркала водохранилища (км ²)	Потери вследствие инфильтрации в (млн.куб. м)
IV	30	7.4	0.2
V	30	10.1	0.3
VI	30	10	0.3
VII	30	9.3	0.3
VIII	30	5.5	0.2
IX	30	8.7	0.3
X	30	7.9	0.2
XI	30	9.0	0.3
XII	30	7.5	0.2
Год	360	-	3.1

Чтобы уменьшить потери от испарения, мы провели комплексные расчеты и определили три критических уровня воды в водохранилище, где уровень воды достигается при горизонтальном расширении водной поверхности за счет накопления воды. Это явление сопровождается повышением температуры поверхностного слоя воды (Увеличение площади поверхности, подвергающейся воздействию солнечного света) и усилением испарения. Эти уровни соответствуют минимальной площади поверхности, что снижает воздействие солнечного света и последующее испарение. Точное определение этих точек позволяет оптимизировать водосбережение. Критические уровни воды в водохранилище 16 Тишрин следующие:

При уровне 73.50 м площадь водохранилища составляет 1006,82 га.

При уровне 73,60 м площадь увеличивается до 1028,55 га.

Второй критический уровень находится на отметке 73,90 м, его площадь составляет 1029,74 га и отметка 74 м площадь водохранилища достигает 1045,50 га

Третий уровень 74,5 м площадь водохранилища составляет 1051.22 га и отметка 74,6 м площадь водохранилища достигает 1074.98 га (рисунок 4.9).

Основываясь на наших результатах, мы рекомендуем поддерживать уровни воды на отметках 73,50 м; 73,90 м или 74,5 м в водохранилище 16 Тишрин,

особенно в периоды засухи, чтобы оптимизировать накопление воды в плотинах выше по течению.

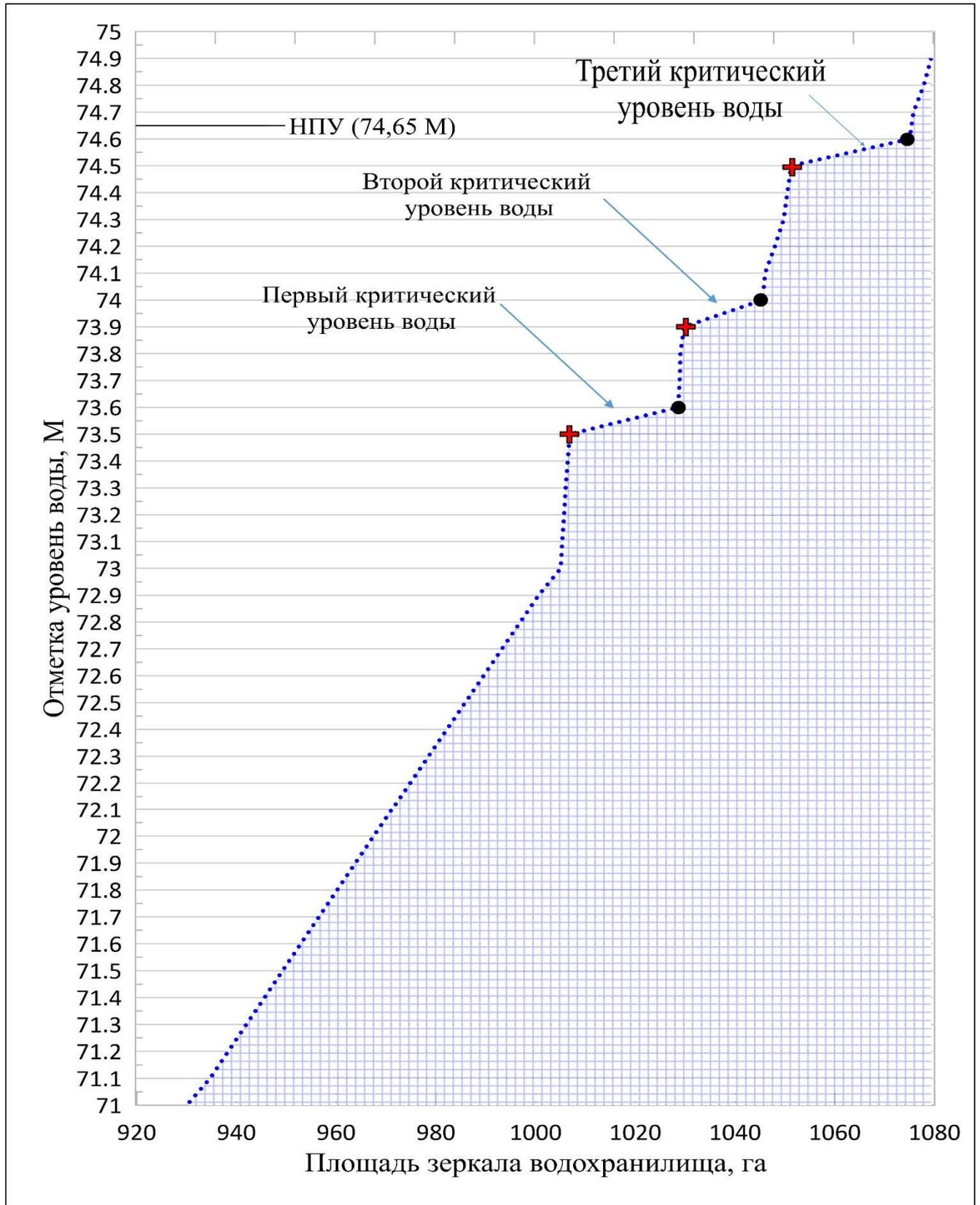


Рисунок 4.9 – Диаграмма, показывающая изменения площади на разном уровне воды от 71 до 75 метр (Построена автором по программе Excel)

Вывод по главе

1. Предоставлены расчет эмпирических среднегодовых притоков воды в водохранилище 16 Тишрин, при обеспеченности 5% объема воды равно 361,23 млн куб. м.

2. Исследование, проведенное на плотине 16 Тишрин, показало значительные результаты. При расчете кривой ПОУ с использованием цифровой модели рельефа двумя разными способами, выявлены ошибки в высоте и объеме. После коррекции ошибок на основе физических измерений, в высоте ошибка составила 2,65 метра в обоих методах, а ошибка в объеме 89,70 в первом методе и 87,51 во втором. После исправлений коэффициент ошибок составил 0,2% и 0%. Эти данные позволяют более точно определить объем воды на разных уровнях и оценить потери из-за испарения и инфильтрации. Это исследование имеет важное значение для управления водными ресурсами плотины 16 Тишрин и бассейна реки АКАШ в САР.

3. Представлены расчеты батиграфической характеристики водохранилища 16 Тишрин.

4. Исследование, проведенное по расчету испарения из водохранилища 16 Тишрин, выявило значительные результаты. При использовании метода дистанционного зондирования было установлено, что потери воды составляют 5,7 млн.куб. метров без учета инфильтрации, а с учетом инфильтрации – 8,8 млн.куб. метров. На основе этих данных рекомендуется поддерживать уровень воды на трех критических отметках: 73,50; 73,90; и 74,5 метра. При соблюдении этих уровней площадь будет меньше, а испарение минимально.

ГЛАВА 5. МОДЕЛИРОВАНИЕ ДОЖДЕВОГО СТОКА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ HES-NMS ДЛЯ БАССЕЙНА РЕКИ АЛ КАБИР АЛ ШАМАЛИ.

5.1 Расчет числа кривых стока SCS-CN на основе землепользования и типов почв

Числа кривых стока SCS-CN для бассейна реки АКАШ был рассчитан с использованием следующих данных:

- 1- **Дата о почве и гидрологические группы** (раздел 2.3.3 и рисунок 2.16).
- 2- **Дата о землепользовании** 2022 года (раздел 2.3.2 и рисунок 2.15), и была добавлена в программу величина числа кривых стока SCS-CN для каждого вида землепользования (таблица 5.1).

Таблица 5.1 – Числа кривых стока SCS-CN для каждого типа землепользования в водосборном бассейне реки Ал Кабир Ал Шамали [229]

Идентификация	Тип землепользования и гидрологическое состояние	Числа кривых стока SCS-CN для гидрологической группы почв			
		A	B	C	D
1	Бесплодная земля (Barren Land)	77	86	91	94
2	Застроенная территория (Полностью развитые городские районы), хорошее состояние	39	61	74	80
3	Культуры (Cultivated C), хорошее состояние	65	75	82	86
4	Кустарник/кустарничек (Луг - сплошная трава) (Shrub/Scrub)	30	58	71	78
5	Смешанный лес (Mixed Forest), хорошее состояние	30	55	70	77
6	Поверхностные воды (Open Water)	98	98	98	98

3- **ЦМР:** выбор ЦМР является сложной и важной задачей, поскольку она оказывает существенное влияние на точность результатов, которые мы хотим получить, такие как определить границы водосборного бассейна, водотоков, морфометрические и гидрологические характеристики р. АКАШ. Исходя из этого мы провели исследование, чтобы выбрать наилучшее ЦМР для реки АКАШ.

В результате исследований изучались точность и разрешение шести последних глобальных ЦМР для использования в гидрологическом моделировании. Эти модели включают SRTM1, ALOS PALSAR, GMTED2010, GTOPO 30, ASTER V3 и SRTM GL1.

Оценка проводилась на двух изучаемых территориях: район Сирийское побережье в Сирии (район реки Ал Кабир Ал Шамали), представляющий равнинную топографию, Черноморский район и Ахтубинский район в Астраханской области в Российской Федерации, представляющий рельеф сложный. 237 и 62 контрольных точек с измеренными GPS-координатами были использованы в обеих областях соответственно.

Основываясь на полученных результатах, можно сказать, что по коэффициенту корреляции и стандартному отклонению модель GMTED 2010 и ASTER V3, исследующая сирийский регион, и модель ALOS PALSAR и SRTM GL 1 для региона России, являются лучшими, для проведения гидрологического анализа и считаются хорошим инструментом в отсутствие точных локальных моделей (таблица 5.2 и рисунок 5.1, 5.2) [3].

Таблица 5.2 – (А) Статистические показатели высот ЦМР в районе Сирийское побережье (Сирия); (Б) Статистические показатели высот ЦМР в районе Черноморского и Ахтубинского (Россия).

(А)

Название	Минимум	Максимум	Среднее значение	Среднеквадратическое отклонение	Корреляция
Высота (ele) точки GPS	5.235705	1414.238	437.105	306.907	NA
ASTER V3	17	1323	409.726	295.962	94.41%
SRTM 1	21	1327	417.241	294.999	94.40%
GTOPO 30	6	1338	409.060	298.275	89.75%
GMTED 2010	21	1335	417.300	296.020	94.42%
SRTM GL 1	44.974	1352.956	443.057	295.136	94.40%
ALOS PALSAR	46	1348	442.988	294.992	94.32%

(B)

Название	Минимум	Максимум	Среднее значение	Среднеквадратическое отклонение	Корреляция
Высота точки GPS (ele)	-10.4939	49.58	23.644259	16.932	NA
ASTER V3	-17	44	13.574	10.933	55.92%
GTOPO 30	-15	38	11.710	12.014	43.32%
GMTED 2010	-14	31	11.565	9.203	72.30%
SRTM GL 1	-21.532	23.956	6.154	9.161	72.82%
SRTM 1	-17	31	11.355	9.565	71.30%
ALOS PALSAR	-22	24	6.284	9.369	73.01%

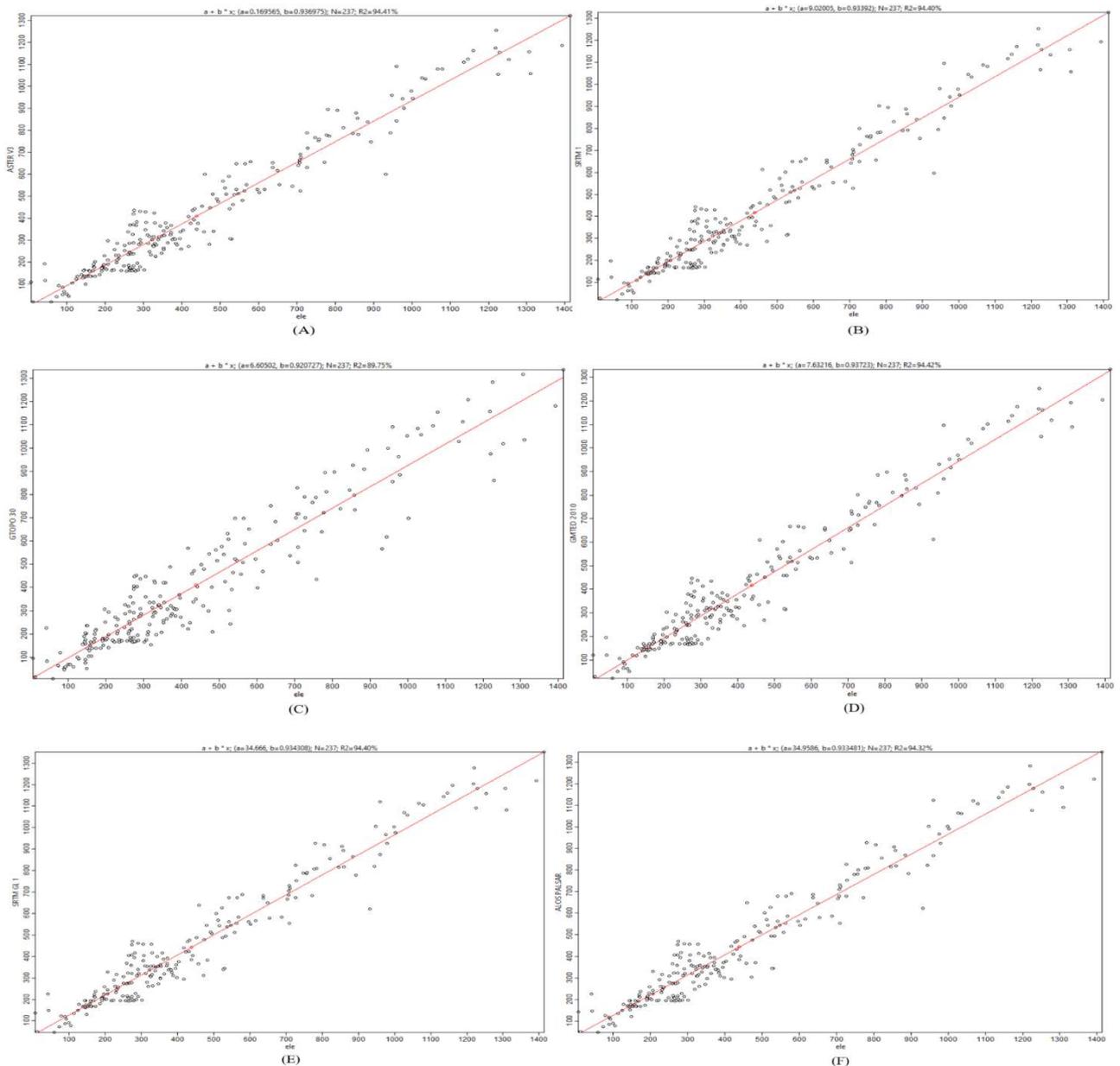


Рисунок 5.1 – Диаграмма рассеяния между HDEM и HGPS в районе Сирийское побережье (Сирия), где (A) ASTER V3 (B) SRTM 1 (C) GTOPO 30 (D) GMTED 2010 (E) SRTM GL 1 (F) ALOS PALSAR

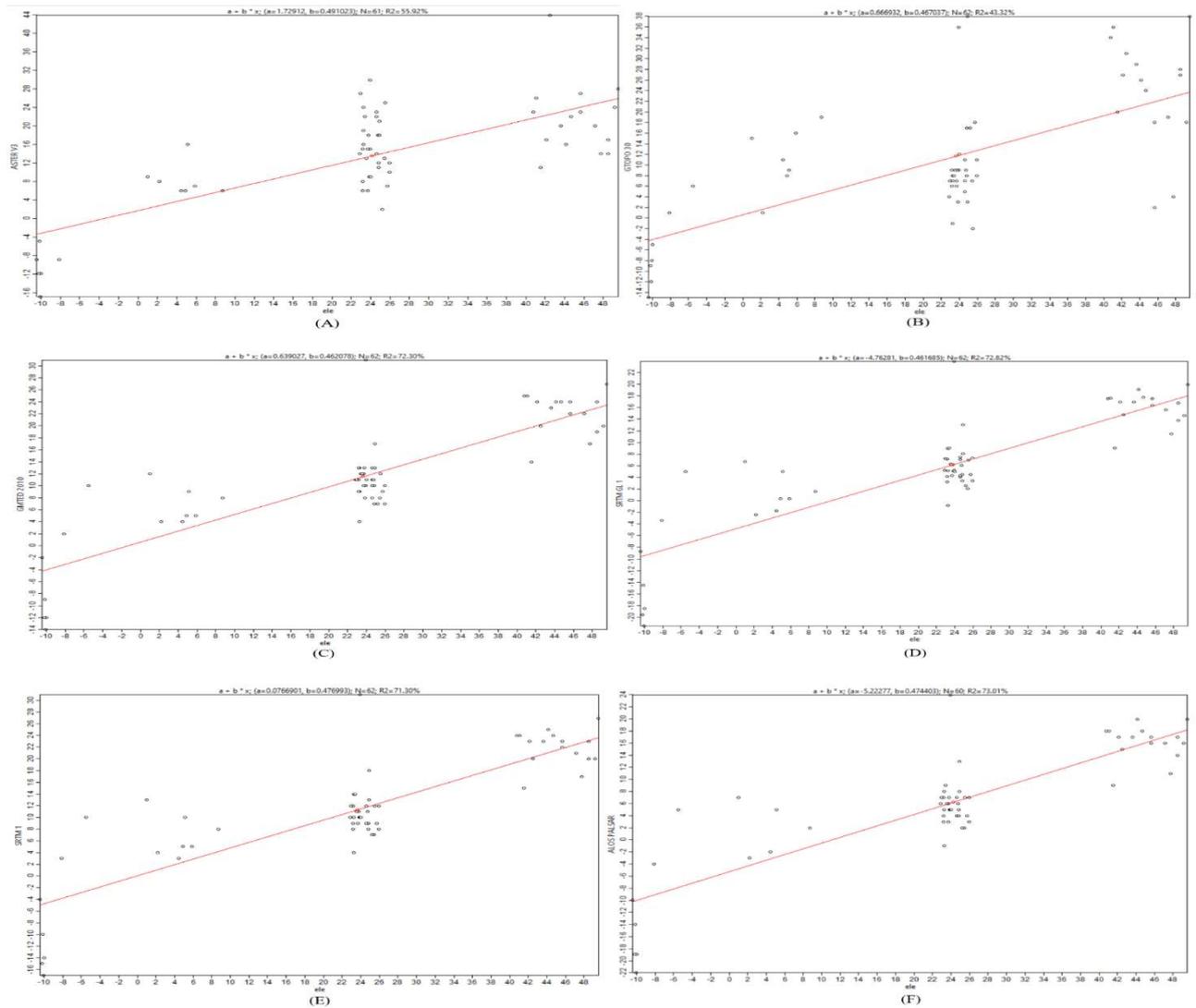


Рисунок 5.2 – Диаграмма рассеяния между HDEM и HGPS в районе Чернойарского и Ахтубинского (Россия), где (A) ASTER V3 (B) GTOPO 30 (C) GMTED 2010 (D) SRTM GL 1 (E) SRTM 1 (F) ALOS PALSAR

Информация представлена в таблице 1.2, показывает пространственное разрешение в градусах и метрах, лучшее разрешение представляет ALOS PALSAR, SRTM GL 1, SRTM1, ASTER V3 и SRTM GL1.

Исходя из результатов можно сказать, что ALOS PALSAR, SRTM1 и ASTER V3 наиболее надежные ЦМР для гидрологического моделирования, мы выбрали в зависимости от нашего исследования ASTER V3 для извлечения границ водосборного бассейна и водотока реки АКАШ.

4- Выбор программных продуктов ГИС для расчета: провели исследование для выбора подходящих программ для расчета, рассмотрели и проанализировали современные программные продукты ГИС, которые играют важную роль при

расчете числа кривых стока SCS-CN. В результате выполнения исследования получили следующие данные (таблица 5.3).

Оцифровка данных по исследованным водосборам показала, что рассмотренные программы дали довольно близкие результаты и соответствовали реальным характеристикам водосборов [7, 8, 11].

Таблица 5.3 – Результаты выполнения гидрологического анализа для объекта исследования по данным ЦМР

Программные продукты	Длина реки, определенная с помощью гидрологического моделирования на основе ЦМР (данные ASTER V3), км	Длина реки по данным Haifa S., год 2022, км	Отклонение от данных Haifa S., год 2022, %	Площадь водосборного бассейна, рассчитанная по данным ASTER V3	Площадь водосборного бассейна по данным Haifa S., год 2022, км ²	Отклонение от данных Haifa S., год 2022, %
ArcGIS Pro	86.824	96	9.5	1090	1025	6.34
Watershed modeling system (WMS)	83.702		12.81	1089.12		6.25
System for Automated Geoscientific Analyses (SAGAGIS)	84.502		11.97	1088		6.14
Global mapper	84		12.5	1092.2		6.55
Whitebox GAT	77.09		19.7	1075		4.87
Geographic Resources Analysis Support System (GRASSGIS)	102.194		6.45	1071.29		4.51
The Integrated Land and Water Information System (ILWISGIS)	78.84		17.87	1074.68		4.84
Surfer	91.98		4.18	1160.943		13.26

В исследовании использовали следующие программы: ArcGIS Pro; WMS; SAGAGIS; GRASSGIS.

Было проведено механическое разграничение бассейна путем выбора основных точек для водоотведения, таких как точка устья реки АКАШ в Средиземном море с координатами: Широта: $35,5505^\circ$ северной широты; Долгота: $35,7972^\circ$ восточной долготы, таким способом мы получаем границы водосборного бассейна, для более точного выполнения гидрологического моделирования выбрано внутреннее разграничение, которое выполняется двумя способами: первый способ изменение типа землепользования; второй способ изменение наклона водного потока. Этапы разграничения выполнялись по схеме 1.6 в разделе номер один с использованием ГИС-технологии методом D8.

После завершения внедрения, сбора данных и выполнения необходимых операций в программах геоинформационных систем, модель уже готова к выполнению процесса расчета числа кривых стока SCS-CN, результаты отображаются на следующей карте 5.3 и таблице 5.4.

Таблица 5.4 – Числа кривых стока SCS-CN и морфометрические характеристики суббассейна реки АКАШ

№	Название суббассейна	Площадь Км ²	CN	Периметр Р, км	Склоны суббассейнов м/м	Средняя высота водосбора, м	Максимальное расстояние потока, км
1	Гюзельарт	62,21	80,72	51,72	0,1990	657,89	12,98
2	Кесаб	78,96	78,54	61,13	0,2415	606,05	16,97
3	Хаят	108,13	77,98	71,30	0,2840	459,66	22,31
4	Нисибин	19,24	77,27	36,28	0,2872	365,30	7,68
5	Рабия	16,74	77,48	34,4	0,2592	376,17	11,37
6	Курт	11,124	78,16	28,22	0,2218	375,14	8,20
7	Кафрия	25,55	78,13	34,85	0,2652	293,72	7,30
8	Гмам	124,37	77,53	94,64	0,2500	349,29	28,22
9	Касмин (водохранилище 16 Тишрин)	87,49	80,52	71,56	0,1634	169,59	22,92
10	Аль Джундерья	68,37	76	63,72	0,1052	77,56	18,24
11	Латакия	35,912	63,03	42,04	0,0574	37,93	14,27

№	Название суббассейна	Площадь Км ²	CN	Периметр Р, км	Склоны суббассейнов м/м	Средняя высота водосбора, м	Максимальное расстояние потока, км
12	Маджал Салех	57,07	78,25	52,33	0,2251	849,63	19,62
13	Аль Хаффа	50,85	78,45	63,66	0,1723	307,27	19,19
14	Аль Шилфатия	35,96	79,05	37,05	0,1360	97,44	12,46
15	Сальма	60,15	77,88	49,43	0,2395	837,69	16,96
16	Кабани	40,73	78,17	43,62	0,2161	756,69	13,68
17	Кинсабба	61,87	77,61	63,69	0,2377	737,77	18,55
18	Дуброк	33,41	77,74	49,95	0,2453	737,72	16,02
19	Ханбушие	60,77	78,94	61,51	0,1992	585,48	19,32
20	Туффахия	37,45	77,7	43,42	0,2837	462,05	12,36

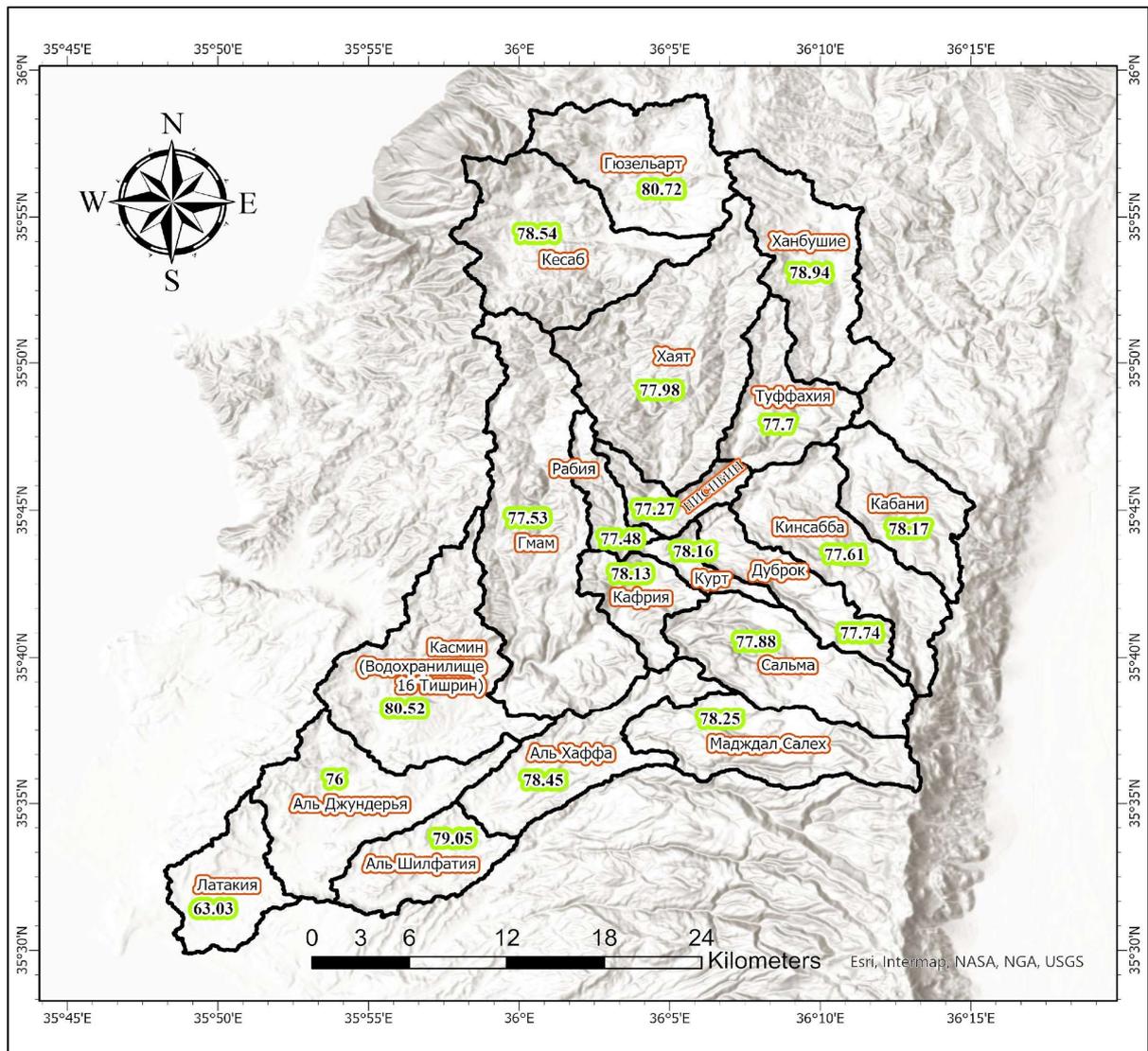


Рисунок 5.3 – Карта числа кривых стока SCS-CN водосборного бассейна (карта построена автором по программе ArcGIS Pro)

Результаты показывают, что кривые чисел в верхнем и среднем бассейне реки АКАШ высокое, а в низовья реки низкое благодаря разным типам почвы и морфометрическим характеристикам, где верхний и средний бассейн засыпан грунтом глины (светлая) и гидрологические группы D, а в низовьях суглинок с гидрологической группой В. Также в верхнем бассейне преобладает высокий наклон (40-50) градусов, средний равнинные участки с небольшими извилистым гравием и в низовьях бассейна прибрежные равнинные земли.

На территории верхнего бассейна реки АКАШ преобладают леса и мелкие кустарники, а в среднем бассейне - водохранилище 16 Тишрин, в нижнем бассейне преобладает сельскохозяйственные культуры и населенные пункты.

5.2 Расчет времени до пика и времени добегаия

В результате запустив гидрологическую модель и рассчитав морфометрические и гидрологические характеристики бассейна реки АКАШ, мы определили время до пика и время добегаия. Для расчета времени до пика использовали метод SCS-CN, этот метод зависит от кривых чисел, длины суббассейна в футах и склоны суббассейна в процентах (уравнение 5.1 и таблице 5.5) [229, 230].

$$T_p = (L)^{0.8} \times (((1000 / CN) - 10) + 1)^{0.7} / (1900 \times \sqrt{Y}), \quad (5.1)$$

Где: T_p - время до пик, час; L - длина суббассейна, фут; CN – Числа кривых стока SCS-CN; Y - склоны суббассейна, %.

Таблица 5.5 – расчет времени до пика с использованием метода SCS-CN

№	Название суббассейна	Длина суббассейна, фут (L)	Склоны суббассейна, % (Y)	Время до пика (час)
1	Гюзельарт	42601.349	19,899	1,40
2	Кесаб	55684.901	24,151	1,69
3	Хаят	73183.86	28,404	1,967
4	Нисибин	25209.974	28,727	0,852
5	Рабия	37302.724	25,917	1,219
6	Курт	26902.974	22,185	0,994
7	Кафрия	23942.644	26,516	0,829

№	Название суббассейна	Длина суббассейна, фут (L)	Склоны суббассейна, % (Y)	Время до пика (час)
8	Гмам	92583.893	24,996	2,566
9	Касмин (водохранилище 16 Тишрин)	75187.486	16,341	2,451
10	Аль Джундерья	59833.406	10,518	2,918
11	Латакия	46815.492	5,737	4,612
12	Мадждал Салех	64373.157	22,514	1,978
13	Аль Хаффа	62971.961	17,233	2,208
14	Аль Шилфатия	40891.902	13,597	1,728
15	Сальма	55643.264	23,953	1,726
16	Кабани	44896.058	21,601	1,517
17	Кинсабба	60844.893	23,766	1,876
18	Дуброк	52553.408	24,529	1,636
19	Ханбушие	63387.317	19,924	2,033
20	Туффахия	40561.127	28,371	1,238

Для расчета времени добегаания использовали метод Кирпичем, этот метод зависит от коэффициента типа земли, длины поверхностного стока, среднего наклона на суше, числа кривых стока SCS-CN суббассейна и коэффициент времени добегаания (уравнение 5.2 и 5.3, таблице 5.6).

Коэффициент времени добегаания вычисляется по формуле 5.2, рассчитывать этот коэффициент необходимо только для лесных горных районов.

$$C_t = 1 \times ((80 - CN) \times 0.04). \quad (5.2)$$

Где: C_t : Коэффициент времени добегаания; CN – Числа кривых стока SCS-CN.

Следует отметить, для суббассейна Аль Джундерья и Аль Шилфатия, время добегаания расчётное только по уравнению 5.3, поскольку эти суббассейны преимущественное землепользование являются травянистыми, равнинными, а суббассейн Латакия преимущественное землепользование является городского типа (асфальт), остальные суббассейны нужны для расчета двух уравнений 5.2 и 5.3, поскольку преимущественное землепользование этих суббассейнов является лесным, травянистым, горным [229, 230].

$$T_c = m \times 0,00013 \times (L^{0.77} / S^{0.385}) \times C_t, \quad (5.3)$$

Где: T_c : Время добегаия, час; L - Длина суббассейна, фут; S - Средний наклон на суше; C_t - Коэффициент времени добегаия.

Таблица 5.6 – Расчет время добегаия с использованием методом Кирпичем

№	Название суббассейна	Длина суббассейна, фут (L)	Коэффициент времени добегаия (C_t)	Средний наклон на суше (S)	Коэффициент типа земли (m)	Время добегаия (час)
1	Гюзельарт	42601.349	0,971	0,052	2	2,89
2	Кесаб	55684.901	1,059	0,079	2	3,29
3	Хаят	73183.86	1,081	0,032	2	5,87
4	Нисибин	25209.974	1,109	0,036	2	2,54
5	Рабия	37302.724	1,101	0,044	2	3,16
6	Курт	26902.974	1,073	0,077	2	1,93
7	Кафрия	23942.644	1,075	0,059	2	1,96
8	Гмам	92583.893	1,099	0,024	2	7,96
9	Касмин (водохранилище 16 Тишрин)	75187.486	0,979	0,022	2	6,26
10	Аль Джундерья	59833.406	-	0,014	2	6,34
11	Латакия	46815.492	-	0,011	0.400	1,19
12	Мадждал Салех	64373.157	1,070	0,060	2	4,14
13	Аль Хаффа	62971.961	1,062	0,038	2	4,80
14	Аль Шилфатия	40891.902	-	0,020	2	4,13
15	Сальма	55643.264	1,085	0,074	2	3,46
16	Кабани	44896.058	1,073	0,053	2	3,31
17	Кинсабба	60844.893	1,096	0,063	2	3,98
18	Дуброк	52553.408	1,091	0,076	2	3,30
19	Ханбушие	63387.317	1,042	0,033	2	5,03
20	Туффахия	40561.127	1,092	0,043	2	3,38

5.3 Метод маршрутизации каналов НЕС-HMS Muskingum-Cunge (RD) для бассейна реки Ал Кабир Ал Шамали

Моделирование паводковых потоков и построение графиков стока (гидрографов) являются ключевыми элементами гидрологических моделей водосборов, русла рек, поймы и водохранилищ оказывают значительное влияние на количество воды, достигающей любой точки сети водных путей. Маршрутизация паводков влияет на пиковый расход, сроки, глубину и масштабы наводнений, а также на такие экологические факторы, как эрозия берегов, чистота поймы, перенос и отложение наносов, таким образом, можно сказать, что маршрутизация в гидрологии является способом прогнозирования изменений

формы гидрографа по мере движения и накопление воды через каналы или водохранилища.

Можно описать движение воды через водотоки в терминах влияния трансляции и накопления, эти два типа представляют собой общие характеристики двух видов естественных паводковых волн. Перевод включает в себя сохранение той же графической формы гидрографа потока с перемещением наводнения вниз по руслу реки (рисунок 5.4). А влияние накопления или ослабления предполагает использование долинных хранилищ для снижения пика потока и изменения формы гидрографа потока (рисунок 5.5) [190, 229].

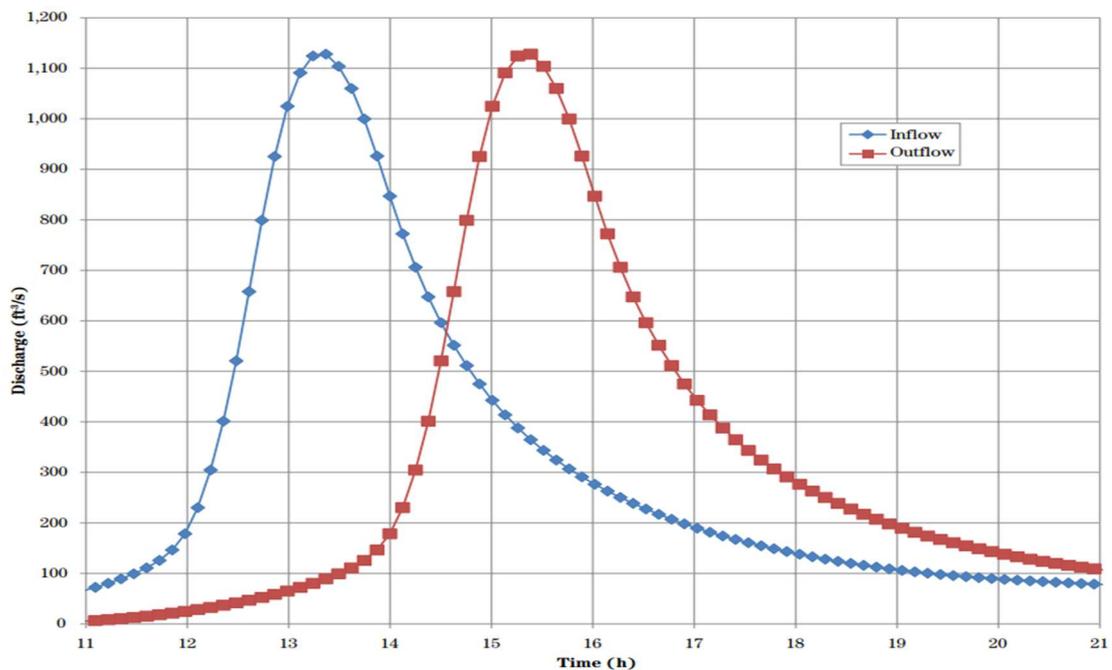


Рисунок 5.4 – Гидрограф паводка в двух точках вдоль русла, демонстрирующая эффекты перемещения [229]

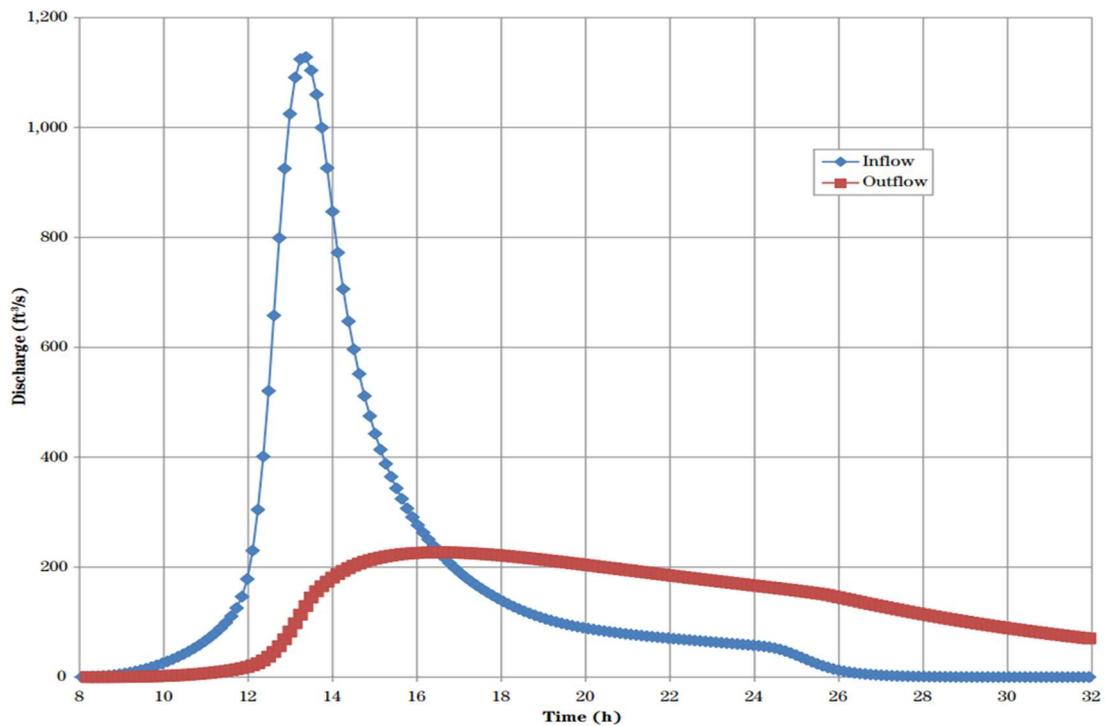


Рисунок 5.5 – Гидрограф паводка в двух точках вдоль русла, демонстрирующий эффект накопления [229]

Методы маршрутизации делятся на два общих разделения, а именно гидрологические и гидравлические. Гидрологические методы обычно основаны на решении уравнения сохранения массы и зависимости запаса-расхода в реке или в водохранилище. Гидравлические методы основаны на решениях уравнений сохранения массы и сохранения импульса.

Существует множество способов изучения влияния маршрутизации на гидрографе, в том числе: (Kinematic Wave; Lag; Lag & K; Muskingum; Muskingum-Cunge; Normal Depth; Straddle Stagger), в данном исследовании использовали метод Muskingum-Cunge.

Метод считается улучшенной моделью классического метода Muskingum, поскольку этот метод основан на легко измеряемых гидравлических данных, таких как: длина канала; склон канала; коэффициент Маннинга; ширина канала; боковой наклон канала; форма канала и индексный поток. Первоначальные параметры были оценены с использованием ГИС-технологии и предлагаемым начальным типом (сброс = приток) (таблица 5.7) (таблица Г.3 из приложения Г).

Таблица 5.7 – Характер участка реки АКАШ и ее притоки по методом Muskingum- Cunge (RD)

River Reach (Участок Реки)	Length (Длина) (М)	Slope (Склон) (М/М)	Manning, S n (Коэффициент Маннинга)	Width (Ширина) (М)	Side slope of Channel (Боковой наклон канала)	Shape (Форма)	Index Flow (Индексный поток) (m ³ /с)
7R	3144,2	0,004330	0,2652	34,460	0,111	Трапеция	20
9R	1187,7	0,009560	0,1598	19,990	0,037	Трапеция	20
12R	5414	0,004740	0,2190	20,186	0,046	Трапеция	20
13R	9072,7	0,003630	0,2668	24,570	0,202	Трапеция	20
15R	12523,3	0,003900	0,2390	30,343	0,175	Трапеция	20
18R	9880	0,005760	0,3202	19,732	0,127	Трапеция	20
19R	7986,9	0,001040	0,2653	19,828	0,057	Трапеция	20
20R	3240,6	0,002680	0,2805	17,328	0,047	Трапеция	20

5.4 Анализ количества осадков за разные периоды повторяемости

Точное определение количества осадка, выпавшего в бассейне р. АКАШ, считается одним из наиболее важных факторов, который помогает точно рассчитать количество потоков, собранных в результате этого осадка, также считается правильной основой для статистики воды и вероятности повторения потоков. Обратившись к данным о дождях для исследуемой территории, было установлено, что они охватывают период в 42 года. Глубина дождя определялась для разных периодов повторяемости (2, 5, 10, 25, 50, 75, 100 лет) с помощью программы статистического анализа HyfranPlus, были применены различные статистические распределения (Log-Normal, Normal, Log Pearson Type III, Pearson Type III, Gumbel, Exponential) и сделан вывод, что метод (Pearson Type III) является оптимальным для объекта исследование (рисунок 5.6, таблицы 5.8 и 5.9).

Таблица 5.8 – Максимальное суточное количество осадков для исследуемой территории

Год	Максимальное суточное количество осадков	Год	Максимальное суточное количество осадков	Год	Максимальное суточное количество осадков
1981	47	1996	128	2011	127
1982	43	1997	62	2012	85
1983	67	1998	98	2013	39
1984	74	1999	58	2014	65
1985	58	2000	131	2015	89
1986	125	2001	64	2016	69
1987	84	2002	75	2017	40
1988	69	2003	98	2018	73
1989	61	2004	66	2019	85
1990	46	2005	49	2020	61
1991	135	2006	78	2021	64
1992	92	2007	98	2022	64
1993	74	2008	94		
1994	141	2009	85		
1995	65	2010	64		
Максимальное значение			141		
Среднее значение			78,3		
Минимальное значение			39		
Стандартное отклонение			26.9		

Таблица 5.9 – Статистическое распределение осадков в разное время повторения

Статистическое распределение	Расчетная глубина дождя для различного времени итерации, мм							
	2	5	10	20	25	50	75	100
Log-Normal	74,2	98	113	128	132	146	154	160
Normal	78,3	101	113	122	125	133	138	141
Log Pearson Type III	73,6	97,3	113	129	133	149	158	164
Pearson Type III	73	98,3	115	130	135	150	158	164
Gumbel	73,7	97,2	113	128	132	147	156	162
Exponential	66	103	131	159	168	196	212	224
Halphen of type A	73,6	97,5	113	129	134	149	157	164
GEV	73,3	96,9	113	129	134	150	160	167
Weibull	77,9	102	114	125	127	136	140	143
Inverse Gamma	72,9	97,1	114	131	137	154	165	173

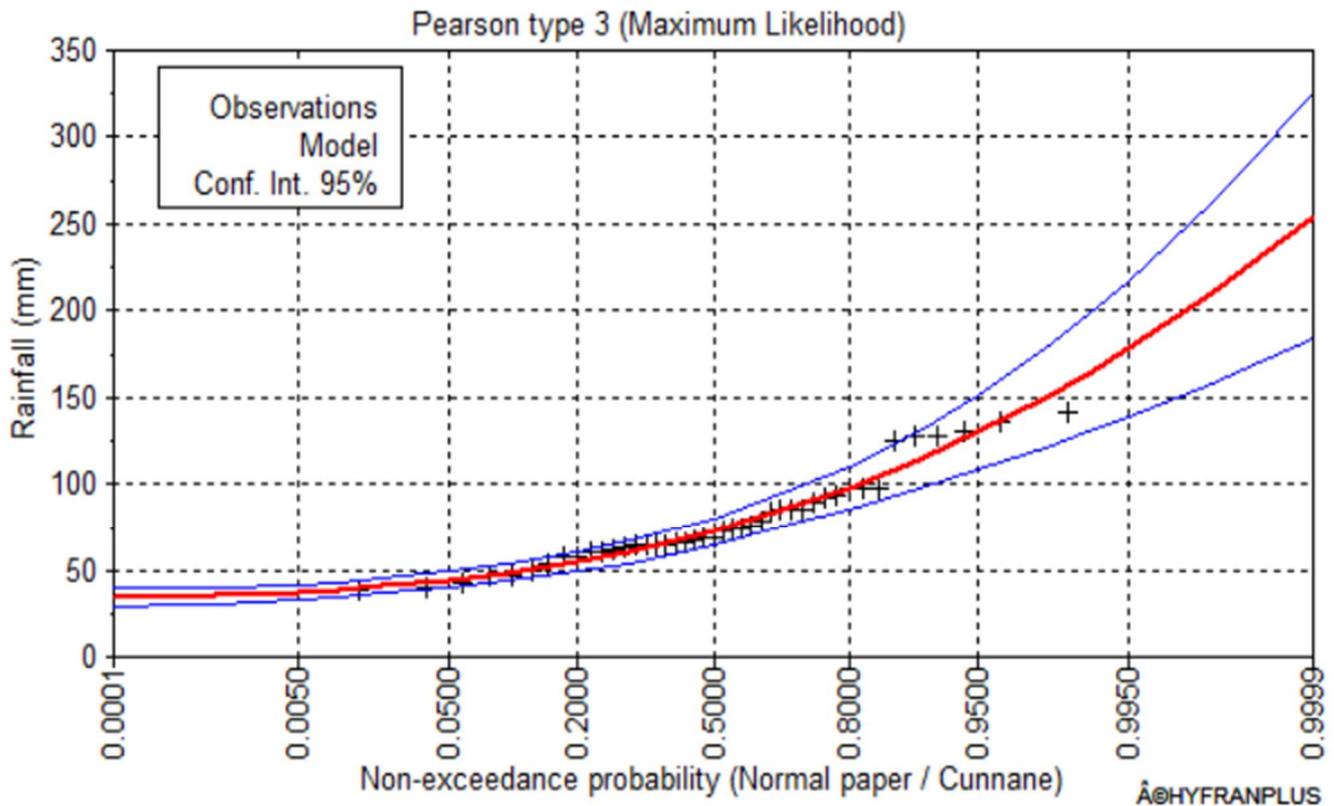


Рисунок 5.6 – Кривая распределения вероятностей данных об осадках для исследуемой территории методом Pearson Type III (Кривая распределения построена автором по HyfranPlus)

Способ распределения осадков SCS II 24 часа — метод распределения осадков на глубине без размеров. Ось (y) эти кривые не имеют размеров, что позволяет применять различную глубину осадков к распределениям для создания количества осадков кривые для разных размеров штормов и географического положения.

Существует четыре типа (I, IA, II и III) распределения (рисунок 5.7), использующиеся в Соединенных Штатах Америки. Тип II считается оптимальной для применения в изучаемом бассейне из-за сходства климатических характеристик. Тип II предполагается, что дождь выпал в течение 24 часов и что более 50% осадков выпало всего за 2 часа [230].

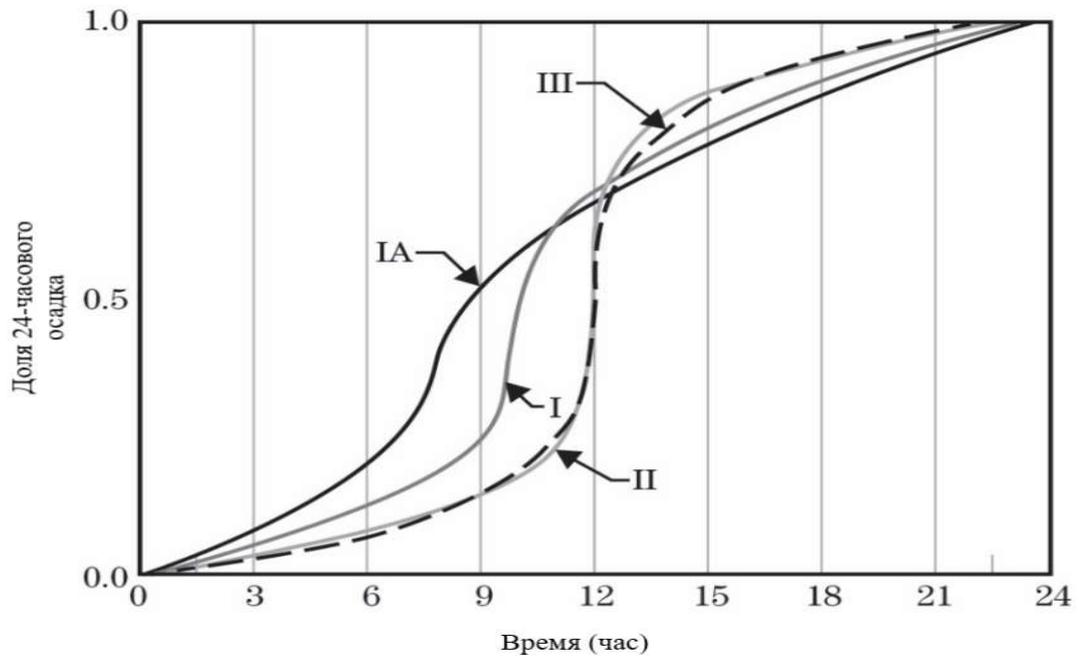


Рисунок 5.7 – Схема четыре варианта распределения осадков, используемых в США (типы I, IA, II и III).

5.5 Характеристики паводковых вод разных периодов повторяемости бассейна реки Ал Кабир Ал Шамали

Математическая модель применялась с использованием расчетного дождевого шторма продолжительностью 24 часа и распределения дождя по типу SCS II, метод SCS использовался для расчета времени до пика и кривых чисел (SCS Curve number) для различных периодов повторяемости (2, 5, 10, 20, 25, 50, 75, 100 лет) и были выведены результаты гидрологической модели с помощью программы HEC-HMS (рисунок 5.8) вывести гидрограф паводковых вод для различных водосборных бассейнов (рисунок 5.9) (таблица Г.1; Г.2 и Г.4 из приложения Г).

При анализе результатов по бассейну реки АКАШ в целом было установлено, что объёмы паводков варьировались от 18,93 до 69,32 (Млн куб. м) в зависимости от периода повторяемости, а величины максимального расхода колебались между (399,2 - 1982,3 м³/с), что касается времени до пика, колебались между (1245-1095 мин) (таблица 5.10).

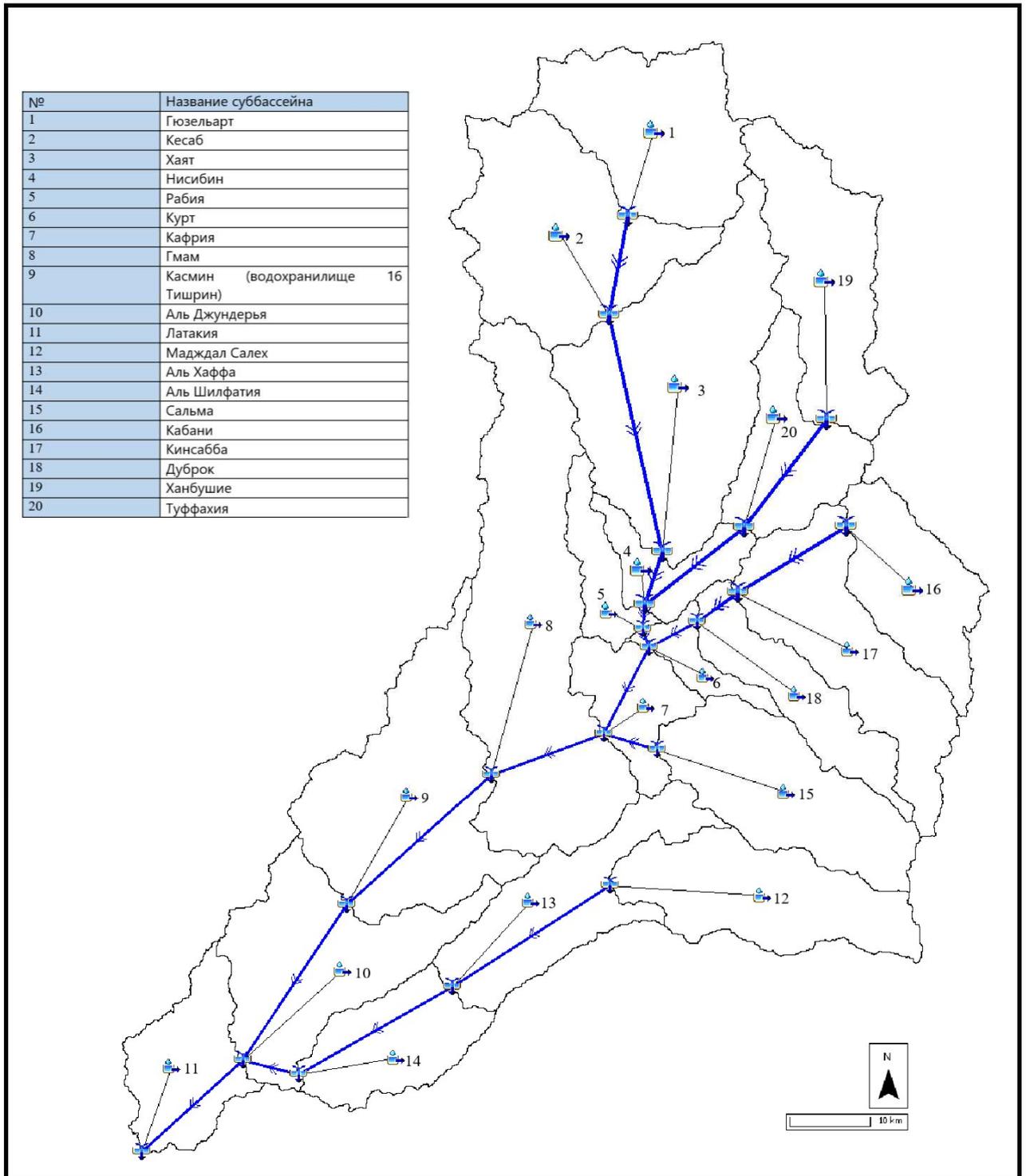


Рисунок 5.8 – Схема гидрологической модели бассейна реки АКАШ (построен автором по программе HEC-HMS по данным ЦМР ASTER V3)

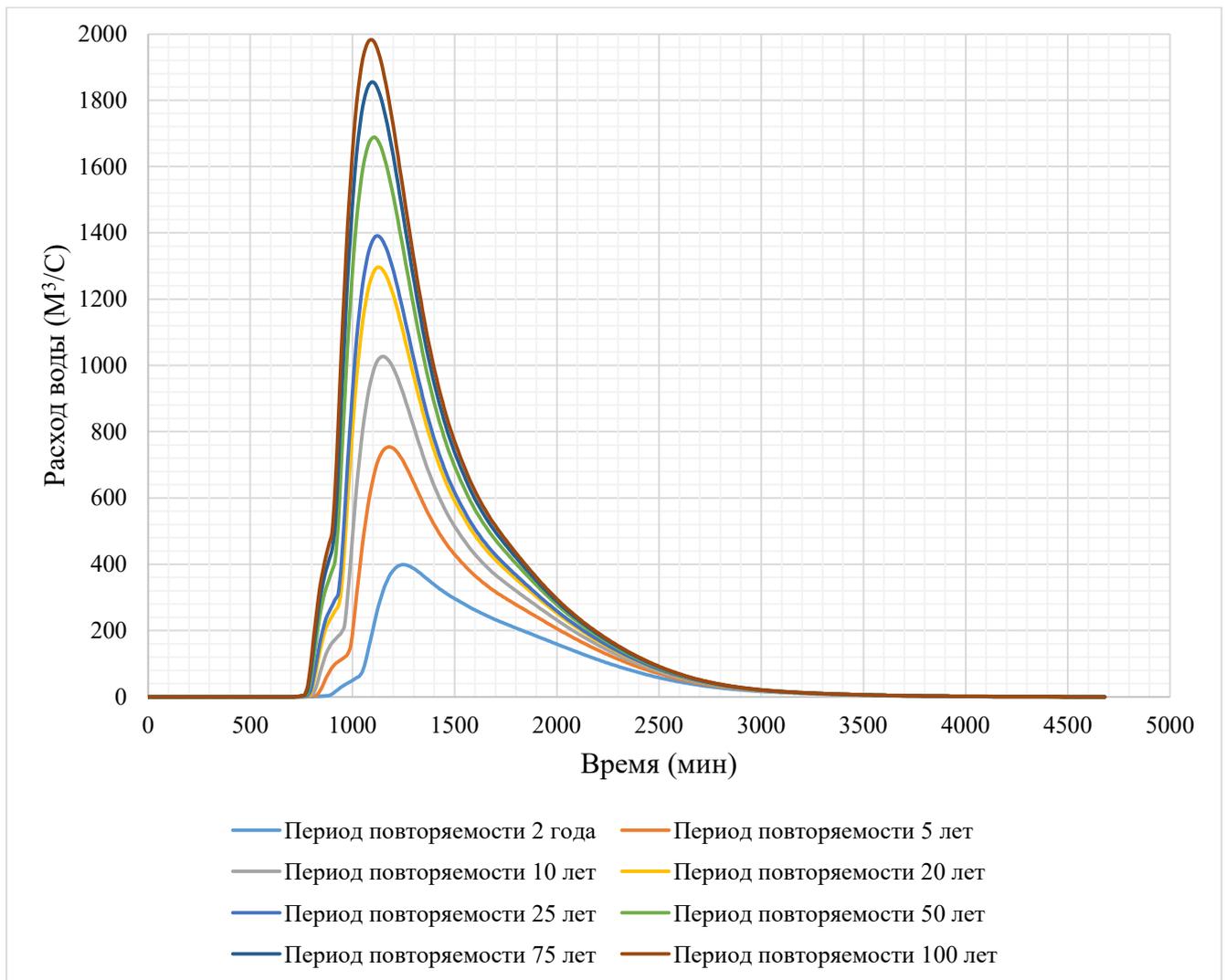


Рисунок 5.9 – Гидрограф ливневого стока за периоды повторяемости для всего бассейна АКАШ

Таблица 5.10 – Характеристика паводковых вод в бассейне реки АКАШ при разной периодичности

Название бассейна	Переменные	Характеристика паводковых вод в бассейне реки АКАШ при разной периодичности							
		2	5	10	20	25	50	75	100
Бассейн реки АКАШ	Максимальный расход (м³/с)	399,2	754,2	1026,4	1296,4	1390,9	1688	1855,1	1982,3
	Объём потока (Млн куб. м)	18,93	30,88	39,62	48,08	51,03	60,26	65,39	69,32
	Время до пика (мин)	1245	1185	1155	1125	1125	1110	1095	1095

5.6 Влияние изменения типа землепользования на числа кривых стока SCS-CN

Изменение типа землепользования оказывает существенное влияние на круговорот воды в природе, а также на значение числа кривых стока SCS-CN, например при преобразовании леса, сельскохозяйственных угодий или вырубка леса в застроенной территории, в свою очередь приводят к увеличению сбора дождевой воды и попаданию ее в водотоки, что приводит к наводнениям, эти изменения тоже могут привести к загрязнению поверхностных вод.

Землепользование играет важную роль в гидрологическом моделировании, чтобы, прояснить важность землепользования мы нарисовали диаграмму и карту, показывающую изменения землепользования с 2000 по 2022 год (рисунок 5.10 и 5.11).

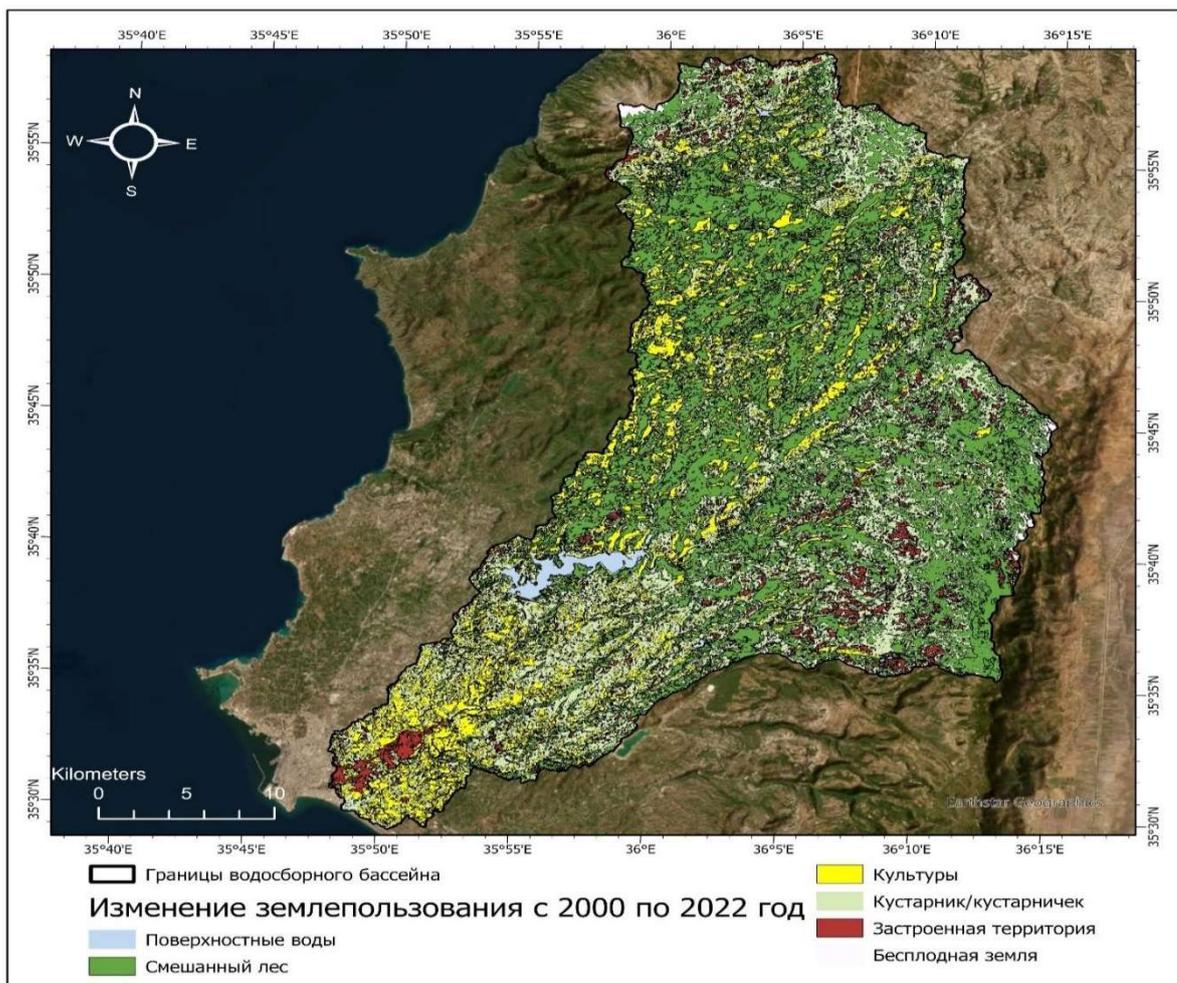


Рисунок 5.10 – Карта изменений землепользования с 2000 по 2022 год (построена автором по программе ArcGIS Pro)

Для расчёта изменений землепользования использовали данные Landsat 1 до 9 и данные ESRI 2017 до 2023г.

Результаты показывают снижение территории смешанных лесов, используемое для стройки, сельскохозяйственных культур и пастбищ, результаты также показывают, что поверхностные воды варьируется из года в год в зависимости от количества осадков, поэтому площадь варьируется соответственно.

Результаты показывают снижение культуругодий, используемое как застроенная территория или земли с целью посадки плодовых деревьев и плодовых кустарников, в свою очередь это изменение приводит к изменению в числа кривых стока SCS-CN в объекте исследования, это изменение представлено в таблице 5.11.

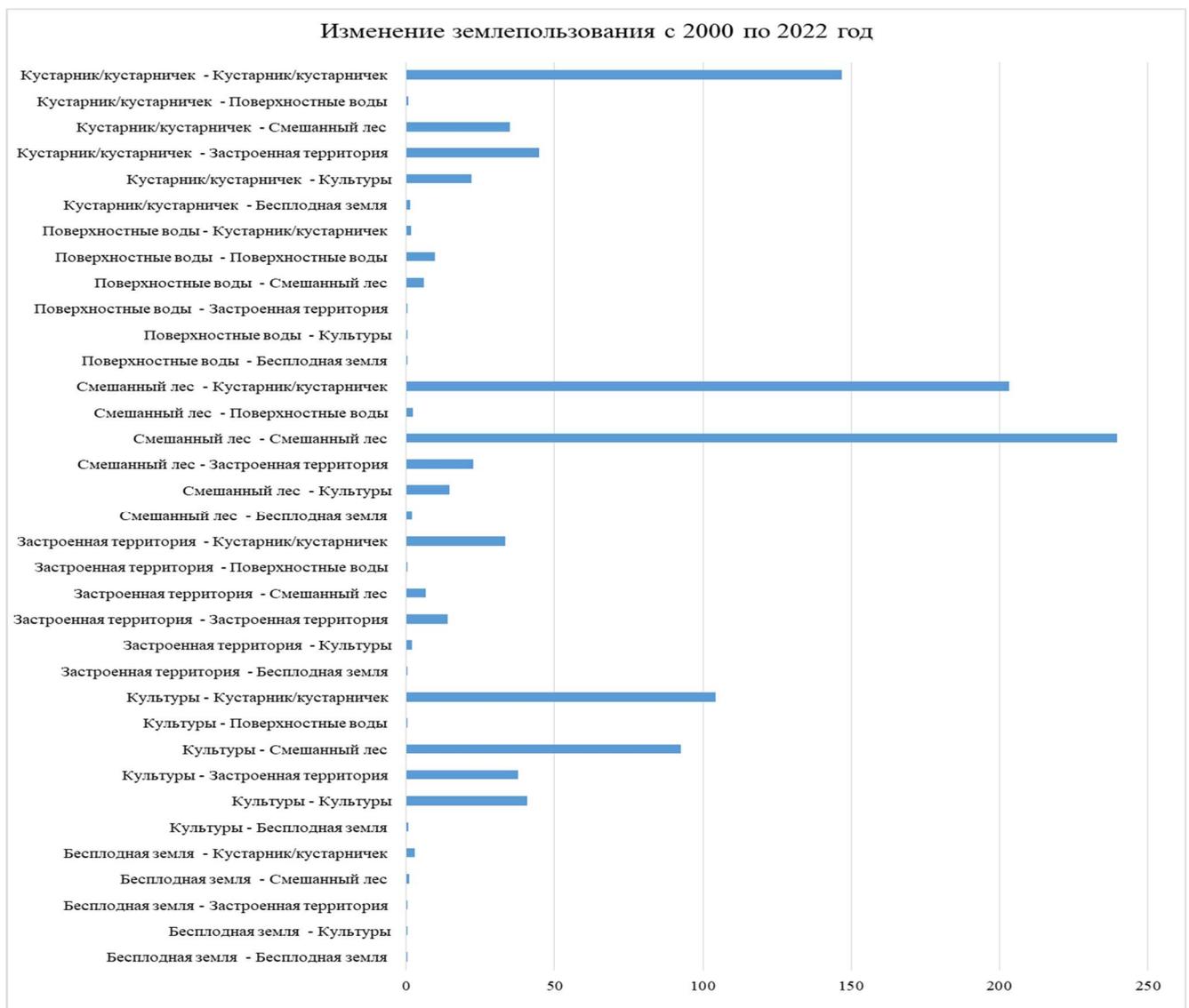


Рисунок 5.11 – Диаграмма изменений землепользования с 2000 по 2022 год

Таблица 5.11 – Изменение числа кривых стока SCS-CN в зависимости от изменения землепользования в разные года.

№	Название суббассейна	Изменение числа кривых стока SCS-CN в зависимости от изменения землепользования							
		2000 Г.	2002 Г.	2005 Г.	2008 Г.	2013 Г.	2017 Г.	2020 Г.	2022 Г.
1	Гюзельарт	80,8	78,7	81	80,1	80,5	80,9	80,9	80,72
2	Кесаб	79,7	78,5	79,3	79,2	80,3	78,5	78,5	78,54
3	Хаят	80,2	78,3	78,6	79	80,1	77,9	77,9	77,98
4	Нисибин	80,4	78,6	77,6	81,2	80,3	77,3	77,3	77,27
5	Рабия	80,7	79,5	78,6	79,4	80	77,3	77,3	77,48
6	Курт	79,4	80,3	79,9	81	81,6	78,2	78,2	78,16
7	Кафрия	79,5	79,5	78,4	80,8	80,6	77,8	77,8	78,13
8	Гмам	80,3	79,3	78,6	78,7	79,7	77,5	77,5	77,53
9	Касмин (водохранилище 16 Тишрин)	82,6	83,5	81,2	83,7	81,9	80,3	80,3	80,52
10	Аль Джундерья	78,4	80,9	73,9	82,3	74,4	75	75	76
11	Латакия	68,1	70,2	59,5	71,7	62,4	64,2	64,2	63,03
12	Мадждал Салех	78,7	79,1	78,3	80,7	80,7	78,2	78,2	78,25
13	Аль Хаффа	79,7	82,7	78,8	81,6	79,9	78,3	78,3	78,45
14	Аль Шилфатия	79,7	82,1	77,2	84,2	77,6	78,9	78,9	79,05
15	Сальма	78,5	78,8	78,4	80,4	81,0	78	78	77,88
16	Кабани	78,3	78,4	79	82	81,3	78	78	78,17
17	Кинсабба	78,3	78,6	78,5	81,1	82	77,6	77,6	77,61
18	Дуброк	78,3	78,6	78,7	81	81,4	77,7	77,7	77,74
19	Ханбушие	79,1	79,5	79,5	81,2	80,2	79	79	78,94
20	Туффахия	79,8	78,7	78,6	80	81,4	77,7	77,7	77,7

Из таблицы видно, что числа кривых стока SCS-CN меняется в зависимости от изменения землепользования в объекте исследования снижается по всему суббассейну, это приводит к уменьшению поверхности стока в результате дождей.

Причины снижения числа кривых стока SCS-CN заключаются в том что государство приняло законопроект для снижение риска наводнение, такие как в верхнем бассейне построили террасы в горах, чтобы уменьшить скорость потока и дать возможность почве впитывать воду, также строят плотину в верхнем бассейне реки АКАШ под названием Брэддон⁶, расположенная выше по течению реки в 64 км от ее устья в море и в 26 км от водохранилища 16 Тишрин, с целью регулирования речного стока реки АКАШ.

⁶ Продолжаются строительные работы на плотине Брэддон в северной сельской местности Латакии, уровень реализации достигает 82,7%, и ожидается, что проект будет завершен в соответствии с оставшимися работами и темпами работ по проекту к концу 2024 года.

Вывод по главе

1. Предоставлены расчеты, чтобы выбрать оптимальную ЦМР для бассейна реки АКАШ в САР, по расчету выявило, что ASTER V3 и SRTM является наилучшим изображением ЦМР для объекта исследования.

2. Бассейн был разделен в зависимости от землепользования на 20 бассейнов.

3. Предоставлены расчеты, чтобы выбрать оптимальную программу ГИС-технологии для бассейна реки АКАШ в САР, по расчету выявило что ArcGIS Pro; WMS; SAGAGIS; GRASSGIS является наилучшими программами обеспечения для объекта исследования.

4. Были рассчитаны числа кривых стока SCS-CN для суббассейнов реки АКАШ в зависимости от гидрологических групп, почвы и землепользования, а также время до пика и время добегания. Построена гидрологическая модель для бассейна реки АКАШ, используя программу HEC-HMS для расчета гидрографа дождя различных повторяющихся периодов времени.

5. С помощью программы HyfranPlus были произведены необходимые расчеты для выбора оптимального распределения осадков в различные повторяющиеся периоды времени и установлено, что данный метод Pearson Type III является оптимальным способом, также для интенсивности осадков во время шторма был выбран метод распределения Тип II, чтобы мы могли рассчитать гидрограф дождя для разных периодов времени.

6. Модель запускалась и калибровалась в программе HEC HMS, гидрограф рассчитывался для временных периодов 2, 5, 10, 20, 25, 50, 75 и 100 лет.

7. Исследование, проведенное на бассейне реки АКАШ, выявило значительные результаты. При расчете изменений землепользования на метод чисел кривых стока SCS-CN, меняется в зависимости от изменения землепользования в объекте исследования. Это приводит к снижению числа кривых стока SCS-CN по всему суббассейну, что приводит к уменьшению поверхности стока в результате дождей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Водный кризис в Сирии представляет собой сложную проблему, обусловленную пересечением географических, экологических и политических факторов. Сирия расположена в полупустынном регионе, где проблемы нехватки воды усугубляются изменением климата и продолжающимися конфликтами, которые негативно влияют на инфраструктуру и управление водными ресурсами. Кроме того, Сирия в значительной степени зависит от источников воды, которые находятся за пределами ее границ, что еще больше осложняет гидрологическую ситуацию.

В этих условиях существует острая необходимость в разработке комплексных стратегий управления водными ресурсами. Для этого необходимо уделять пристальное внимание местным водным ресурсам, таким как плотины и реки, и стремиться к повышению эффективности водопользования. Также необходимо восстановить утраченные гидрологические базы данных и внедрить современные технологии, позволяющие проводить точный и устойчивый анализ водных ресурсов, что повысит способность страны адаптироваться к текущим и будущим вызовам в области водных ресурсов.

Гидрологическое моделирование является важнейшим инструментом для понимания и анализа гидрологических процессов в различных водосборных бассейнах. Появление географических информационных систем (ГИС) и технологии цифровых моделей рельефа (ЦМР) значительно повысило точность и эффективность этих моделей.

В результате проведенных исследований были сделаны следующие выводы:

1. Гидрологическое моделирование с использованием ГИС-технологий и данные дистанционного зондирования оказывают существенные возможности для решения множества проблем, связанных с водными ресурсами, оптимизация управления водными ресурсами, особенно с водными проблемами в САР.

Основные проблемы Сирийской Арабской Республики связаны с водными ресурсами является изменение климата, глобальное потепление, экономические и

социальные условия, продолжающаяся война, потерянные данные, нехватка водных ресурсов, где главные источники воды находятся за границей, и загрязнение воды.

Ввиду географической специфики Сирийской Арабской Республики, с ее особым месторасположением в юго-западной части азиатского континента и выход к Средиземному морю, территория Сирии представляет собой разнообразный рельеф, включающий пустыни, равнины и горы.

Комплексный анализ морфометрических, гидрологических, рельефных, геологических и климатических параметров Сирийской Арабской Республики позволил получить убедительные доказательства того, что бассейн реки АКАШ, расположенный в прибрежной зоне, примыкающей к Средиземному морю, обладает сходными морфометрическими, гидрологическими и геологическими характеристиками по сравнению с другими бассейнами в прибрежном регионе Сирии. Учитывая наблюдаемую однородность, можно с научной точки зрения экстраполировать результаты данного исследования на аналогичные бассейны вдоль береговой линии Сирии.

2. Критические гидрологические компоненты реки АКАШ были подвергнуты тщательному анализу. Он включал в себя изучение моделей землепользования, почвенных профилей и преобладающих климатических переменных.

3. С помощью технологии Географической информационной системы (ГИС) и цифровых моделей рельефа (ЦМР) был проведен комплексный морфометрический анализ. Результаты позволили получить ключевое представление о морфометрии бассейна и выявить следующие параметры: площадь водосборного бассейна составляет 1096 км², периметр - 204,60 км, а длина главного потока - 86,824 км. Профиль рельефа варьируется от максимума 1700 м до минимума на уровне моря (0 м), а суммарная длина речных русел составляет 811,014 км. Эти фундаментальные метрики служат краеугольным камнем для получения дополнительных параметров с помощью установленных морфометрических уравнений.

С помощью технологии Географической информационной системы (ГИС) и цифровых моделей рельефа (ЦМР) был проведен комплексный гидрологический анализ. Результаты позволили получить ключевое представление о гидрологии бассейна и выявить следующие параметры: Закрытые депрессии (Closed Depressions); Индекс конвергенции (CI) (Convergence Index); Диффузная инсоляция (Diffuse Insolation); Прямая инсоляция (Direct Insolation); Фактор LS (LS-Factor); Индекс охраны (Protection index); Глубина долины (Valley Depth); Базовый уровень сети каналов (Channel Network Base Level); Векторная пересеченность местности (Vector Terrain Ruggedness (VRM)); Индекс мощности потока; Индекс переноса наносов; Индекс топографической влажности; Индекс шероховатости местности. Эти фундаментальные метрики служат краеугольным камнем для получения дополнительных параметров для гидрологического моделирования.

4. На основании выполненных расчетов эмпирических среднегодовых притоков воды в водохранилища 16 Тишрин, при обеспеченности 5% объем воды равно 361,23 млн куб. м., при 10% 311 млн куб. м.

На основании выполненных расчетов ошибка в высоты ЦМР объекта исследование равно 2,65 м.

На основании выполненных расчетов потерь воды на испарение из водохранилища 16 Тишрин, ежегодно потери составляют 5,7 млн куб. м., и потери могут достигнуть 8,8 млн куб. м с учетом инфильтрации.

5. Сравнительный анализ различных программных продуктов ГИС на объекте исследования показал, что ArcGIS, SAGA-GIS, WMS и GRASS GIS являются наиболее подходящими инструментами для данного исследования. Критерии отбора основывались на минимальном процентном отклонении данных программных продуктов от физически измеренных данных, что позволяет гарантировать, что такие расхождения не окажут существенного влияния на общие результаты исследования.

Сравнительный анализ различных глобальных ЦМР на объекте исследования показал, что ASTER V3 и SRTM1 являются наиболее подходящими спутниковые изображений для данного исследования. Критерии отбора основывались на

проверке степени совпадения высот в этих моделях с реальными высотами, измеренными и взятыми из GPS. Это сделано с использованием трех статистических показателей, а именно диапазона, стандартного отклонения и корреляции, с использованием программы BaseCamp, ARCGIS PRO & SAGA_GIS.

Сегментация водосбора на 20 суббассейнов была обусловлена различиями в использовании земель и наклоне ручья. Используя данные о почве, классификации землепользования и цифровые модели рельефа (ЦМР) в программе WMS, были рассчитаны числа кривых стока SCS-CN для каждого суббассейна. Кроме того, были определены такие гидрологические параметры, как время добегания и время пикового потока. Для расчета сопротивления русла использовался метод Muskingum-Cunge (RD). Далее в ходе исследования была выбрана модель интенсивности осадков (тип II). С использованием программы HyfranPlus, сделали сравнительный анализ различных типов распределения (Log-Normal, Normal, Log Pearson Type III, Pearson Type III, Gumbel, Exponential) показано, что метод (Pearson Type III) является оптимальным для объекта исследования. После этого была запущена модель HEC-HMS для моделирования дождевого стока в бассейне с получением максимальных расходов (в м³/с) и объемов стока (в млн куб. м) для указанных периодов возврата (2,5,10,20,25,50,75,100 лет).

6. Исследование, проведенное в бассейне реки АКАШ, продемонстрировало существенные результаты относительно изменений в землепользовании и их влияния на сток. Используя метод числа кривых стока SCS-CN, анализ выявил уменьшение числа кривых стока во всех суббассейнах в исследуемой области. Это уменьшение напрямую связано с изменениями в землепользовании, что приводит к соответствующему уменьшению поверхностного стока во время выпадения осадков. Эти результаты имеют критические последствия для управления водными ресурсами в бассейне реки АКАШ. Уменьшение чисел кривых стока предполагает, что измененное землепользование может улучшить инфильтрацию и сократить объем стока, что может помочь снизить риски наводнений. Однако это уменьшение также подчеркивает необходимость адаптивных стратегий управления водными ресурсами для решения потенциальных изменений в доступности и качестве воды.

Политики и управляющие водными ресурсами должны учитывать эти результаты при проектировании инфраструктуры и реализации планирования землепользования для обеспечения устойчивого управления водными ресурсами в регионе.

Проектирование водохозяйственных сооружений требует тщательного учета ограниченных водных ресурсов рек и озер. Это особенно важно в условиях, когда отсутствуют комплексные гидрологические исследования и надежные исходные данные, включающие гидрологическую, метеорологическую, геологическую, геодезическую и экологическую информацию. В этих условиях использование методологий инженерной гидрологии, подкрепленных математическим моделированием и прогностическим анализом гидрологических процессов в речных бассейнах, представляется наиболее эффективным подходом.

Рекомендации и перспективы дальнейшей разработки темы включают следующие основные направления:

1. Методологическое развитие:

- Всестороннее исследование возможностей специализированных программ гидрологического моделирования, таких как DWAT, MIKE FLOOD, MIKE URBAN и других современных моделей.
- Разработка и внедрение прогностических моделей с учетом региональных климатических изменений и их влияния на водный режим бассейна реки Ал Кабир Ал Шамали.
- Совершенствование методов оценки потерь воды и разработка инновационных подходов к их минимизации.

2. Технологическое развитие:

- Интеграция новейших данных и методов дистанционного зондирования в систему управления водными ресурсами.
- Создание комплексной системы мониторинга водохранилища, объединяющей данные дистанционного зондирования Земли и наземных измерений в режиме реального времени.

- Разработка автоматизированных систем поддержки принятия решений для оперативного управления водными ресурсами водохранилища.

3. Практическое применение:

- Проведение долгосрочного мониторинга эффективности предложенных режимов эксплуатации водохранилища при отметках 73,50 и 73,90 метров с учетом взаимовлияния каскада построенных и строящихся гидротехнических сооружений в бассейне реки.
- Разработка адаптивных алгоритмов управления водными ресурсами в зависимости от сезонной и межгодовой изменчивости гидрологического режима.
- Распространение разработанной методологии на другие плотины прибрежного региона с учетом их специфических природно-климатических условий.
- Проведение углубленных исследований по снижению потерь воды в результате испарения с учетом местных климатических особенностей.

Реализация данных направлений позволит не только усовершенствовать систему управления водными ресурсами водохранилища 16 Тишрин, но и создаст научно-методическую базу для оптимизации работы других гидротехнических сооружений в регионе. Особое внимание следует уделить разработке адаптивных критериев управления, учитывающих как технические параметры сооружений, так и изменяющиеся природно-климатические условия. Это обеспечит более эффективное использование водных ресурсов и устойчивое развитие водохозяйственного комплекса всего региона.

По завершении этого исследования и в контексте ограниченной информации, доступной по гидрометеорологии и антропогенному воздействию на речные бассейны, становится ясно, что сложные проблемы требуют целостного и комплексного подхода. Эти проблемы включают разнообразие землепользования, развитие регулирующего потенциала и развитие различных секторов экономики с учетом фактического строительства нового комплекса плотин в верховьях реки.

Для решения проблемы регионального нарушения окружающей среды, вызванного деятельностью человека и изменением климата, срочно необходимо институциональное и общественное сотрудничество. В этом контексте рекомендуется сосредоточиться на инновационных стратегиях по сокращению потерь воды за счет испарения, сохраняя при этом уровень поверхности воды в водохранилище 16 Тишрин на отметке 73,50 м; 73,90 м и 74,5 м.

Результаты исследования показали многообещающий потенциал географических информационных систем и технологий дистанционного зондирования в преодолении проблем ограниченности данных. Однако самой большой проблемой остается необходимость создания новых станций гидрологического и гидрометеорологического мониторинга для обеспечения точности информации и возможности калибровки космических данных.

Основные рекомендации:

1. Разработать интегрированные механизмы координации между различными заинтересованными сторонами.
2. Разработать инновационные стратегии по сокращению испарения и рационализации потребления воды.
3. Создание развитой сети гидрологического мониторинга для предоставления точных и надежных данных.
4. Изучить потенциальное воздействие расширения городов и изменения климата на водные ресурсы.

Решение экологических и водных проблем требует комплексного подхода, сочетающего в себе научную строгость и видение будущего.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

В научной диссертационной исследовании используются следующие сокращения и символы с подходящими расшифровкой и объяснением:

Символ	Расшифровка
ЦМР	Цифровая модель рельефа
АКАШ	Ал Кабир Ал Шамали
САР	Сирийская Арабская Республика
ГИС	Геоинформационной системы
WMS	Watershed modeling system
SAGA	System for Automated Geoscientific Analyses
HEC-HMS	Hydrologic Engineering Center – Hydrologic Modeling System
GPS	Global Positioning System — система глобального позиционирования
CHIRPS	Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data (CHIRPS) — Группа климатических опасностей Инфракрасные осадки по данным станции
CFS	Climate Forecast System — Система климатических прогнозов
ERA5 Ag	Daily surface meteorological data for agriculture and agro-ecological studies — Суточные приземные метеорологические данные для сельского хозяйства и агроэкологических исследований
FLDAS	Famine Early Warning Systems Network (FEWS NET) Land Data Assimilation System — Сеть систем раннего оповещения о голоде (FEWS NET) Система ассимиляции данных о земле
НАСА	National Aeronautics and Space Administration — Национальное управление по аэронавтике и исследованию космического пространства
USGS	United States Geological Survey — Геологическая служба США
MODIS	Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer — Данные спектрорадиометра среднего разрешения
ESRI	Environmental Systems Research Institute — Научно-исследовательский институт экологических систем
CN	Curve Number — Метод числа кривых стока SCS-CN
США	Соединенные Штаты Америки
SCS	Soil Conservation Service — Служба охраны почв
HUC	Hydrologic Unit Codes — Коды гидрологических единиц
CI	Индекс конвергенции — Convergence Index
LS	Length-Slope — Длина и наклон
Р.	Река
C_v	Коэффициент вариации – Coefficient of variation
C_s	Коэффициент асимметрии – Skewness coefficient
C_k	Коэффициент эксцесса – Kurtosis coefficient

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аввакумова А. О. Методические подходы к оценке роли рельефа в динамике эрозии почвы / А. О. Аввакумова // Эрозионные, русловые и устьевые процессы (исследования молодых ученых университетов). – 2016. – С. 8-14.

2. Алали Х. Водный баланс: принципы и важность / Х. Алали // Сборник материалов международной традиционной 7-я научно-практическая конференция на тему «Творческая молодежь и инновационное развитие», Издательство: «ДУРДОНА». Бухарский институт управления природными ресурсами НИУ «ТИИИМСХ», Бухара. – 2022. – С. 1268- 1272.

3. Алали Х. Оценка точности глобальных цифровых моделей рельефа для гидрологического анализа: пример Сирии и России / Х. Алали // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2024. Т. 14, № 3. С. 501–512. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2024-3-501-512>. EDN: TNXRYF.

4. Алали Х. Испарение воды из водохранилища 16 Тишрин в Сирии: измерение объема и оценка экономических последствий / Х. Алали, А.В. Перминов // Мелиорация и гидротехника. 2023. Т. 13, № 3. С. 314–331. <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2023-13-3-314-331>.

5. Алали Х. Морфометрический анализ бассейн реки Ал Кабир Ал Шамали в Сирии с использованием изображения ASTER (цифровая модель рельефа) на основе ГИС-Технологии / Х. Алали, А. В. Перминов, С. Н. Редников, Е. С. Алсадек // Вестник науки и образования Северо-Запада России. – 2024. – Т. 10, № 1. – С. 46-58. – EDN YTMFDM.

6. Алали Х. Геоинформационные системы в исследовании гидрологических характеристик рек и озер / Х. Алали // Journal of Advanced Research in Technical Science. – 2024. – № 44. – С. 34-36. – DOI 10.26160/2474-5901-2024-44-34-36. – EDN SZGQKF.

7. Алали Х. Использование современных ГИС-технологий при анализе гидрологических данных для реки Ал Кабир Ал Шамали в Сирии / Х. Алали, А. В.

Перминов // Гидротехническое строительство. – 2024. – № 4. – С. 49-54. – DOI 10.34831/EP.2024.57.90.006. – EDN MVOLRE.

8. Алали Х. Использование современных ГИС-технологий при анализе гидрологических данных для реки ал-Кабир ал-Шамали в Сирии / Х. Алали, А. В. Перминов // Современные проблемы гидравлики и гидротехнического строительства: Сборник тезисов докладов VI Всероссийского научно-практического семинара, Москва, 24 мая 2023 года. – Москва: Издательство МИСИ-МГСУ, 2023. – С. 174-175. – EDN IEJZIU.

9. Алали Х. Исследование гидрологических процессов бассейна реки Ал Кабир Ал Шамали в Сирийской Арабской Республике с применением ГИС технологий: презентация / Х. Алали // Сборник Международной летней школы на тему «Интеграция аграрной науки в мировое образовательное пространство», ЮКУ им. М. Ауэзова: материалы международной научной конференции, г. Шымкент, Республика Казахстан., 3-14 июня 2024 г. – С. 222-257.

10. Алали Х. Мониторинг водохранилища 16 Тишрин с использованием ГИС-технологий и дистанционного зондирования / Х. Алали, А. В. Перминов // Мелиорация и водное хозяйство. – 2024. – № 1. – С. 11-16. – DOI 10.32962/0235-2524-2024-1-11-16. – EDN AKHRPC.

11. Алали Х. Оценка программных продуктов ГИС для задач гидрологического анализа по результатам опроса специалистов / Х. Алали // Молодежь и наука: актуальные проблемы фундаментальных и прикладных исследований: Материалы VII Всероссийской национальной научной конференции молодых учёных, Комсомольск-на-Амуре, 08–12 апреля 2024 года. – Комсомольск-на-Амуре: Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2024. – С. 272-275. – EDN XMSWUG.

12. Алали Х. Пересечение гидрологического моделирования и управления окружающей средой / Х. Алали // Материалы Международной научной конференции молодых учёных и специалистов, посвящённой 150-летию со дня рождения А.Я. Миловича: Сборник статей, Москва, 03–05 июня 2024 года. –

Москва: Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, 2024. – С. 66-71. – EDN RVBPOC.

13. Алали Х. применение гидрологических моделей для прогнозирования и управления водными ресурсами / Х. Алали // Молодежь и наука: актуальные проблемы фундаментальных и прикладных исследований: Материалы VII Всероссийской национальной научной конференции молодых учёных, Комсомольск-на-Амуре, 08–12 апреля 2024 года. – Комсомольск-на-Амуре: Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2024. – С. 449-452. – EDN HRPUCZ.

14. Алисиевич С. В. Гидрологическое моделирование в ГИС для выявления трансформации пространственной структуры естественных водосборов на территории Г. Минска / С. В. Алисиевич, Н. В. Ковальчик, Е. П. Овчарова // ГИС-технологии в науках о Земле : материалы республиканского научно-практического семинара студентов и молодых ученых, Минск, 15 ноября 2023 года. – Минск: Белорусский государственный университет, 2023. – С. 48-55. – EDN DOUJEC.

15. Ангхесом А. Г. Особенности моделирования речного стока Мереба-Гаша в интересах водохозяйственного строительства в Эритрее: специальность 05.23.16 "Гидравлика и инженерная гидрология": диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / А. Г. Ангхесом, 2022. – 217 с. – EDN FSVMXT.

16. Арестова А. Ю. Применение ГИС-технологий для повышения эффективности имитационного моделирования каскадов ГЭС / А. Ю. Арестова, С.В. Митрофанов, А.Г. Русина, А.А. Колесников //Журнал Сибирского федерального университета. Техника и технологии. – 2020. – Т. 13, №. 6. – С. 732-744.

17. Бабкин В. И., Водный баланс, водные ресурсы и использование вод в крупнейших речных бассейнах России / В. И. Бабкин, Ж. А. Балонишникова //Вопросы географии. – 2018. – №. 145. – С. 35-48.

18. Бугаец А. Н. Разработка методов определения структурно-гидрографических характеристик по данным ЦМР для гидрологического моделирования: специальность 25.00.27 "Гидрология суши, водные ресурсы,

гидрохимия": диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / А. Н. Бугаец. – Владивосток, 2011. – 215 с. – EDN QFOJUP.

19. Васильев О. Ф. Математическое моделирование гидравлических и гидрологических процессов в водоемах и водотоках (обзор работ, выполненных в Сибирском отделении Российской академии наук) / О. Ф. Васильев // Водные ресурсы. – 1999. – Т. 26, №. 5. – С. 600-611.

20. Власова А. Г. Пространственная оценка потоков вещества с использованием цифровых моделей рельефа / А. Г. Власова, А. Г. Гриценко // Гео-Сибирь. – 2007. – Т. 3. – С. 348-352. – EDN NTPHFY.

21. Гарцман Б. И. Дождевые наводнения на реках юга Дальнего Востока: методы расчетов, прогнозов, оценок риска / Б. И. Гарцман; Российская академия наук, Дальневосточное отделение, Тихоокеанский институт географии. – Владивосток: Федеральное государственное унитарное предприятие "Издательство Дальнаука", 2008. – 223 с. – ISBN 978-5-8044-0967-9. – EDN QKICTT.

22. Гарцман Б. И. Порядковая классификация речных водоразделов на основе обработки цифровых моделей рельефа / Б. И. Гарцман, Е. А. Шекман, К. Т. Ли // География и природные ресурсы. – 2016. – № 4. – С. 164-173. – DOI 10.21782/GIPR0206-1619-2016-4(164-173). – EDN UWBQQZ.

23. Алсадек Е. С. Гидравлические исследования эффективности водобойных устройств за шахтным водосбросом по рассеиванию водной энергии гидроузла Тишрин в САР / Е. С. Алсадек, Н. В. Ханов, Д. В. Козлов, Х. Алали // Современные проблемы гидравлики и гидротехнического строительства: Сборник тезисов докладов VII Всероссийского научно-практического семинара, Москва, 22 мая 2024 года. – Москва: Издательство: МИСИ-МГСУ, 2024. – С. 144-145. – EDN PITAHA.

24. Гидрологические расчеты: учебное электронное издание практикум / Шевелева Л. И., Максименко В. И., Голикова А. Г. Владивосток: Изд-во «Дальневосточный федеральный университет», 2018. – 65 с. - ISBN 978-5-7444-4386-3

25. ГИС для водных ресурсов [Электронный ресурс]. – 2021. Esri. URL: <https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/latest/tools/spatial-analyst-toolbox/how-flow-direction-works.htm>.

26. Домнин Д. А. Многолетние и внутригодовые изменения стока воды с российской части бассейна реки Западная Двина как отклик на колебания климатических параметров / Д. А. Домнин // Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета. – 2018. – №. 51. – С. 63-70.

27. Елшина Т. Е. Создание цифровых моделей горного рельефа в программе ArcGIS 10 / Т. Е. Елшина, А. В. Сысоев // От карты прошлого-к карте будущего. – 2017. – С. 56-61.

28. Жидкин А. П. Оценка применимости цифровых моделей рельефа для моделирования эрозии почв (на примере малого водосбора в Курской области) / А. П. Жидкин, В. Н. Голосов, А. С. Добрянский // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2021. – Т. 18, № 5. – С. 133-144. – DOI 10.21046/2070-7401-2021-18-5-133-144. – EDN EXDBSH.

29. Использование водных ресурсов в условиях современного развития водохозяйственного комплекса / Л. Д. Раткович, Э. С. Беглярова, Д. В. Козлов, В. В. Шабанов // Мелиорация и водное хозяйство. – 2005. – № 5. – С. 53-58. – EDN UMQRJZ.

30. Использование функциональных возможностей ГИС и данных дистанционного зондирования для мониторинга и картографирования мелиорированных земель / Т. Н. Мыслыва, Ю. Н. Дуброва, А. С. Кукреш [и др.] // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. – 2022. – № 1. – С. 176-183. – EDN VJTYXH.

31. Капустин В. Г. ГИС-технологии в географии и экологии: ArcView GIS в учебной и научной работе (практическое руководство): учеб. пособие / В. Г. Капустин; Урал. гос. пед. ун-т. — Екатеринбург: [б. и.], 2012. — 202 с.

32. Кащенко Н. А. Геоинформационные системы: учебное пособие для вузов / Н. А. Кащенко, Е. В. Попов, А. В. Чечин. – Нижний Новгород: Нижегородский

государственный архитектурно-строительный университет, 2012. – 130 с. – ISBN 978-5-87941-863-7. – EDN YONQJY.

33. Кенжабаев А. Т. Применение современных автоматизированных информационных систем как важнейший механизм для использования водных ресурсов региона / А. Т. Кенжабаев, А. О. Султонов // Международный журнал прикладных наук и технологий «Integral». – 2019. – №. 4-1. – С. 9-18.

34. Киратикасикорн К. Реконструкция 30-метрового дна с 90-метровой ЦМР SRTM методом бикубической полиномиальной интерполяции / К. Киратикасикорн, И. Трисирисатаявонг // Международный архив наук о рисункограмметрии, дистанционном зондировании и пространственной информации. – 2008. – Т. 37. – С. 791-794.

35. Коваленко В. В. Частично инфинитное моделирование и прогнозирование процесса формирования речного стока / В. В. Коваленко. – Санкт-Петербург: Российский государственный гидрометеорологический университет, 2013. – 198 с. – ISBN 5-86813-036-7. – EDN RYRVNR.

36. Козлов Д. В. Результаты стратегического анализа вариантов проектных решений по ликвидации последствий технического инцидента на Загорской ГАЭС-2 / Д. В. Козлов // Природообустройство. – 2017. – № 4. – С. 39–46.

37. Козлов Д. В. Сопоставление эффективности физико-математических моделей малоизученного бассейна реки (на примере климатического региона Эритреи) / Д. В. Козлов, А. А. Гебрехивот // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. – 2021. – № 1. – С. 86–112.

38. Корень В. И. Построение математической модели формирования дождевых паводков / В. И. Корень, Л.С. Кучмент // Труды Гидрометцентра СССР. - 1971. – № 72. – С. 3–22.

39. Кошель С. М. Современные методы расчета распределения поверхностного стока по цифровым моделям рельефа / С. М. Кошель, А. Л. Энтин // Геоморфологи: Современные методы и технологии цифрового моделирования рельефа в науках о Земле. Том Выпуск 6. – Москва: Медиа-ПРЕСС, 2016. – С. 24-34. – EDN WZPQOH.

40. Куракина Н. И. Геоинформационная система моделирования гидрологических процессов подтопления территории / Н. И. Куракина, В. С. Ковчик // Известия СПбГЭТУ ЛЭТИ. – 2020. – № 5. – С. 66-73. – EDN YNOHIY.

41. Кучмент Л. С. Математическое моделирование речного стока / Л. С. Кучмент. – Ленинград: Гидрометеиздат, 1972. – 190 с. – EDN YQZFEE.

42. Магрицкий Д. В. Речной сток и гидрологические расчеты: Практические работы с выполнением при помощи компьютерных программ / Д. В. Магрицкий. – Москва: Издательство Триумф, 2014. – 184 с. – ISBN 978-5-89392-640-8. – EDN VTLXNR.

43. Методические указания к выполнению курсовых работ по дисциплине «Гидроузлы комплексного назначения. Регулирование речного стока» / В. В. Афонин, Ю. В. Бондаренко. – Саратов: Издательство Саратовского государственного аграрного университета, 2019. – 67 с.

44. Морфометрический анализ цифровых моделей рельефа для оценки и картографирования распределения поверхностного стока / А. Л. Энтин, С. М. Кошель, И. К. Лурье, Т. Е. Самсонов // Вопросы географии. – 2017. – № 144. – С. 169-186. – EDN UOVDLT.

45. Мотовилов Ю. Г. Гидрологическое моделирование речных бассейнов в различных пространственных масштабах 1. Алгоритмы генерализации и осреднения / Ю. Г. Мотовилов // Водные ресурсы. – 2016. – Т. 43, № 3. – С. 243. – DOI 10.7868/S0321059616030111. – EDN VVHHIF.

46. Мотовилов Ю. Г. Модели формирования стока в задачах гидрологии речных бассейнов / Ю. Г. Мотовилов, А. Н. Гельфан. – Москва: Российская академия наук, 2018. – 300 с. – ISBN 978-5-907036-22-2. – DOI 10.31857/S9785907036222000001. – EDN VWLMHQ.

47. Мустафин Р. А. Картография, фотограмметрия и дистанционное зондирование Земли / Р. А. Мустафин. – Казань: Казанский (Приволжский) федеральный университет, 2018. – 121 с. – EDN KFYQMD.

48. Опыт создания цифровой модели рельефа для гидродинамических расчетов в бассейне р. Амур / И. О. Неров, С. М. Краснопеев, А. Н. Бугаец [и др.] //

Вестник Дальневосточного отделения Российской академии наук. – 2021. – № 6(220). – С. 45-55. – DOI 10.37102/0869-7698_2021_220_06_04. – EDN PWSSRH.

49. Орлов В. Ю. Основные понятия и применение геоинформационных систем в природоохранной деятельности : Учеб. пособие по курсу "Геоинформ. системы" для студентов фак. биологии и экологии / В. Ю. Орлов ; В. Ю. Орлов; М-во образования Рос. Федерации. Ярослав. гос. ун-т им. П. Г. Демидова. – Ярославль: Ярослав. гос. ун-т, 2003. – 96 с. – ISBN 5-8397-0261-7. – EDN QJISSF.

50. Очерки геологии Сирии / Девяткин Е. В., Додонов А.Е. [и др.] - М.: Наука, 2000. – 204 с. (Тр. ГИН РАН; Вып. 526). – ISBN 5-02-002504-6

51. Павлова А. Н. Геоинформационное моделирование речного бассейна по данным спутниковой съемки SRTM (на примере бассейна р. Терешки) / А. Н. Павлова // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия Науки о Земле. – 2009. – Т. 9. – №. 1. – С. 39-44.

52. Попович В. Ф. Моделирование притока в водохранилища для оценки доступности водных ресурсов в рамках городского водного цикла / В. Ф. Попович, Е. А. Дунаева // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2015. – № 2(58). – С. 114-120. – EDN TZMACB.

53. Пьянков С. В. Геоинформационное обеспечение моделирования гидрологических процессов и явлений / С. В. Пьянков, А. Н. Шихов. – Пермь: Пермский государственный национальный исследовательский университет, 2017. – 148 с. – ISBN 978-5-7944-3001-1. – EDN YMXXNP.

54. Манна Р. Изучение качества воды в озере плотины 16 Октября: магистерская диссертация 2012-2013 / Р. Манна. – Тишринский университет, 2013. – 133 с. <http://mohe.gov.sy/master/Message/Mc/ranim%20manaa.pdf>.

55. Результаты расчетов гидрологических параметров для оценки риска чрезвычайных ситуаций на неизученных территориях на основе моделирования катастрофических наводнений / А. Н. Щеглов, К. Ю. Жалнин, Г. П. Радионов [и др.] // Технологии гражданской безопасности. – 2022. – Т. 19, № 4(74). – С. 11-19. – EDN MLTITI.

56. Савах М. М. Водные ресурсы Сирийской Арабской Республики: состояние, проблемы и вызовы / М. М. Савах, П. А. Слепнев, А. Белал // Инженерный вестник Дона. – 2023. – № 4(100). – С. 379-385. – EDN VXQUIP.

57. Саприн С. В. К вопросу определения площадей цифровых поверхностей рельефа для нужд трехмерного кадастра / С. В. Саприн // Актуальные проблемы землеустройства, кадастра и природообустройства : материалы II международной научнопрактической конференции факультета землеустройства и кадастров ВГАУ, Воронеж, 30 апреля 2020 года. – Воронеж: Воронежский государственный аграрный университет им. Императора Петра I, 2020. – С. 259-264. – EDN KJNTAU.

58. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2024621641 Российская Федерация. «Спутниковые данные (MODIS) о эвапотранспирации и суммарной испаряемости водосборного бассейна реки Ал Кабир Ал Шамали в САР»: № 2024621203: заявл. 29.03.2024: опубл. 15.04.2024 / Х. Алали, А. В. Перминов; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева». – EDN BTHUXQ.

59. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2024622638 Российская Федерация. «Спутниковые данные (CHIRPS) об осадках водосборного бассейна реки Ал Кабир Ал Шамали в САР»: № 2024622109: заявл. 23.05.2024: опубл. 18.06.2024 / Х. Алали, А. В. Перминов; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева». – EDN ENGZDA.

60. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2024623709 Российская Федерация. «Показатели стока спутниковых данных FLDAS – бассейн реки Ал Кабир Ал Шамали в САР»: № 2024622170: заявл. 23.05.2024: опубл. 22.08.2024 / Х. Алали, А. В. Перминов; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет - МСХА имени К.А. Тимирязева». – EDN DJYDAM.

61. Создание интеллектуальных информационных систем оперативного прогнозирования речных наводнений / А. М. Алабян, В. А. Зеленцов, И. Н. Крыленко, [и др.] // Вестник Российской академии наук. – 2016. – Т. 86, № 2. – С. 127. – DOI 10.7868/S086958731602002X. – EDN VLPYJT.

62. Структурное гидролого-геоморфологическое исследование нижнего бассейна реки Ал Кабир Ал Шамали / Ад-Дахиль, [и др.] // Исследовательский журнал Университета Алеппо - Серия искусств, гуманитарных и образовательных наук. – 2011. – № 79. – С. 415–435. <http://search.mandumah.com/Record/897104>.

63. Сысоев А. В. Создание и обработка цифровых моделей рельефа в среде ГИС / А. В. Сысоев, Т. Е. Елшина // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2017. – Т. 9, № 1. – С. 72-77. – EDN YUENGX.

64. Хромых В. В. Цифровые модели рельефа / В. В. Хромых, О. В. Хромых // Национальный исследовательский Томский государственный университет. – Томск: ТМЛ-Пресс, 2007. – 178 с. – ISBN 5-91302-033-2. – EDN QKHNET.

65. Чумаченко А. Н. Построение гидрологически-корректной цифровой модели рельефа (на примере Саратовской области) / А. Н. Чумаченко, Д. П. Хворостухин, В. А. Морозова // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия Науки о Земле. – 2018. – Т. 18, № 2. – С. 104-109. – DOI 10.18500/1819-7663-2018-18-2-104-109. – EDN OTINYV.

66. Шостак А. С. Мониторинг наличия и состояния сельскохозяйственных культур на заданном наборе полей по космическим изображениям спутниковых снимков Landsat 8 в паспорте землепользования / А. С. Шостак, Т. В. Байкалова // Аграрная наука - сельскому хозяйству: Сборник материалов XV Международной научно-практической конференции. В 2-х книгах, Барнаул, 12–13 марта 2020 года. Том Книга 1. – Барнаул: Алтайский государственный аграрный университет, 2020. – С. 424-429. – EDN FEERAW.

67. Abdo H. G. Sub-basins prioritization based on morphometric analysis and geographic information systems: a case study of the Barada river basin, Damascus countryside governorate, Syria/ H. G. Abdo, et al. //Proceedings of the Indian national science academy. – 2023. – Vol. 89. – No. 2. – pp. 376-385.

68. Abed Rabboh R. Water demand management in Syria / R. Abed Rabboh //3rd Regional Workshop on: water and sustainable development in the Mediterranean water demand management, progress and policies. Blue Plan UNEP/MAP, Zaragoza, Spain. – 2007.
69. Abed Rabboh R. Water demand management in Syria / R. Abed Rabboh //PlanBlue, UNEP, CIHEAM, Water Demand Management in the Mediterranean: Progress and Policies. Zaragoza, Spain. – 2007. – pp. 17-21.
70. Acharya T. D. Application of water indices in surface water change detection using Landsat imagery in Nepal / T. D. Acharya, et al. //Sens. Mater. – 2019. – Vol. 31, №. 5. – pp. 1429 -1447. <https://doi.org/10.18494/SAM.2019.2264>.
71. Adrian R. Lakes as sentinels of climate change / R. Adrian, et al. //Limnology and oceanography. – 2009. – Vol. 54, No. 6part2. – pp. 2283-2297.
72. Alali H. State of Syria's environment and natural resources / H. Alali //, 25–26 апреля 2024 года, 2024. – pp. 276-280. – EDN OGTCRY.
73. Alawi S. A. Evaluation of land use/land cover datasets in hydrological modelling using the SWAT model / S. A. Alawi, S. Özkul //H2Open Journal. – 2023. – Vol. 6, No. 1. – pp. 63-74.
74. Al-Fares W. Historical land use/land cover classification using remote sensing: A case study of the Euphrates river basin in Syria / W. Al-Fares. – Springer Science & Business Media, 2013. – P. 204.
75. Alibrahim M. A. Geological mapping of Eastern Syria by using remote sensing and GIS / M. A. Alibrahim. – Berlin. – 2016. – P. 230.
76. Al-Jabari S. J. Estimation of runoff for agricultural watershed using SCS curve number and GIS / S. J. Al-Jabari: дис. – Birzeit University. – 2007. – P. 109
77. Allen R. G. Crop Evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56 / R. G. Allen, et al. //Fao, Rome. – 1998. – Vol. 300, No. 9. – P. D05109.
78. Allison E. H. Enhancing the resilience of inland fisheries and aquaculture systems to climate change / E. H. Allison, N. L. Andrew, J. Oliver // Journal of Semi-Arid Tropical Agricultural Research. – 2007. – Vol. 4, No. 1. – pp. 1-35.

79. Arnell N. W. Climate change and global water resources / N. W. Arnell //Global environmental change. – 1999. – Vol. 9. – pp. S31-S49. [https://doi.org/10.1016/S0959-3780\(99\)00017-5](https://doi.org/10.1016/S0959-3780(99)00017-5).

80. Aron G. Fitting a gamma distribution over a synthetic unit hydrograph 1 / G. Aron, E. L. White //JAWRA Journal of the American Water Resources Association. – 1982. – Vol. 18, No. 1. – pp. 95-98.

81. Asgari M. A critical review on scale concept in GIS-based watershed management studies / M. Asgari //Spatial Information Research. – 2021. – Vol. 29, No. 3. – pp. 417-425.

82. Ash K. Climatic Stress, Internal Migration, and Syrian Civil War Onset / K. Ash, N. Obradovich // Journal of Conflict Resolution. – Vol. 64, No. 1. – 2020. – pp. 3-31. <https://doi.org/10.1177/0022002719864140>.

83. Askar M. K. Rainfall-runoff model using the SCS-CN method and geographic information systems: a case study of Gomal River watershed / M. K. Askar //WIT Transactions on Ecology and the Environment. – 2013. – Vol. 178. – pp. 159-170.

84. Assessment of surface water dynamics in Bangalore using WRI, NDWI, MNDWI, supervised classification and K-T transformation / V. K. Gautam, P. K. Gaurav, P. Murugan, M. Annadurai // Aquatic Procedia. 2015. – Vol. 4. – pp. 739–746. <https://doi.org/10.1016/j.aqpro.2015.02.095>.

85. Aw-Hassan A. The impact of food and agricultural policies on groundwater use in Syria / A. Aw-Hassan, et al. //Journal of hydrology. – 2014. – Vol. 513. – pp. 204-215.

86. Bakir M. GIS and Remote Sensing applications for rain water harvesting in the Syrian Desert (Al-Badia) / M. Bakir, Z. Xingnan //Proceedings of the 12th International Water Technology Conference. – 2008. – pp. 73-82.

87. Betson R. P. What is watershed runoff? / R. P. Betson //Journal of Geophysical research. – 1964. – Vol. 69, No. 8. – pp. 1541-1552.

88. Beven K. J. Rainfall-runoff modelling: the primer / K. J. Beven //Hydrological Sciences Journal. – 2001. – Vol. 46, No. 6. – pp. 1002-1002.

89. Bilal A. An Advanced Remote Sensing Mapping Technique Aimed at a Better Rainfall Water Preservation in Syria / A. Bilal // *Journal of Earth Science and Engineering*. – 2013. – Vol. 3, No. 9. – P. 613.

90. Böhner J. Spatial prediction of soil attributes using terrain analysis and climate regionalization / J. Böhner, T. Selige // *SAGA-Analyses and modelling applications*. – Goltze, 2006. – Vol. 115. – pp.13-27.

91. Boughton W. C. A review of the USDA SCS curve number method / W. C. Boughton // *Soil Research*. – 1989. – Vol. 27, No. 3. – pp. 511-523.

92. Brainwood M. A. Temporal variations in water quality of farm dams: impacts of land use and water sources / M. A. Brainwood, S. Burgin, B. Maheshwari // *Agricultural Water Management*. – 2004. – Vol. 70, No. 2. – pp. 151-175.

93. Brown J. F. Application-ready expedited MODIS data for operational land surface monitoring of vegetation condition / J. F. Brown, et al. // *Remote Sensing*. – 2015. – Vol. 7, No. 12. – pp. 16226-16240.

94. Budiadi E. Watershed characteristics of West Progo dome and its implications on neotectonic / E. Budiadi, T. L. RA // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. – IOP Publishing. – 2023. – Vol. 1151, No. 1. – P. 012025.

95. Bunmi M. R. Morphometric Analysis of Asa and Oyun River Basins, North Central Nigeria Using Geographical Information System / M. R. Bunmi, et al. // *American Journal of Civil Engineering*. – 2017. – Vol. 5, No. 6. – pp. 379-393.

96. Burrough P. A. Principles of geographical information systems / P. A. Burrough, R. A. McDonnell // OXFORD UNIVERSITY PRESS. – England. – 1998. – P. 19.

97. CBS-SYR. *Central Bureau of Statistics of Syria, population and demographic indicators* [Электронный ресурс]. – 2011. <http://www.cbssyr.org/>.

98. Cheng K. The role of soils in regulation of freshwater and coastal water quality / K. Cheng, et al. // *Philosophical Transactions of the Royal Society B*. – 2021. – Vol. 376, No. 1834. – P. 20200176. <https://doi.org/10.1098/rstb.2020.0176>.

99. Chorley R. J. Introduction to Fluvial Process / R. J. Chorley. – Methuen Co. Ltd. – 1976. – P. 216.

100. Clark C. O. Storage and the unit hydrograph / C. O. Clark //Transactions of the American Society of Civil Engineers. – 1945. – Vol. 110, No. 1. – pp. 1419-1446.

101. Conker A. Hydropolitics and issue-linkage along the Orontes River Basin: An analysis of the Lebanon–Syria and Syria–Turkey hydropolitical relations / A. Conker, H. Hussein //International Environmental Agreements: Politics, Law and Economics. – 2020. – Vol. 20, No. 1. – pp. 103-121.

102. Copernicus Climate Change Service (C3S): ERA5 Ag: Agrometeorological indicators from 1979 to present derived from reanalysis. Copernicus Climate Change Service Climate Data Store (CDS), [Электронный ресурс]. – 2007. <https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/sis-agrometeorological-indicators?tab=overview>

103. Darghouth S. Watershed management approaches, policies, and operations: lessons for scaling up / S. Darghouth, C. Ward, G. Gambarelli, E. Styger, J. Roux// The World Bank, Washington, DC . 20433 USA. – 2008. – P. 164.

104. Dayoub H. Seasonal and annual precipitation time series trend analysis in Al-Kabir Al-Shamali River basin, Syria / H. Dayoub, T. Sheikho, Y. Al-Ali //Tishreen University Journal – Biological Sciences Series. – 2023. – vol. 45, No. 2. – pp. 125-135. (In Arabic).

105. Deng Z. Land use/land cover classification using time series Landsat 8 images in a heavily urbanized area / Z. Deng, X. Zhu, Q. He, L. Tang //Advances in Space Research. – 2019. – Vol. 63, No. 7. – pp. 2144-2154.

106. Devia G. K. A review on hydrological models / G. K. Devia, B. P. Ganasri, G. S. Dwarakish //Aquatic procedia. – 2015. – Vol. 4. – pp.1001-1007.

107. Dodonov A. E. Late Quaternary marine terraces in the Mediterranean coastal area of Syria: Geochronology and neotectonics / A. E. Dodonov, et al. //Quaternary International. – 2008. – Vol. 190, No. 1. – pp. 158-170.

108. Dooge J. C. I. A general theory of the unit hydrograph / J. C. I. Dooge //Journal of geophysical research. – 1959. – Vol. 64, No. 2. – pp. 241-256.

109. Douglas-Mankin K. R. Soil and Water Assessment Tool (SWAT) model: Current developments and applications / K. R. Douglas-Mankin, R. Srinivasan, J. G. Arnold //Transactions of the ASABE. – 2010. – Vol. 53, No. 5. – pp. 1423-1431.

110. Drgham M. M. The Current Water Balance in Syria: Evaluating the potential contribution of Constructed Wetlands as a treatment plant of municipal wastewater in Al-Haffah / M. M. Drgham// Mid Sweden University. Sweden. – 2020. – P. 35.

111. Duarte Y. C. N. NASA/POWER and DailyGridded weather datasets—how good they are for estimating maize yields in Brazil? / Y. C. N. Duarte, P. C. Sentelhas //International Journal of Biometeorology. – 2020. – Vol. 64. – pp. 319-329.

112. Dysarz T. Application of python scripting techniques for control and automation of HEC-RAS simulations / T. Dysarz //Water. – 2018. – Vol. 10, No. 10. – pp. 1382.

113. Easterbrook D. J. Principles of geomorphology / D. J. Easterbrook. – McGraw-Hill, Inc. Co., New York. – 1969. –P. 462.

114. Einfalt T. Towards a roadmap for use of radar rainfall data in urban drainage / T. Einfalt, et al. //Journal of Hydrology. – 2004. – Vol. 299, No. 3-4. – pp. 186-202.

115. Fang X. Literature review on timing parameters for hydrographs / X. Fang, et al. //Department of Civil Engineering, Lamar University, Beaumont. – 2005. – Vol. 83. – P. 72.

116. FAO. Food and Agriculture Organization. Aquastat database: Syria Arab Republic [Электронный ресурс]. – 2011. <http://www.fao.org/nr/water/aquastat/countries/syria/index.htm>

117. FAO. Syrian Arab Republic Joint Rapid Food Security Needs Assessment (JRFSNA) [Электронный ресурс]. – 2012 FAO Rep., 26 pp. http://www.fao.org/giews/english/otherpub/JRFSNA_Syrian2012.pdf.

118. FAO. Syrian Arab Republic: Precipitation analysis, 1980–2021. Rome [Электронный ресурс]. – 2021. <https://doi.org/10.4060/cb7151en>.

119. Faour G. Water environment in the coastal basins of Syria-assessing the impacts of the war / G. Faour, A. Fayad //Environmental Processes. – 2014. – Vol. 1, No. 4. – pp. 533-552.

120. Farran M. M. A comparative study of the estimation methods for NRCS curve number of natural arid basins and the impact on flash flood predications / M. M. Farran, et al. //Arabian Journal of Geosciences. – 2021. – Vol. 14. – pp. 1-23.

121. Fisher R. Satellite Image Analysis and Terrain Modelling: A Practical Manual for Natural Resource Management, Disaster Risk and Development Planning Using Free Geospatial Data and Software / R. Fisher, et al. //Charles Darwin University, Universitas Nusa Cendana dan Universitas Halu: Ed. – 2017. – Vol. 2. – P. 150.

122. Florinsky I. V. An illustrated introduction to general geomorphometry / I. V. Florinsky // Progress in Physical Geography. 2017. – Vol. 41. – pp. 723–752.

123. Funk C. C. A quasi-global precipitation time series for drought monitoring / C. C. Funk, et al. //US Geological Survey. – 2014. – No. 832. <https://doi.org/10.3133/ds832>.

124. Funk C. The climate hazards infrared precipitation with stations—a new environmental record for monitoring extremes / C. Funk, et al. //Scientific data. – 2015. – Vol. 2, No. 1. – pp. 1-21. Article number: 150066. <https://doi.org/10.1038/sdata.2015.66>.

125. Ghebrehiwot A. A. Runoff irrigation practices and challenges in western lowlands of Eritrea / A. A. Ghebrehiwot, D. V. Kozlov // Vestn. MGSU. – 2021. – Vol. 16, No. 8. – pp. 1065–1076.

126. Gleick P. H. Water, Drought, Climate Change, and Conflict in Syria / P. H. Gleick // American Meteorological Society. – Vol. 6, No. 3. – 2014. – pp. 331-340.

127. Grayson R. Spatial Modelling of Catchment Dynamics / R. Grayson, G. Blöschl // Spatial patterns in catchment hydrology: observations and modelling / R. Grayson, G. Blöschl (Eds.). - New York: Cambridge University Press, 2000. – pp. 51–81.

128. Gueye P. Evaluation of Remotely Sensed Estimates of Evapotranspiration in Small Headwater Catchments in the Piedmont of North Carolina / P. Gueye. – North Carolina State University. – 2023.

129. Gunduz O. Hydrologic modeling of the lower Altamaha river basin / O. Gunduz, M. M. Aral //2003 Georgia Water Resources Conference, Athens, Georgia, University of Georgia. – 2003.

130. Guo J. General and analytic unit hydrograph and its applications / J. Guo //Journal of Hydrologic Engineering. – 2022. – Vol. 27, No. 2. – P. 04021046.
131. Guo J. General unit hydrograph from Chow's linear theory of hydrologic systems and its applications / J. Guo //Journal of Hydrologic Engineering. – 2022. – Vol. 27, No. 10. – P. 04022020.
132. Haifa S. Temporal and spatial changes of some nitrogen pollutants in the lower section of the Alkabeer Alshamali River / S. Haifa, A. Assad, R. Fares // Tishreen University Journal-Biological Sciences Series. – 2022. – Vol. 44, No. 2. – pp. 213-225.
133. Jnad H. A study of the water quality of the 16th Tishrin Dam Lake / H. Jnad, K. Harba, R. Manaa // Tishreen University Journal-Engineering Sciences Series. – 2013. – Vol. 35, No. 9. – pp. 167-182.
134. Harlan H. Bengtson. U.S. Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service. National Engineering Handbook, Part 630, Hydrology, Chapter 17 Flood Routing [Электронный ресурс]. – 2014. – P. 73. Режим доступа: [C04-053 - Introduction to Flood Routing Methods - US.pdf](#)
135. Hartmann A. Karst water resources in a changing world: Review of hydrological modeling approaches / A. Hartmann, et al. //Reviews of Geophysics. – 2014. – Vol. 52, No. 3. – pp. 218-242.
136. Hasmadi M. Evaluating supervised and unsupervised techniques for land cover mapping using remote sensing data / M. Hasmadi, H. Z. Pakhriazad, M. F. Shahrin //Geografia: Malaysian Journal of Society and Space. – 2009. – Vol. 5, No. 1. – pp. 1-10.
137. Hatami H. Conflicts over water in the myths, legends, and ancient history of the Middle East / H. Hatami, P. H. Gleick //Environment: Science and Policy for Sustainable Development. – 1994. – Vol. 36, No. 3. – pp. 10-11.
138. Horton R. E. Erosional development of streams and their drainage basins. Hydrogeological approach to quantitative geomorphology / R. E. Horton // Bulletin of geological society of America. – 1945. – Vol. 56. – pp. 275-370.
139. Hothefa A. Use of Modern GIS Technologies in the Analysis of Hydrological Data for the Alkabeer Alshamali River in Syria / A. Hothefa, A. V. Perminov // Power

Technology and Engineering. – 2024. – Vol. 58, No. 3. – P. 458-462. – DOI 10.1007/s10749-024-01840-9. – EDN ZRYDTW.

140. Huntington J. L. Climate engine: Cloud computing and visualization of climate and remote sensing data for advanced natural resource monitoring and process understanding / J. L. Huntington, et al. // *Bulletin of the American Meteorological Society*. – 2017. – Vol. 98, No. 11. – pp. 2397-2410.

141. Hurtrez J. E. Effect of drainage area on hypsometry from analysis of small-scale drainage basins in the Siwalik Hills (Central Nepal) / J. E. Hurtrez, C. Sol, F. Lucazeau // *Earth Surface Processes and Landforms*. 1999. – Vol. 24. – pp. 799-808.

142. International Committee of the Red Cross. Syria: Water crisis after 10 years of war [Электронный ресурс]. – 2021. <https://www.icrc.org/en/document/syria-water-crisis-after-10-years-war>.

143. Jaafar H. H. Impact of the Syrian conflict on irrigated agriculture in the Orontes Basin / H. H. Jaafar, R. Zurayk, C. King, F. Ahmad, R. Al-Outa // *The water-energy-food nexus in the Middle East and North Africa*. – Routledge. – 2017. – pp. 148-161.

144. Janat M. Syrian Arab Republic. Chapter 9 [Challenges and Opportunities for Crop Production in Dry and Saline Environments in ARASIA Member States] / M. Janat, F. Kurdali, I. Mubarak, A. Wahbi. – VIENNA. – 2018. – P. 138.

145. Jatou J. F. Hydrologic De Surface (1erepartie): Ecoulement De Surface Et Debits des Crues / J. F. Jatou // *Ecole, Polytechnique, Institute De Genie Rural, Lausanne*. – 1980. – pp. 42-129.

146. Jenson S. K. Extracting topographic structure from digital elevation data for geographic information system analysis / S. K. Jenson, J. O. Domingue // *Photogrammetric engineering and remote sensing*. – 1988. – Vol. 54, No. 11. – pp. 1593-1600.

147. Jha A. Morphometric Analysis of Gandak River Drainage Basin Using Geographic Information System (GIS) And SRTM-DEM / A. Jha, N. C. Gupta, B. Dey // *Geology*. 2022. – Vol. 4, No. 18. – P. 31.

148. Johanson R. C. Users manual for hydrological simulation program-Fortran (HSPF) / R. C. Johanson, J. C. Imhoff, H. H. Davis. – Environmental Research Laboratory, Office of Research and Development, US Environmental Protection Agency. – 1980. – Vol. 80, No. 15. – P. 678.

149. Johnson L. E. Geographic information systems in water resources engineering / L. E. Johnson. – CRC Press. – 2016. – P. 316. <https://doi.org/10.1201/9781420069143>.

150. Kaisi A. Syrian Arab Republic Country Report / A. Kaisi, M. Yasser, Y. Mahrouseh // El Gamal F.(ed.), Lamaddalena N.(ed.), Bogliotti C.(ed.), Guelloubi R.(ed.). Non-conventional water use: WASAMED project. – Bari: CIHEAM/EU DG Research, 2005. – pp. 251-264.

151. Karabörk H. Accuracy assessment of DEMs derived from multiple SAR data using the InSAR technique / H. Karabörk, H. B. Makineci, O. Orhan, P. Karakus //Arabian Journal for Science and Engineering. – 2021. – Vol. 46. – pp. 5755-5765.

152. Kirpich Z. P. Time of concentration of small agricultural watersheds / Z. P. Kirpich //Civil engineering. – 1940. – Vol. 10, No. 6. – P. 362.

153. Kite G. W. Remote sensing applications in hydrological modelling / G. W. Kite, A. Pietroniro //Hydrological Sciences Journal. – 1996. – Vol. 41, No. 4. – pp. 563-591.

154. Klari Z. M. Application of SCS-Curve Number Method to estimate Runoff using GIS for Gali-Bandawa Watershed / Z. M. Klari, S. A. Ibrahim //Academic Journal of Nawroz University. – 2021. – Vol. 10, No. 1. – pp. 318-325.

155. Knebl M. R. Regional scale flood modeling using NEXRAD rainfall, GIS, and HEC-HMS/RAS: a case study for the San Antonio River Basin Summer 2002 storm event / M. R. Knebl, L. Z. Yang, K. Hutchison, D. R. Maidment //Journal of Environmental Management. – 2005. – Vol. 75, No. 4. – pp. 325-336.

156. Koneti S. Hydrological modeling with respect to impact of land-use and land-cover change on the runoff dynamics in Godavari River Basin using the HEC-HMS model /S. Koneti, S. L. Sunkara, P. S. Roy //ISPRS International Journal of Geo-Information. – 2018. – Vol. 7, No. 6. – P. 206.

157. Kopecký M. Topographic Wetness Index calculation guidelines based on measured soil moisture and plant species composition / M. Kopecký, M. Macek, J. Wild //Science of The Total Environment. – 2021. – Vol. 757. – P. 143785.

158. Lazo P. X. The role of vegetation, soils, and precipitation on water storage and hydrological services in Andean Páramo catchments / P. X. Lazo, G. M. Mosquera, J. J. McDonnell, P. Crespo //Journal of Hydrology. – 2019. – Vol. 572. – pp. 805-819.

159. Linsley Jr R. K., Kohler M. A., Paulhus J. L. H. Hydrology for engineers/ R. K. Linsley Jr, M. A. Kohler, JLH Paulhus. – New York, United States. – 1975. – P. 482.

160. Littlewood I. G. Unit Hydrographs and United Kingdom hydrology 1990-2020: IHACRES rainfall–streamflow modelling / I. G. Littlewood //BHS Occasional Paper No.15. – 2021. – Vol. 15. – P. 56.

161. Loveland T. R. Development of a global land cover characteristics database and IGBP DISCover from 1 km AVHRR data / T. R. Loveland, et al. //International journal of remote sensing. – 2000. – Vol. 21, No. 6-7. – pp. 1303-1330.

162. Luo Y. Influence of meteorological factors on the potential evapotranspiration in Yanhe River Basin, China / Y. Luo, P. Gao, X. Mu //Water. – 2021. – Vol. 13, No. 9. – P. 1222.

163. Luo W. Hypsometric Analysis with a Geographic Information System / W. Luo // Computers and Geosciences. – 1998. – Vol. 24. – pp. 815-821.

164. Ma L. MIKE SHE modeling of ecohydrological processes: Merits, applications, and challenges / L. Ma, C. He, H. Bian, L. Sheng //Ecological Engineering. – 2016. – Vol. 96. – pp. 137-149.

165. Bobo M. Calculation of Actual Storage Capacity and the Sediments Volume in the Lake of 16 Tishreen Dam in Lattakia by Topographic Methods / M. Bobo //Tishreen University Journal-Engineering Sciences Series. – 2019. – Vol. 41, No. 1. – pp. 25-42.

166. Hawat M. Y. Construction of a numerical model for predicting sediment distribution within the (16) Tishrin reservoir using numerical methods: dissertation: in the field of hydrology and irrigation technology in Syria / M. Y. Hawat. – Faculty of Civil Engineering of Tishrin University., 2020. – P. 159.

167. Mahmoud A. evaluation of al kabeer al shamali river's water suitability for drinking, based on modeling and pseudomonas aeruginosa detection in Syria / A. Mahmoud, M. Y. Khudair //Journal of Life Science and Applied Research. – 2023. – Vol. 4, No.1. – pp. 9-29.

168. Mahmoud D. H. Syrian Water Situation – Analytical Study and Future Prospects / D. H. Mahmoud, C. Sayegh. Homs: Baath University [Электронный ресурс]. – 2017. <https://water.fanack.com/syria/water-resources>.

169. McConnell W. Meeting in the middle: the challenge of meso-level integration / W. McConnell, E. F. Moran //Land Use Policy. – 2002. – Vol. 19, No. 1. – pp. 99-101.

170. McNally A. A land data assimilation system for sub-Saharan Africa food and water security applications / A. McConnell, et al. //Scientific data. – 2017. – Vol. 4, No. 1. – pp. 1-19.

171. Mekonnen Y. A. Land use/land cover change impact on streamflow using Arc-SWAT model, in case of Fetam watershed, Abbay Basin, Ethiopia / Y. A. Mekonnen, T. M. Manderso //Applied Water Science. – 2023. – Vol. 13, No. 5. – P. 111.

172. Melton M. A. Geometric properties of mature drainage basin systems and their representation in E4 phase space / M. A. Melton // Journal of Geology. 1958. –Vol. 66. – pp. 35-56.

173. Meslmani Y. Initial national communication of the Syrian Arab Republic / Y. Meslmani //Ministry of state for environment affairs (MSEA), in collaboration with United Nation development program (UNDP) in Syria, and the global environmental facility (GEF), submitted to the United Nations framework convention on climate change (UNFCCC), Damascus, Syria. – 2010. – P. 164.

174. Mimikou M. A. Hydrology and water resource systems analysis / M. A. Mimikou, E. A. Baltas, V. A. Tsihrintzis. – CRC Press. – Boca Raton. – 2016. – P. 464 <https://doi.org/10.1201/9781315374246>.

175. Mockus V. Use of storm and watershed characteristics in synthetic unit hydrograph analysis and application / V. Mockus //US Soil Conservation Service. – 1957.

176. Mohammed S. A. Syrian crisis repercussions on the agricultural sector: Case study of wheat, cotton and olives / A. S. Mohammed, A. Alkerdi, J. Nagy, E. Harsányi //Regional Science Policy & Practice. – 2020. – Vol. 12, No. 3. – pp. 519-537.

177. MoI-SYR. Ministry of Irrigation in Syria. Agreements with neighboring countries [Электронный ресурс]. – 2011. <http://www.irrigation.gov.sy/index.php?m=118>.

178. Moore I. D. Physical basis of the length-slope factor in the universal soil loss equation / I. D. Moore, G. J. Burch //Soil Science Society of America Journal. – 1986. – Vol. 50, No. 5. – pp. 1294-1298.

179. Moore I. D., Ladson A. R. Digital terrain modelling: a review of hydrological, geomorphological, and biological applications / I. D. Moore, R. B. Grayson //Hydrological processes. – 1991. – Vol. 5, No. 1. – pp. 3-30.

180. Moreno M. Geomorphometric analysis of raster image data to detect terrain ruggedness and drainage density / M. Moreno, S. Levachkine, M. Torres, R. Quintero //Iberoamerican Congress on Pattern Recognition. – Springer, Berlin, Heidelberg. – 2003. – pp. 643-650.

181. Mosquera-Machado S. Flood hazard assessment of Atrato River in Colombia / S. Mosquera-Machado, S. Ahmad //Water resources management. – 2007. – Vol. 21. – pp. 591-609.

182. Mourad K. A. Water status in the Syrian water basins / K. A. Mourad, R. Berndtsson //Open journal of modern hydrology. – 2012. – Vol. 2, No. 1. – pp. 15-20.

183. Mourad K. A. Syrian water resources between the present and the future / K. A. Mourad, R. Berndtsson //Air, Soil and Water Research. – 2011. – Vol. 4. – pp. 93–100. <https://doi.org/10.4137/ASWR.S8076>

184. Mu Q. MODIS global terrestrial evapotranspiration (ET) product (NASA MOD16A2/A3) / Q. Mu, M. Zhao, S. W. Running //Algorithm Theoretical Basis Document, Collection. – 2013. – Vol. 5, No. 600. – pp. 381-394.

185. Naaouf N., Torma C. Z. Climate of Syria based on cordex simulations: present and future / N. Naaouf, C. Z. Torma //Earth Systems and Environment. – 2023. – Vol. 7, No. 3. – pp. 679-697.

186. Nachtergaele F. Harmonized World Soil Database version 2.0. – Food and Agriculture Organization of the United Nations / F. Nachtergaele, et al. – 2023. – P. 71.

187. Navascues B. Analysis of 2-meter temperature and relative humidity / B. Navascues // Instituto Nacional de Meteorologia, Madrid, Spain. – 1997. – P 30.

188. Neeley S. Analyzing earth data with NASA's AppEEARS tool to improve research efficiency / S. Neeley //AGU Fall Meeting Abstracts. – 2018. – Vol. 2018. – P. IN53C-0619.

189. Neverre N. Projecting and valuing domestic water use at regional scale: A generic method applied to the Mediterranean at the 2060 horizon / N. Neverre, P. Dumas // Water Resources and Economics. 2015. Vol. 11. pp. 33–46. <https://doi.org/10.1016/j.wre.2015.06.001>.

190. Norouzi H. Flood routing using the Muskingum-Cunge method and application of different routing parameters / H. Norouzi, J. Bazargan //Sādhanā. – 2022. – Vol. 47, No. 4. – P. 282.

191. Ogden F. L. Predicting hydrologic effects of land-use change: Problems with the curve number approach / F. L. Ogden, N. R. Pradhan, E. J. Nelson, C. W. Downe //World Environmental and Water Resources Congress 2011: Bearing Knowledge for Sustainability. – 2011. – pp. 4801-4810.

192. Oki T. The global water cycle / T. Oki, D. Entekhabi, T. I. Harrold //Global energy and water cycles. – 1999. – Vol. 10. – P. 27.

193. Pandi D. Hydrological models: a review / D. Pandi, S. Kothandaraman, M. Kuppusamy //International Journal of Hydrology Science and Technology. – 2021. – Vol. 12, No. 3. – pp. 223-242.

194. Panikkar P. Exploring climate change trends in major river basins and its impact on the riverine ecology, fish catch and fisheries of the Peninsular region of India: Issues and a brief overview / P. Panikkar, U. K. Sarkar, B. K. Das //Journal of Water and Climate Change. – 2022. – Vol. 13, No. 7. – pp. 2690-2699.

195. Paul L. R. Comparison of different rheological approaches and flow direction algorithms in a physically based debris flow model for data scarce regions / L. R. Paul,

P. G. Michel, et al. //Natural Hazards and Earth System Sciences Discussions– 2023. – Vol. 2023. – pp. 1-21.

196. Phiri D. Sentinel-2 data for land cover/use mapping: A review / D. Phiri, M. Simwanda, et al. //Remote Sensing. – 2020. – Vol. 12, No. 14. – P. 2291. <https://doi.org/10.3390/rs12142291>.

197. Ponce V. M. Runoff curve number: Has it reached maturity? / V. M. Ponce, R. H. Hawkins //Journal of hydrologic engineering. – 1996. – Vol. 1, No. 1. – pp. 11-19.

198. Potapov P. Landsat analysis ready data for global land cover and land cover change mapping / P. Potapov, et al. //Remote Sensing. – 2020. – Vol. 12, No. 3. – P. 426.

199. Rango A. Application of remote sensing methods to hydrology and water resources / A. Rango //Hydrological Sciences Journal. – 1994. – Vol. 39, No. 4. – pp. 309-320.

200. Richard G. A. Food and Agriculture Organization of the United Nations. «Introduction to evapotranspiration». / G. A. Richard, P. S. Luis, R. Dirk, S. Martin // Rome: FAO. Retrieved from Chapter 1 - Introduction to evapotranspiration (fao.org) [Электронный ресурс]. – 1992. <https://www.fao.org/4/x0490e/x0490e04.htm>.

201. Riley S. J. Index that quantifies topographic heterogeneity / S. J. Riley, S. D. DeGloria, R. Elliot //intermountain Journal of sciences. – 1999. – Vol. 5, No. 1-4. – pp. 23-27.

202. Robinson M. Principles of hydrology / M. Robinson, R. S. Ward. – New York, NY, USA: McGraw-Hill. – 1990. – P. 381.

203. Rocchio L. E. P. Landsat benefiting society for fifty years. – NASA / L. E. P. Rocchio, P. Connot, S. Young, K. Ramsayer, L. Owen, M. Bouchard, C. Barnes. – 2018. – P. 60.

204. Ross M. A. Integrated hydrologic modeling with geographic information systems / M. A. Ross, P. D. Tara //Journal of Water Resources Planning and Management. – 1993. – Vol. 119, No. 2. – pp. 129-140.

205. Sabol G. V. Clark unit hydrograph and R-parameter estimation / G. V. Sabol //Journal of Hydraulic Engineering. – 1988. – Vol. 114, No. 1. – pp. 103-111.

206. Sakka A. H. M. Morphometric Characteristics of the Wadi Laban Drainage Basin in the Kingdom of Saudi Arabia: A Geomorphological Study Using Geographic Information Systems / A. H. M. Sakka // Journal of King Abdulaziz University: Arts and Humanities. – 2011. – Vol. 106, No. 2911. – pp. 1-66.

207. Salman M. Water demand management in Syria: Centralized and decentralized views / M. Salman, W. Mualla //Water Policy. – 2008. – Vol. 10, No. 6. – pp. 549-562. <https://doi.org/10.2166/wp.2008.065>

208. Salman Q. M. K. Runoff Estimation for the Central Region of the Lesser Zab River Watershed Using the SCS-Curve Number Method and GIS / Q. M. K. Salman, A. N. A. Hamdan //Journal of Ecological Engineering. – 2023. – Vol. 24, No. 9. – pp. 232-245. <https://doi.org/10.12911/22998993/167789>

209. Sassolas-Serrayet T. The shape of watersheds / T. Sassolas-Serrayet, R. Cattin, M. Ferry //Nature communications. – 2018. – Vol. 9, No.1. – P. 3791.

210. Schumm S. A. Evolution of drainage systems and slopes in badlands at Perth Amboy, New Jersey / S. A. Schumm //Geological society of America bulletin. – 1956. – Vol. 67, No. 5. – pp. 597-646.

211. Shaikh M. P. Assessment of the empirical methods for the development of the synthetic unit hydrograph: A case study of a semi-arid river basin / M. P. Shaikh, S. M. Yadav, V. L. Manekar //Water Practice & Technology. – 2022. – Vol. 17, No. 1. – pp. 139-156.

212. Shammout M. W. Curve number applications for restoration the Zarqa River Basin / M. W. Shammout, M. Shatanawi, J. Nelson //Sustainability. – 2018. – Vol. 10, No. 3. – P. 586.

213. Shoemaker W. B. Alternate corrections for estimating actual wetland evapotranspiration from potential evapotranspiration / W. B. Shoemaker, D. M. Sumner //Wetlands. – 2006. – Vol. 26, No. 2. – pp. 528-543.

214. Singh V.P. Hydrologic Systems: Rainfall–Runoff Modeling / V.P. Singh. - New Jersey: Prentice-Hall, Englewood Cliffs. – 1988. – Vol. I. – P. 480.

215. Singh V.P. Computer models of watershed hydrology / V. P. Singh. - Littleton, CO: Water Resources Publications. USA. – 1995. – P. 1130.

216. Smith K. G. Standards for grading texture of erosional topography / K. G. Smith. – American Journal of Science. – 1950. – Vol. 248. – pp. 655-668.

217. Soil Conservation Service. National engineering handbook, Section 4, Hydrology. Department of Agriculture, Washington. – 1972. – P. 81. <https://books.google.com.sg/books?id=sjOEf-5zjXgC>.

218. Sood A. Global hydrological models: a review / A. Sood, V. Smakhtin //Hydrological Sciences Journal. – 2015. – Vol. 60, No. 4. – pp. 549-565.

219. Sørensen R. On the calculation of the topographic wetness index: evaluation of different methods based on field observations / R. Sørensen, U. Zinko, J. Seibert //Hydrology and Earth System Sciences. – 2006. – Vol. 10, No. 1. – pp. 101-112. doi:10.5194/hess-10-101-2006.

220. Stathis D. Assessment of land-use change effect on a design storm hydrograph using the SCS curve number method / D. Stathis, M. Sapountzis, D. Myronidis //Fresenius Environmental Bulletin. – 2010. – Vol. 19, No. 9. – pp. 1928-1934.

221. Steenhuis T. S. SCS runoff equation revisited for variable-source runoff areas / T. S. Steenhuis, et al. //Journal of Irrigation and Drainage Engineering. – 1995. – Vol. 121, No. 3. – pp. 234-238.

222. Stonestrom D. A. Introduction to special section on impacts of land use change on water resources / D. A. Stonestrom, B. R. Scanlon, L. Zhang //Water resources research. – 2009. – Vol. 45, No. 7. <https://doi.org/10.1029/2009WR007937>.

223. Strahler A. N. Quantitative analysis of watershed geomorphology / A. N. Strahler // Transactions American Geophysical Union. – 1957. – Vol. 38. – pp. 913-920.

224. Strahler A. N. Quantitative geomorphology of drainage basins and channel networks; in a book of applied hydrology, edited by chow, V. T., McGraw-Hill/ A. N. Strahler. – New York. – 1964. – pp. 439-476.

225. Sui D. Z. Integrating GIS with hydrological modeling: practices, problems, and prospects / D. Z. Sui, R. C. Maggio //Computers, environment and urban systems. – 1999. – Vol. 23, No. 1. – pp. 33-51.

226. Sukristiyanti S. Watershed-based morphometric analysis: a review / S. Sukristiyanti, R. Maria, H. Lestiana //IOP conference series: earth and environmental science. – IOP Publishing, 2018. – Vol. 118, No. 1. – P. 012028.

227. Thampi S. G. Influence of scale on SWAT model calibration for streamflow in a river basin in the humid tropics / S. G. Thampi, K. Y. Raneesh, T. V. Surya //Water Resources Management. – 2010. – Vol. 24. – pp. 4567-4578.

228. Todini E. Hydrological catchment modelling: past, present and future / E. Todini // Hydrol. Earth Syst. Sci. – 2007. – Vol. 11, No. 1. – pp. 468-482.

229. U.S. Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center. HEC-HMS Technical Reference Manual. U.S. Army Corps of Engineers, Davis, CA [Электронный ресурс]. – 2023. – P. 324. Режим доступа: https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms/documentation/HEC-HMS_Technical_Reference_Manual-20231018.pdf

230. U.S. Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service. National Engineering Handbook, Part 630, Hydrology, Chapter 4 Storm Rainfall Depth and Distribution. Title 210 – National Engineering Handbook [Электронный ресурс]. – 2019. [NEH Part 640, Chapter 4, Storm Rainfall Depth and Distribution](#).

231. Uuemaa E. Vertical accuracy of freely available global digital elevation models (ASTER, AW3D30, MERIT, TanDEM-X, SRTM, and NASADEM) / E. Uuemaa, S. Ahi, B. Montibeller, M. Muru, A. Kmoch //Remote Sensing. – 2020. – Vol. 12, No. 21. – P. 3482.

232. Venter Z. S. Global 10 m Land Use Land Cover Datasets: A Comparison of Dynamic World, World Cover and Esri Land Cover / Z. S. Venter, D. N., Barton, T. Chakraborty, T. Simensen, G. Singh //Remote Sensing. – 2022. – Vol. 14, No. 16. – P. 4101.

233. Verner D. Economics of climate change in the Arab world: case studies from the Syrian Arab Republic, Tunisia and the Republic of Yemen / D. Verner, C. Breisinger. – World Bank Publications. – 2013. – P. 136.

234. Wadid E. Drought vulnerability in the Arab Region: Case study; Drought in Syria—Ten years of scarce water (2000–2010) / E. Wadid //ISDR and the Arab Center

for the Studies of Arid Zones and Dry Lands. – 2011. – P. 74. [Available online at http://www.unisdr.org/files/23905_droughtsyriasmall.pdf.]

235. Al-Khatib W. The impact of the Syrian crisis on the agricultural environmental reality / W. Al-Khatib // National Center for Agricultural Policy, Rural Development Department, Damascus. – 2018. – P. 64.

236. Waikar M. L. Morphometric analysis of a drainage basin using geographical information system: a case study / M. L. Waikar, A. P. Nilawar // Int. Journal of Multidisciplinary and Current Research. – 2014. – Vol. 2. – pp. 179-184.

237. Wałęga A. Application of HEC-HMS programme for the reconstruction of a flood event in an uncontrolled basin / A. Wałęga // Journal of Water and Land Development. – 2013. – Vol. 18, No. 9. – pp. 13-20.

238. Wang G. Impacts of climate change on water resources in the Yellow River basin and identification of global adaptation strategies / G. Wang, et al. // Mitigation and adaptation strategies for global change. – 2017. – Vol. 22. – pp. 67-83.

239. Wang K. Effects of land-use/cover change on hydrological processes using a GIS/RS-based integrated hydrological model: case study of the East River, China / K. Wang, Q. Zhang, Y. D. Chen, V. P. Singh // Hydrological Sciences Journal. – 2015. – Vol. 60, No. 10. – pp. 1724-1738.

240. Wang R. Effects of gully head height and soil texture on gully headcut erosion in the Loess Plateau of China / R. Wang, et al. // Catena. – 2021. – Vol. 207. – P. 105674.

241. Wang S. Assessment of influencing factors on non-point source pollution critical source areas in an agricultural watershed / S. Wang, Y. Wang, Y. Wang, Z. Wang // Ecological Indicators. – 2022. – Vol. 141. – P. 109084.

242. Wang Y. Contrast effects of vegetation cover change on evapotranspiration during a revegetation period in the Poyang Lake Basin, China / Y. Wang, Y. Liu, J. Jin // Forests. – 2018. – Vol. 9, No. 4. – P. 217.

243. Williams J. R. Evolution of the SCS runoff curve number method and its application to continuous runoff simulation/ J. R. Williams, N. Kannan, X. Wang, C. Santhi, J. G. Arnold // Journal of Hydrologic Engineering. – 2012. – Vol. 17, No. 11. – pp. 1221-1229.

244. Wilson J. P. Water resource applications of geographic information systems / J. P. Wilson, H. Mitasova, D. J. Wright //Urisa Journal. – 2000. – Vol. 12, No. 2. – pp. 61-79.

245. Zaitchik B. Spatial analysis of agricultural land use changes in the Khabour river basin of northeaster Syria / B. Zaitchik, R. Smith, F. Hole //ISPRS Commission I Symposium. – 2002. – Vol. 34.

246. Zhan X. ArcCN-Runoff: an ArcGIS tool for generating curve number and runoff maps / X. Zhan, M. L. Huang //Environmental modelling & software. – 2004. – Vol. 19, No. 10. – pp. 875-879.

Таблица А.1 – Среднемесячный объем поверхностный сток с 01.2000 по 08.2023 г. по данным (FLDAS) (мм/мес.)

Месяц	Дни в месяце	Поверхности сток (мм/мес)
Январь	31	38
Февраль	28	35
Март	31	17
Апрель	30	9
Май	31	1.3
Июнь	30	0.4
Июль	31	0
Август	31	0
Сентябрь	30	0.9
Октябрь	31	4
Ноябрь	30	7
Декабрь	31	28
Всего	365	140,6



Рисунок А.1 – Диаграмм временной ряд объема поверхностного сток с 01/2000 по 08/2023 года (построен автором в программе Microsoft Excel 2013 по данным FLDAS)

Таблица А.2 – Среднемесячный объем общий сток с 01.2000 по 08.2023 г. по данным (FLDAS) (мм/мес.)

Месяц	Дни в месяце	Общий сток (мм/мес)
Январь	31	46
Февраль	28	48
Март	31	25
Апрель	30	11
Май	31	2
Июнь	30	0.7
Июль	31	0.2
Август	31	0.2
Сентябрь	30	1.1
Октябрь	31	4
Ноябрь	30	7
Декабрь	31	29
Всего	365	174.2

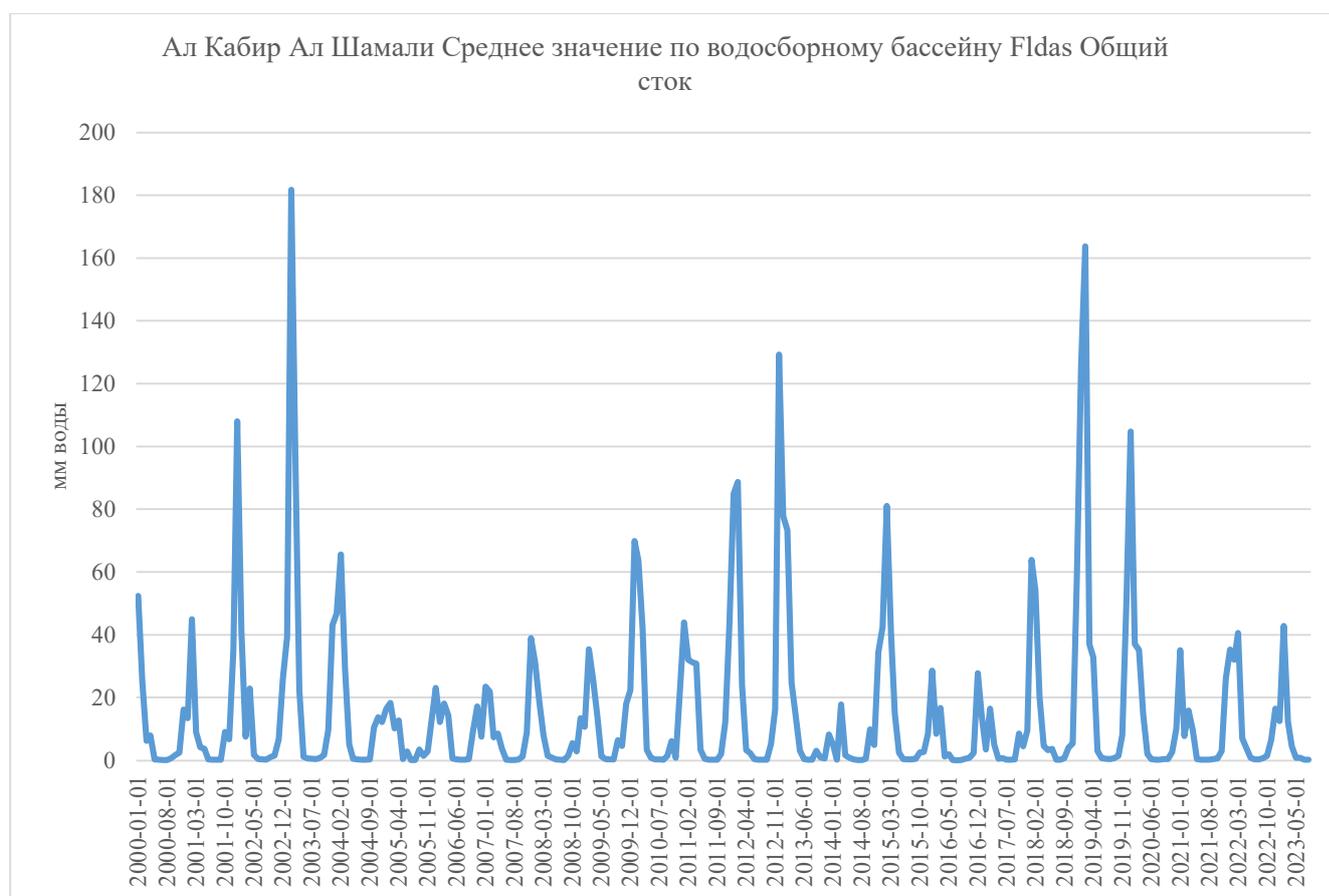


Рисунок А.2 – Диаграмм временной ряд объема общей сток с 01/2000 по 08/2023 года (построен автором в программе Microsoft Excel 2013 по данным FLDAS)

Таблица А.3 – Среднемесячного количества осадков для водосборного бассейна с 1981 по 2023 г.

Месяц	Количество дней в месяце	Осадки (мм/мес.)	CHIRPS	Daily
Январь	31		180.0	
Февраль	28		132.4	
Март	31		112.4	
Апрель	30		66.0	
Май	31		29.0	
Июнь	30		11.2	
Июль	31		2.3	
Август	31		0.3	
Сентябрь	30		20.2	
Октябрь	31		67.2	
Ноябрь	30		93.0	
Декабрь	31		169.8	
Сумма	365		883.8	

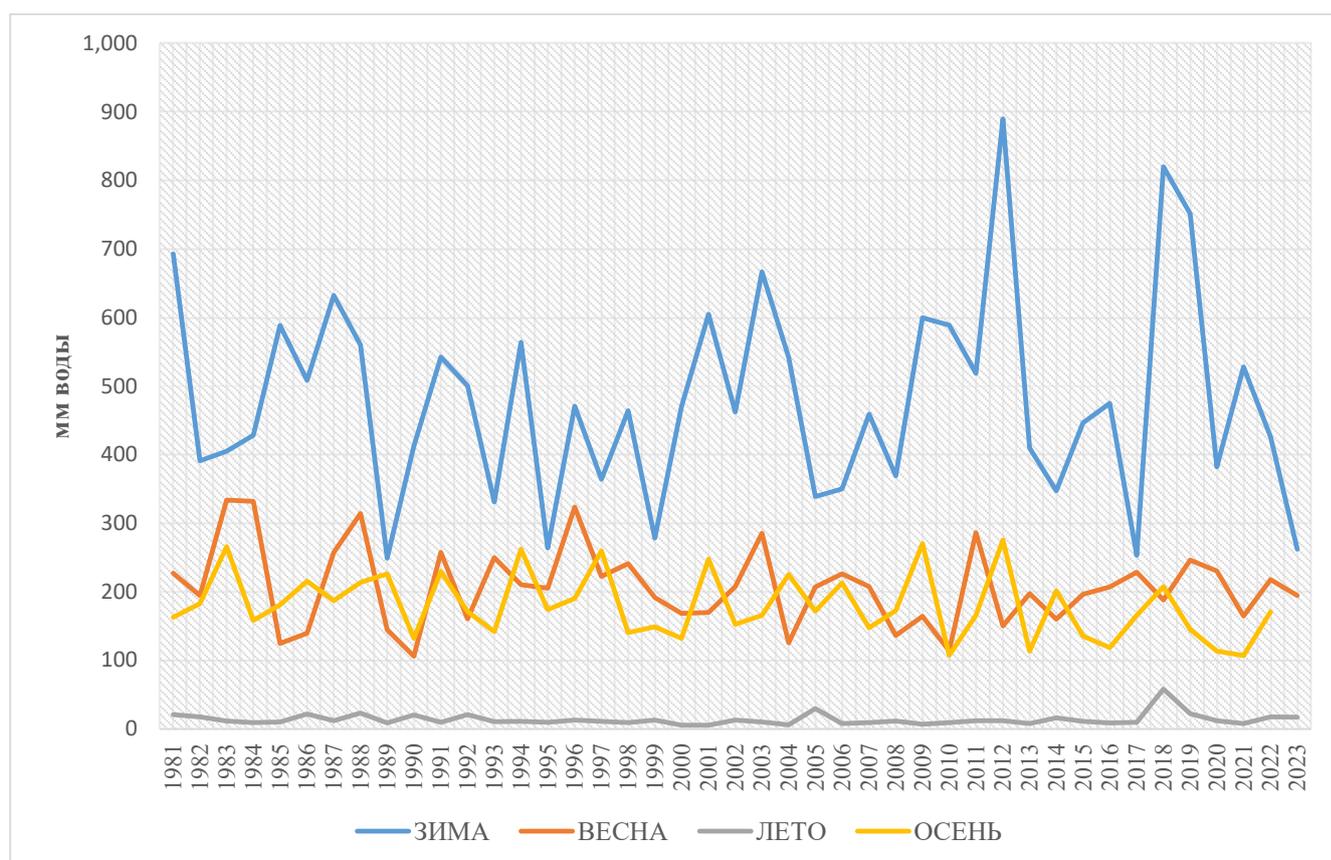


Рисунок А.3 – Диаграмма сезонного количества осадков водосборного бассейна с 1981 по 2023 г. (построен автором в программе Microsoft Excel 2013 по данным CHIRPS Daily)

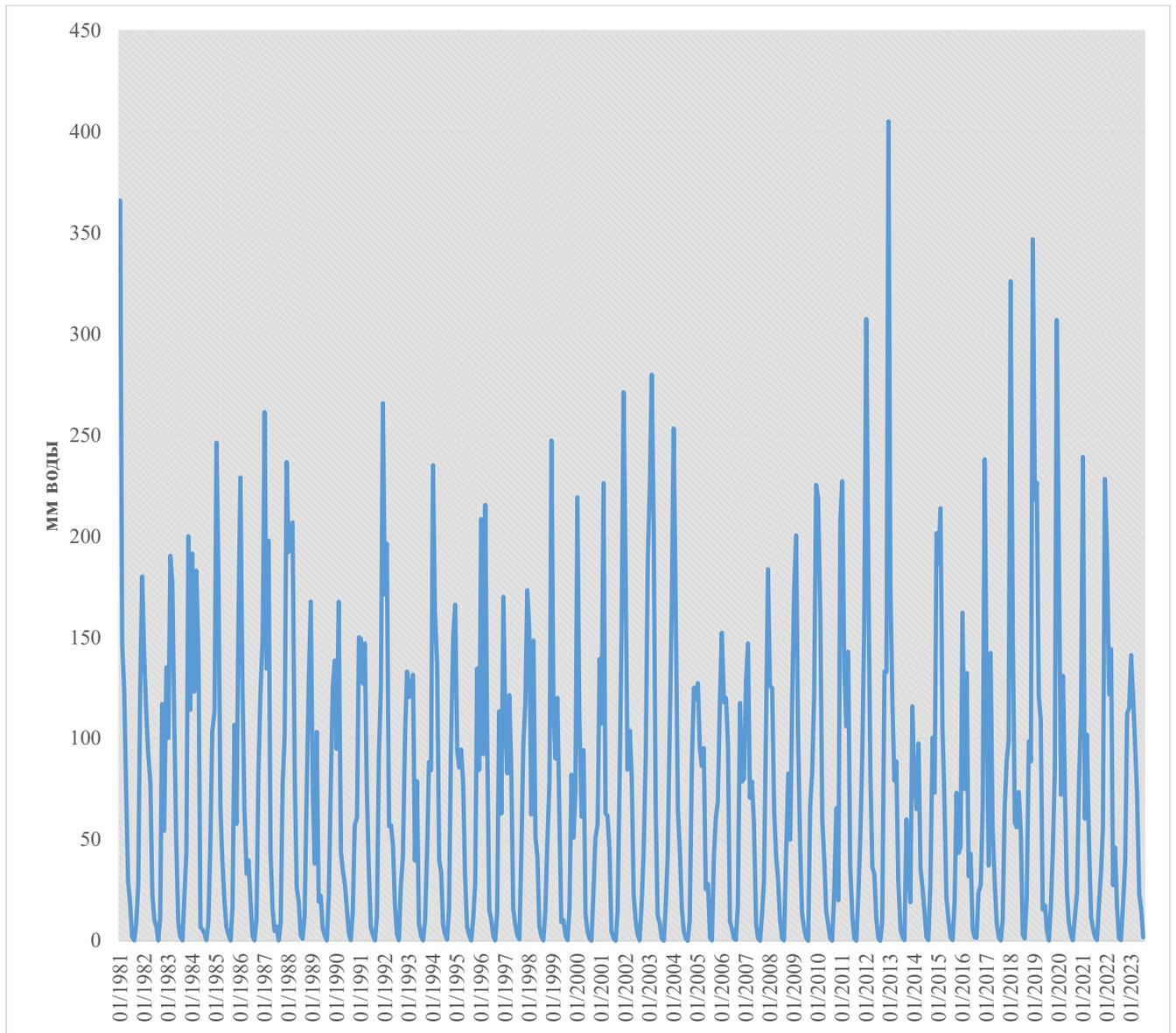


Рисунок А.4 – Диаграмм временной ряд количества осадков водосборного бассейна с 1981 по 2023 г. (построен автором в программе Microsoft Excel 2013 по данным CHIRPS Daily)

Таблица А.4 – Среднемесячного температура водосборного бассейна с 1979 по 2023 г.

Месяц	Количество дней в месяце	Температура ERA5 AG Daily (Цельсия /мес.)
Январь	31	7.2
Февраль	28	8.4
Март	31	11.1
Апрель	30	14.7
Май	31	18.4
Июнь	30	21.6
Июль	31	24.1
Август	31	24.6
Сентябрь	30	22.8
Октябрь	31	19.1
Ноябрь	30	12.9
Декабрь	31	8.5
Сумма	365	16.1

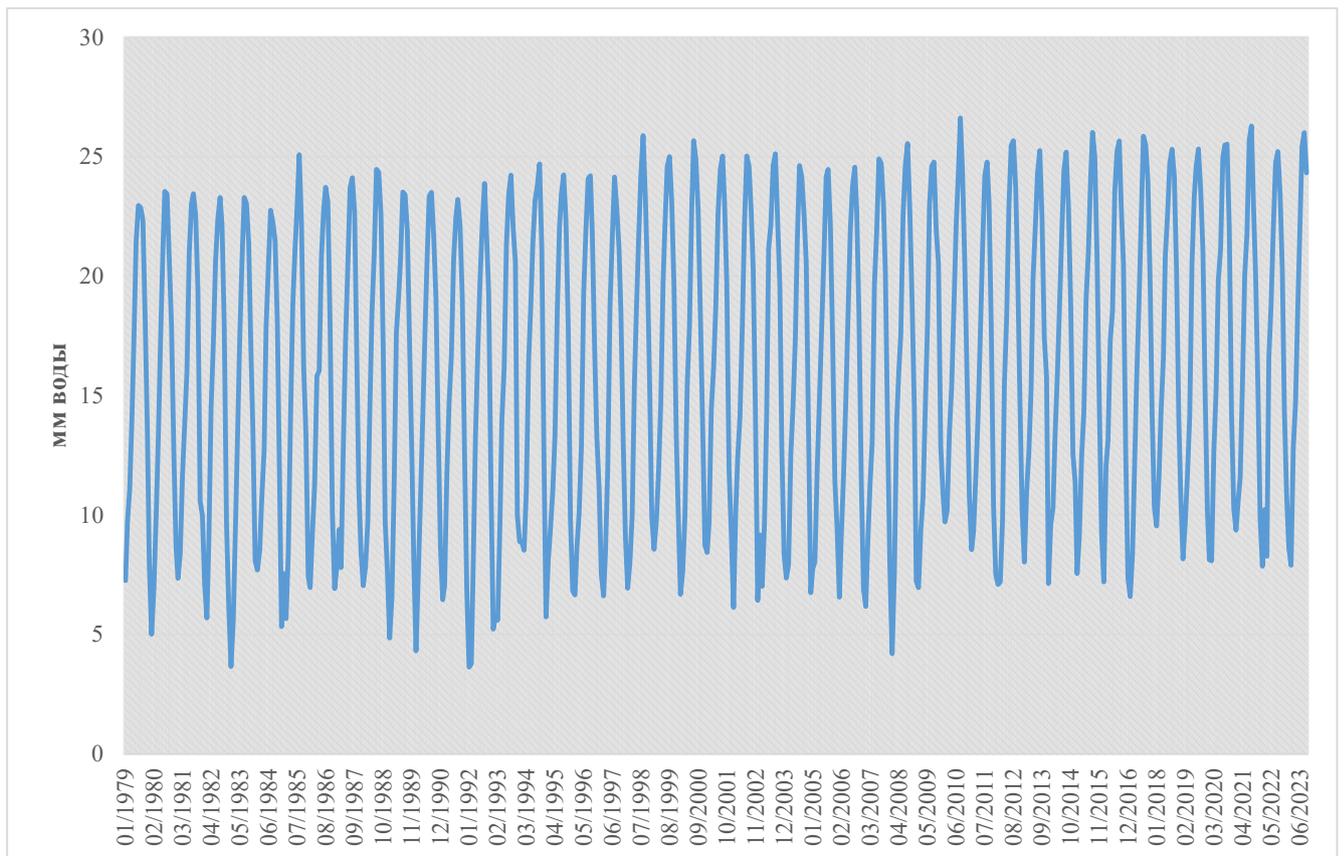


Рисунок А.5 – Диаграмм временной ряд температура водосборного бассейна с 1979 по 2023 г. (построен автором в программе Microsoft Excel 2013 по данным ERA5 AG Daily)

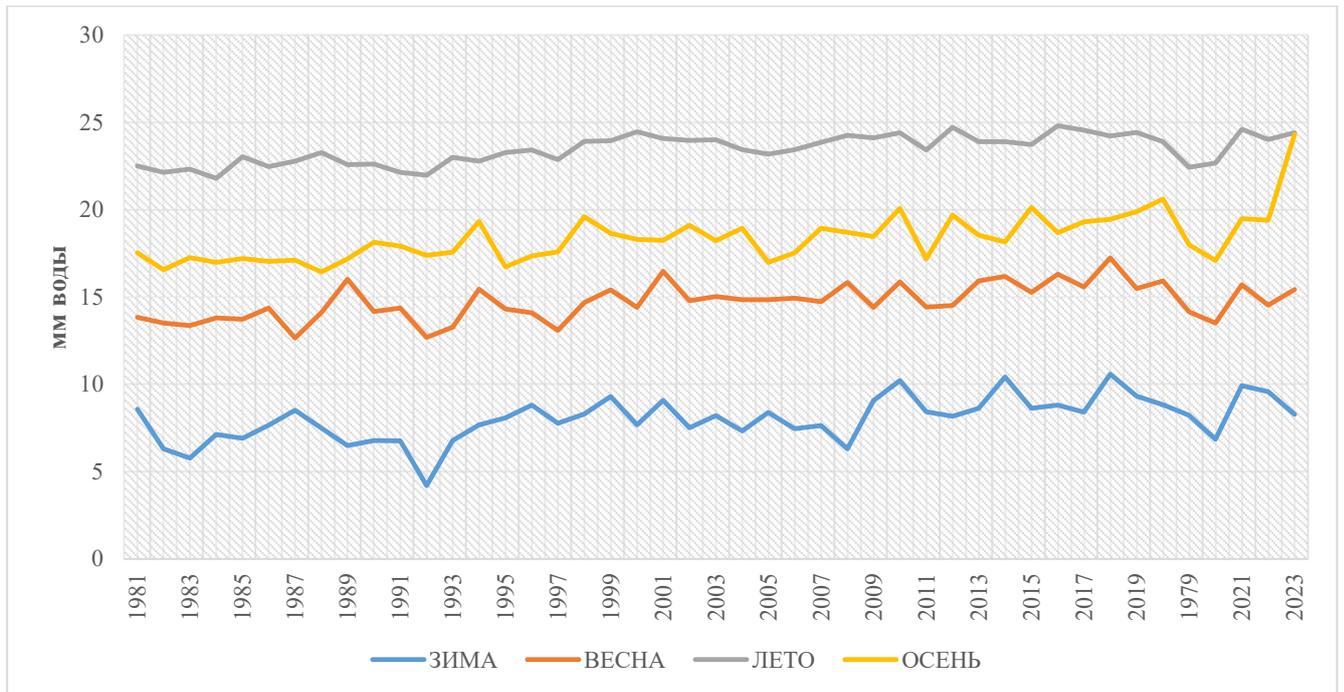


Рисунок А.6 – Диаграмма сезонного температура водосборного бассейна с 1979 по 2023 г. (построен автором в программе Microsoft Excel 2013 по данным ERA5 AG Daily)

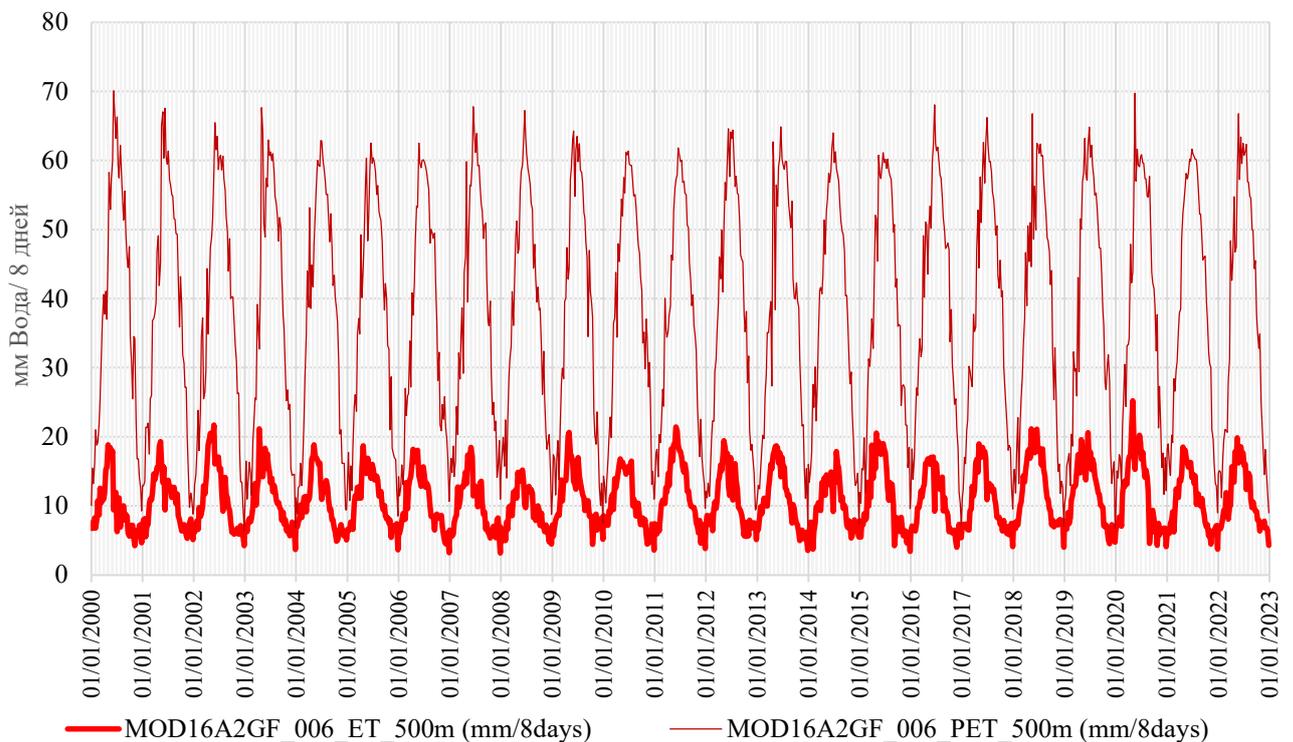


Рисунок А.7 – Фактическая и потенциальная эвапотранспирация с 2000 по 2023 г. (построен автором в программе Microsoft Excel 2013 по данным (MOD16A2GF_500m))

Таблица А.5 – Среднесуточное и месячное испарение в бассейне реки АКАШ С 2000 до 2022 г.

Месяц	Дни в месяце	Фактическая Эвапотранспирация (мм/День)	Потенциальная эвапотранспирация (мм/ День)	Фактическая эвапотранспирация (мм/Мес.)	Потенциальная эвапотранспирация (мм/Мес.)
Январь	31	0.9	1.8	28	56
Февраль	28	1.1	2.5	31	69
Март	31	1.6	4.1	50	127
Апрель	30	2.1	5.7	64	170
Май	31	2.3	6.6	72	205
Июнь	30	2.4	7.1	73	214
Июль	31	2.2	7.7	68	238
Август	31	1.8	6.9	56	213
Сентябрь	30	1.3	5.8	38	173
Октябрь	31	0.9	4.2	29	129
Ноябрь	30	0.9	2.4	28	72
Декабрь	31	0.9	1.6	29	49
Среднее		1.5	4.7	47	143

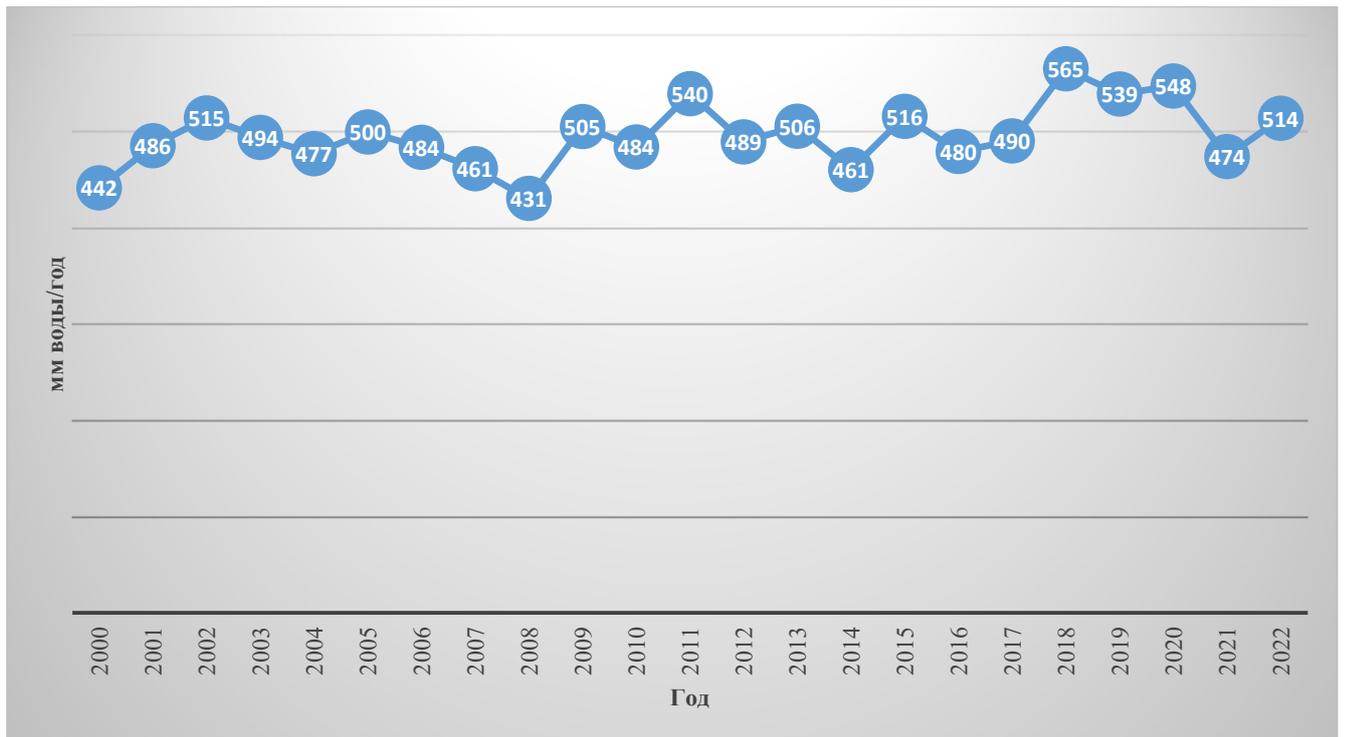


Рисунок А.8 – Общая годовая фактическая и потенциальная эвапотранспирация с 2000 по 2023 г. (построен автором в программе Microsoft Excel 2013 по данным (MOD16A2GF_500m))

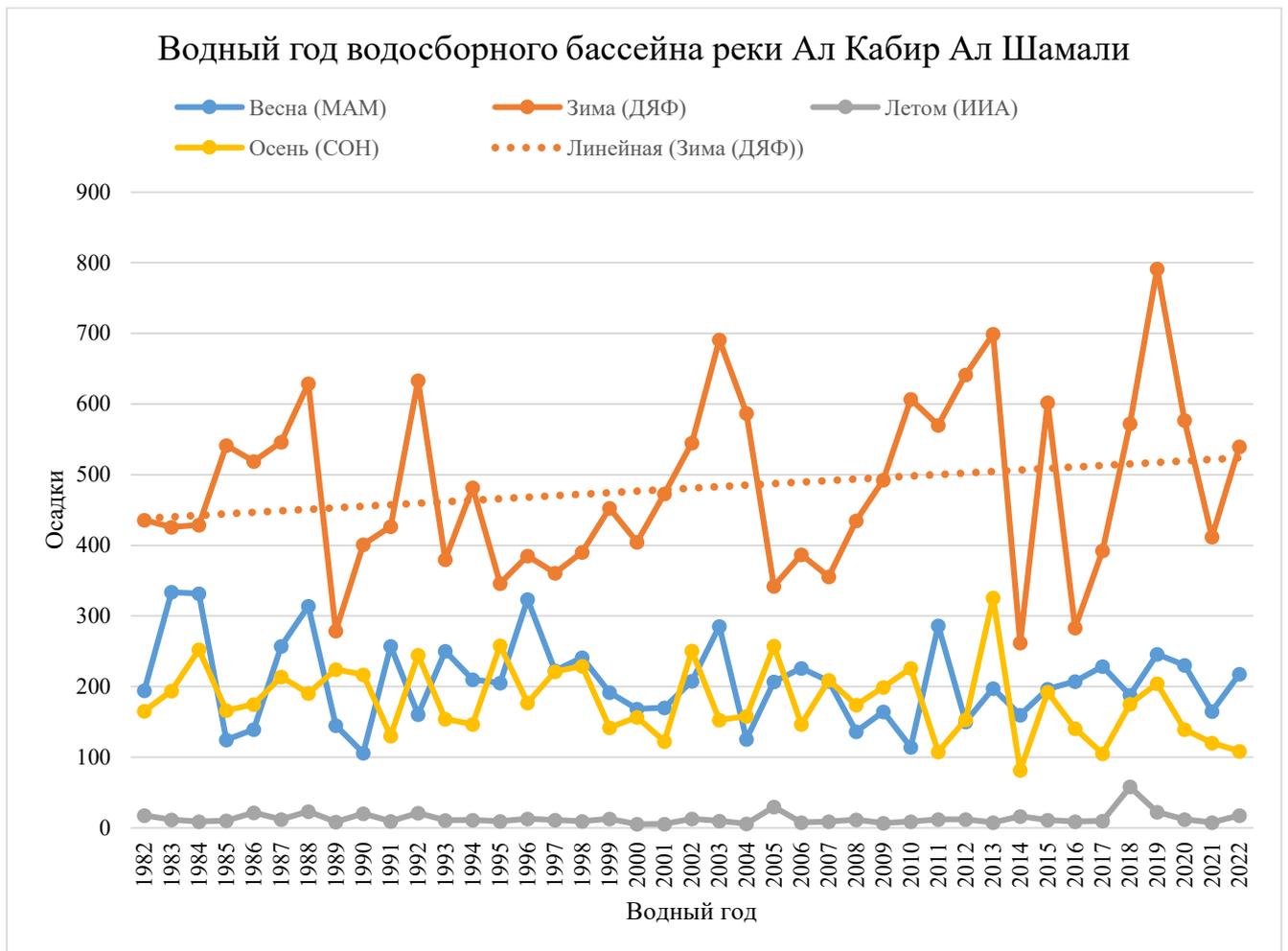


Рисунок А.9 – Водный год водосборного бассейна реки АКАШ с 1981 по 2023 г. (построен автором в программе Microsoft Excel 2013 по данным CHIRPS Daily)



Рисунок А.10 – Рисунокграфия озера плотины 16 Тишрин с правого берега



Рисунок А.11 – Рисунокграфия озера плотины 16 Тишрин



Рисунок Б.1 – Изображение верхней части бассейна, где разбросаны горы и деревья.



Рисунок Б.2 – Задней части плотины 16 Тишрин, в средней части бассейна.



Рисунок Б.3 – Изображение нижней части бассейна, показывающее равнинную местность.

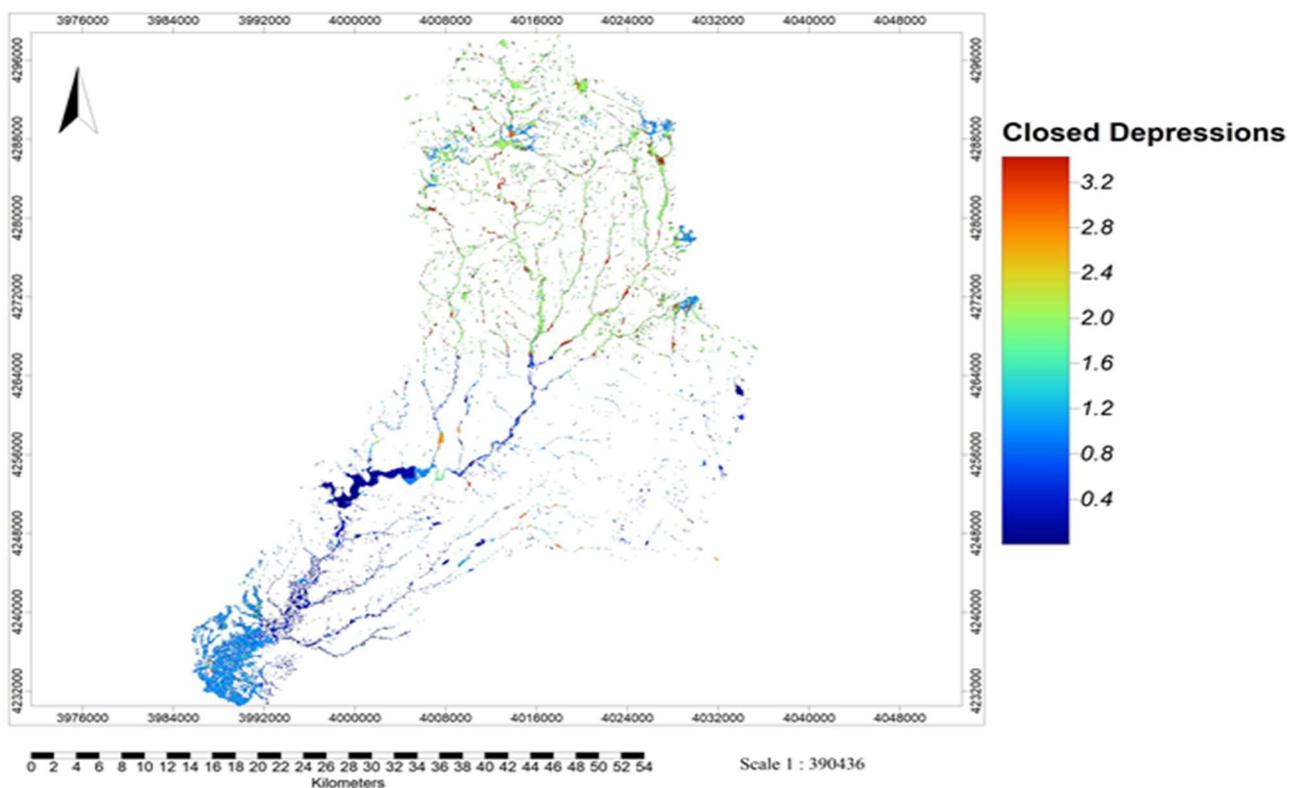


Рисунок Б.4 – Карта Закрытые депрессии (Closed Depressions) (построен автором по программе SAGA-GIS по данным ЦМР ASTER V3)

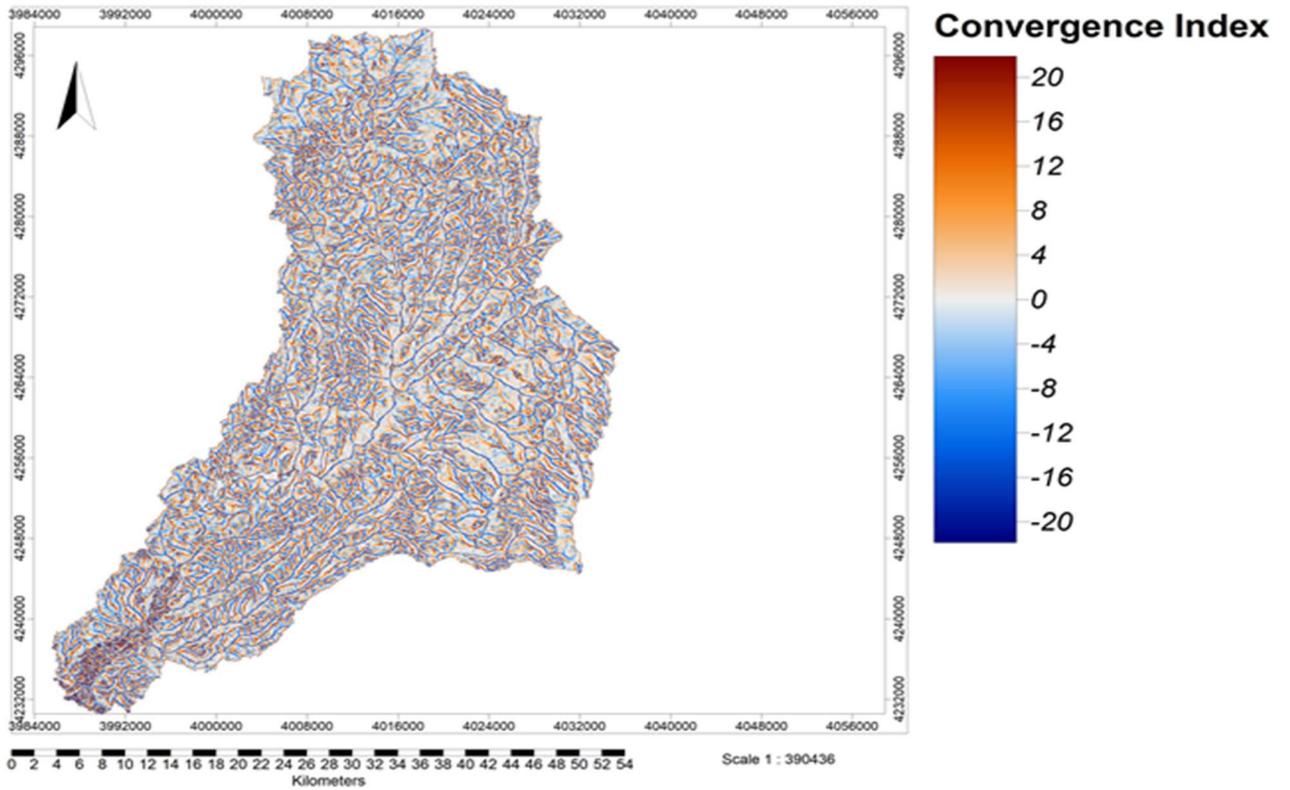


Рисунок Б.5 – Карта Индекс конвергенции (CI) (**Convergence Index**) (построен автором по программе SAGA-GIS по данным ЦМР ASTER V3)

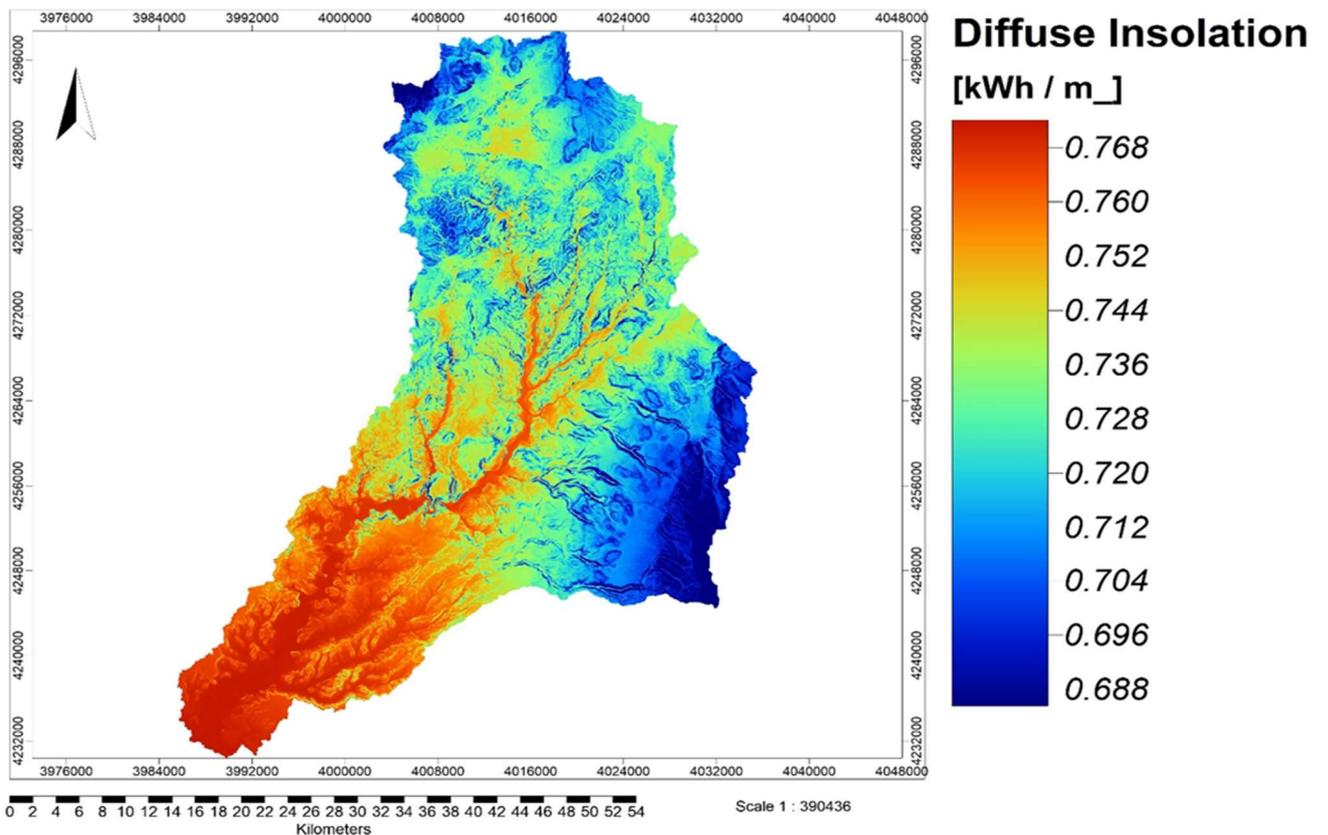


Рисунок Б.6 – Карта Диффузное инсоляция (**Diffuse Insolation**) (построен автором по программе SAGA-GIS по данным ЦМР ASTER V3)

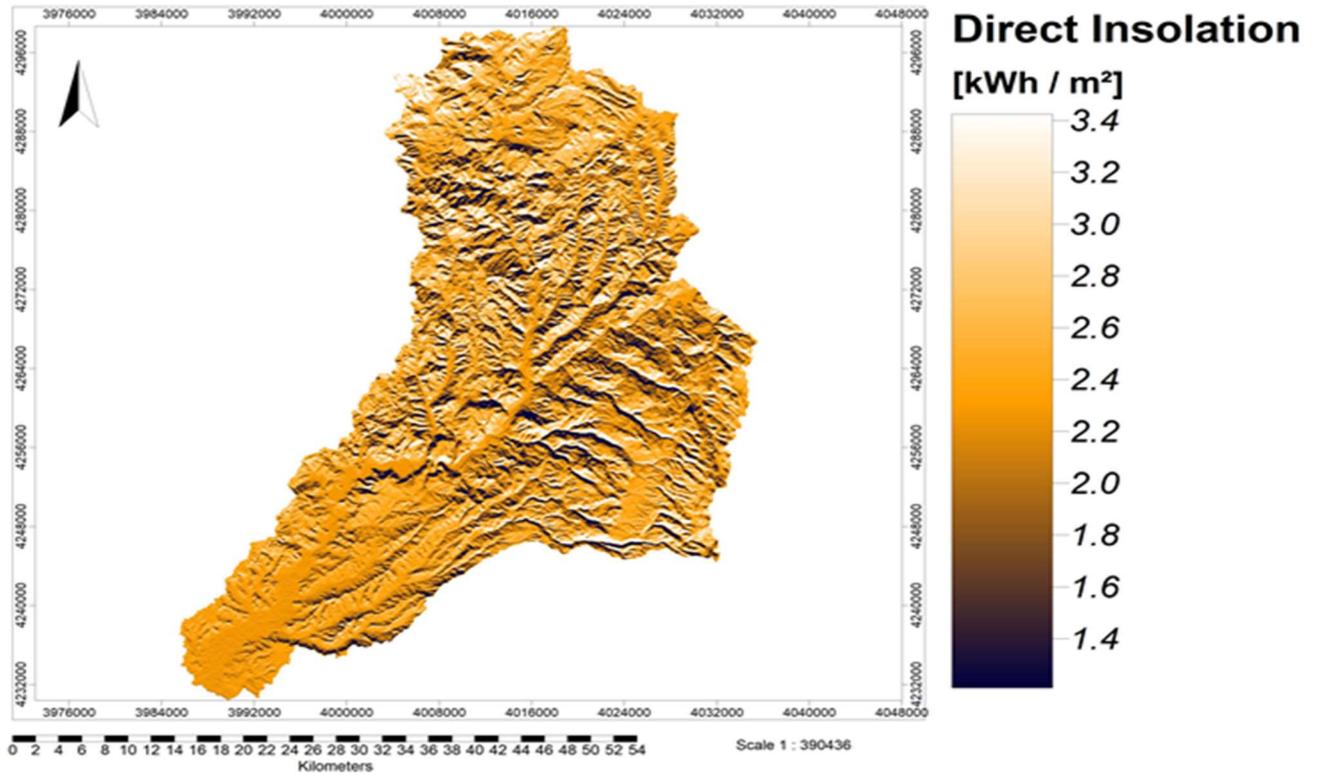


Рисунок Б.7 – Карта Прямая инсоляция (**Direct Insolation**) (построен автором по программе SAGA-GIS по данным ЦМР ASTER V3)

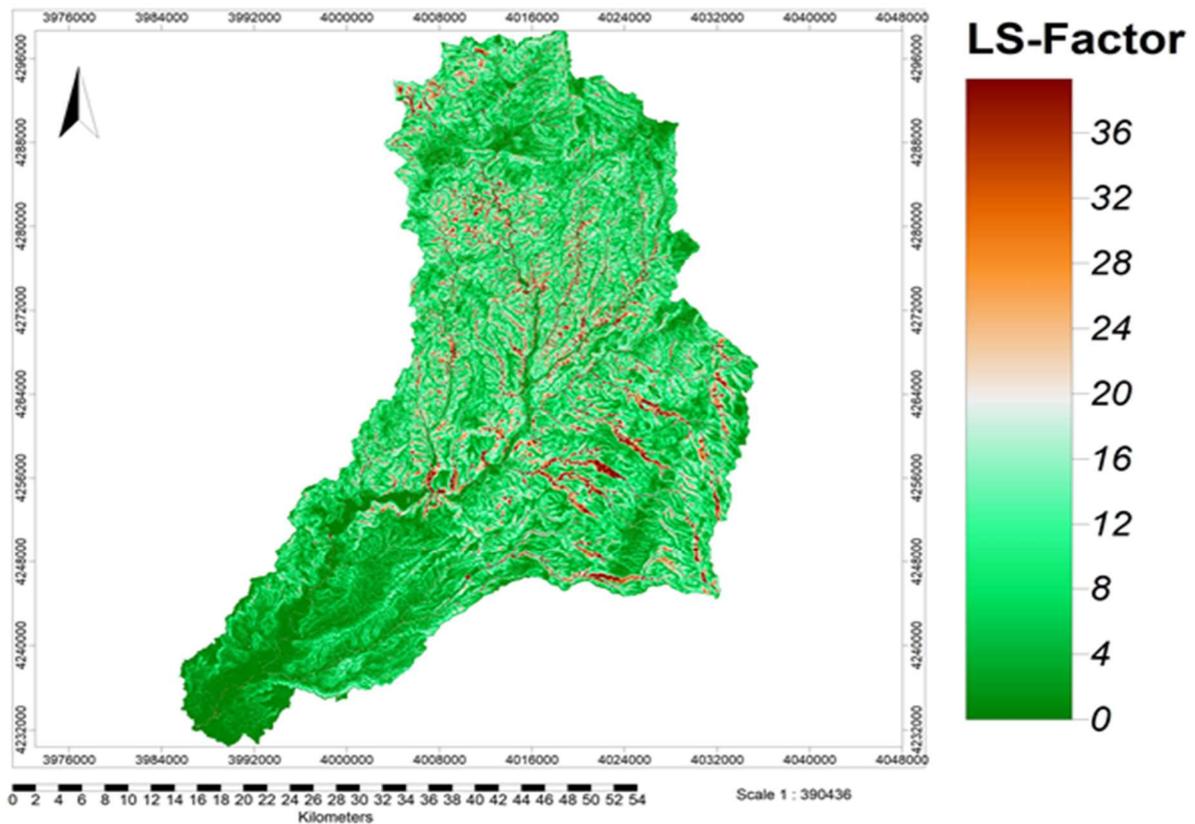


Рисунок Б.8 – Карта Фактор LS (**LS-Factor**) (построен автором по программе SAGA-GIS по данным ЦМР ASTER V3)

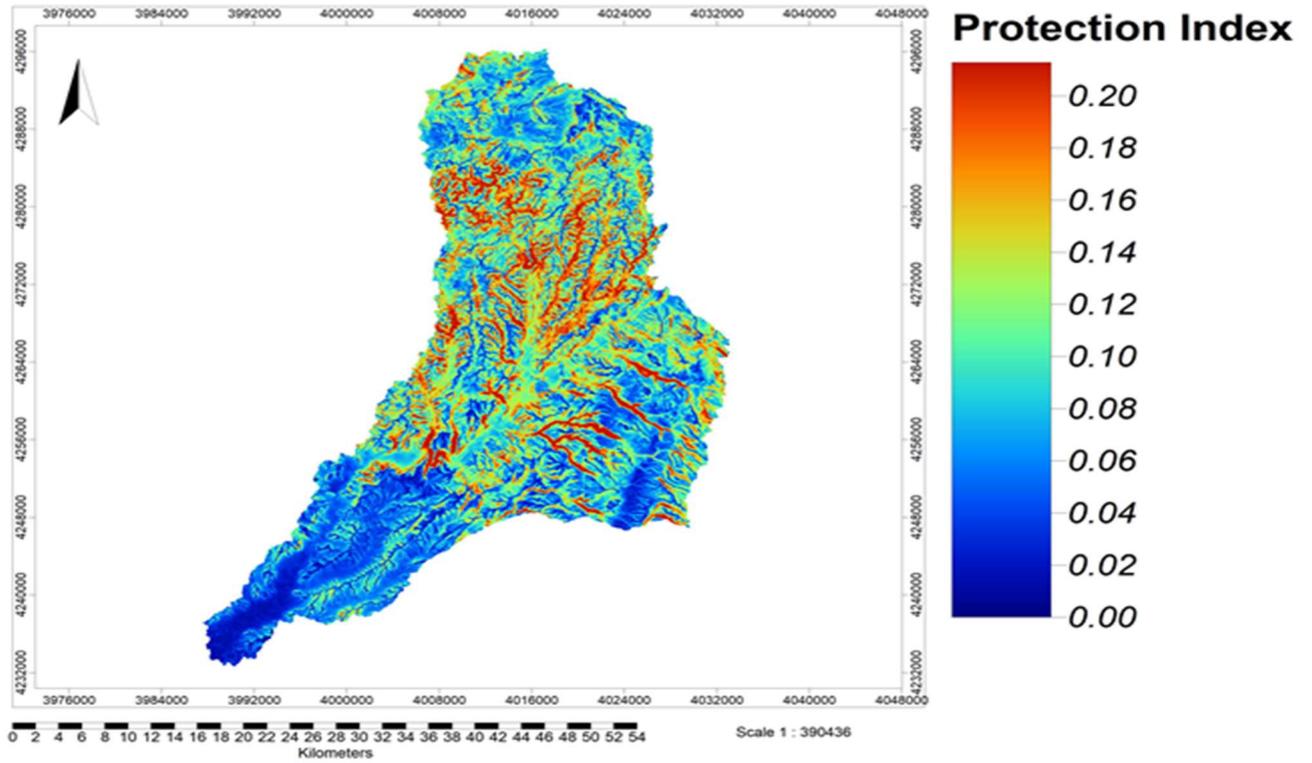


Рисунок Б.9 – Карта Индекс охраны (**Protection index**) (построен автором по программе SAGA-GIS по данным ЦМР ASTER V3)

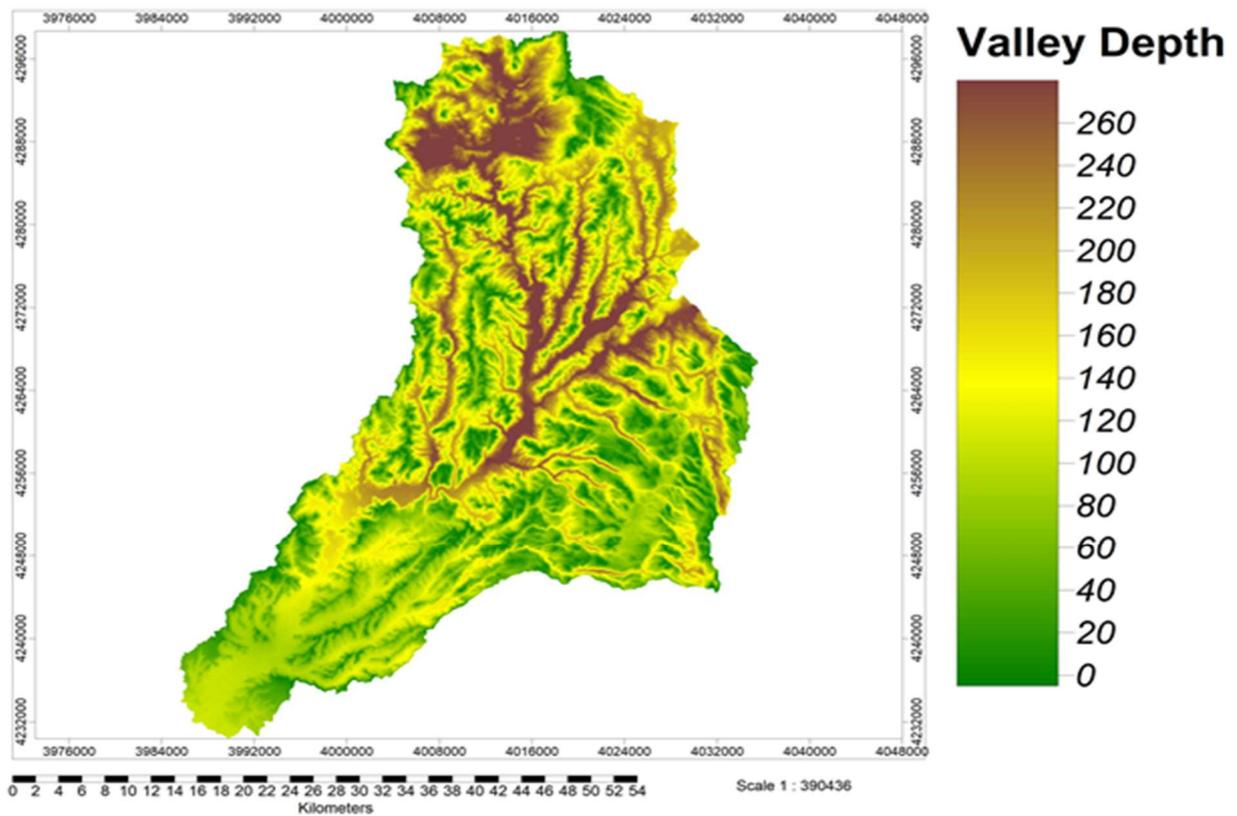


Рисунок Б.10 – Карта Глубина долины (**Valley Depth**) (построен автором по программе SAGA-GIS по данным ЦМР ASTER V3)

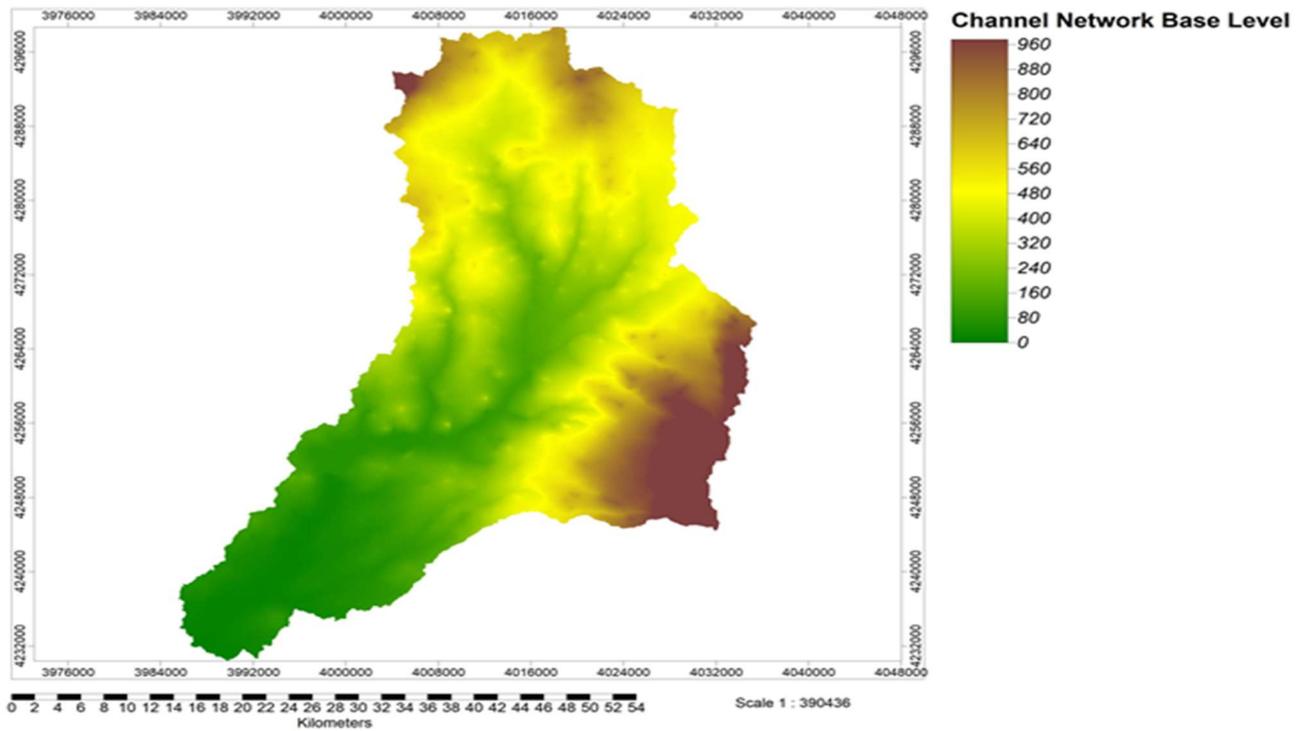


Рисунок Б.11 – Карта Базовый уровень сети каналов (**Channel Network Base Level**) (построен автором по программе SAGA-GIS по данным ЦМР ASTER V3)

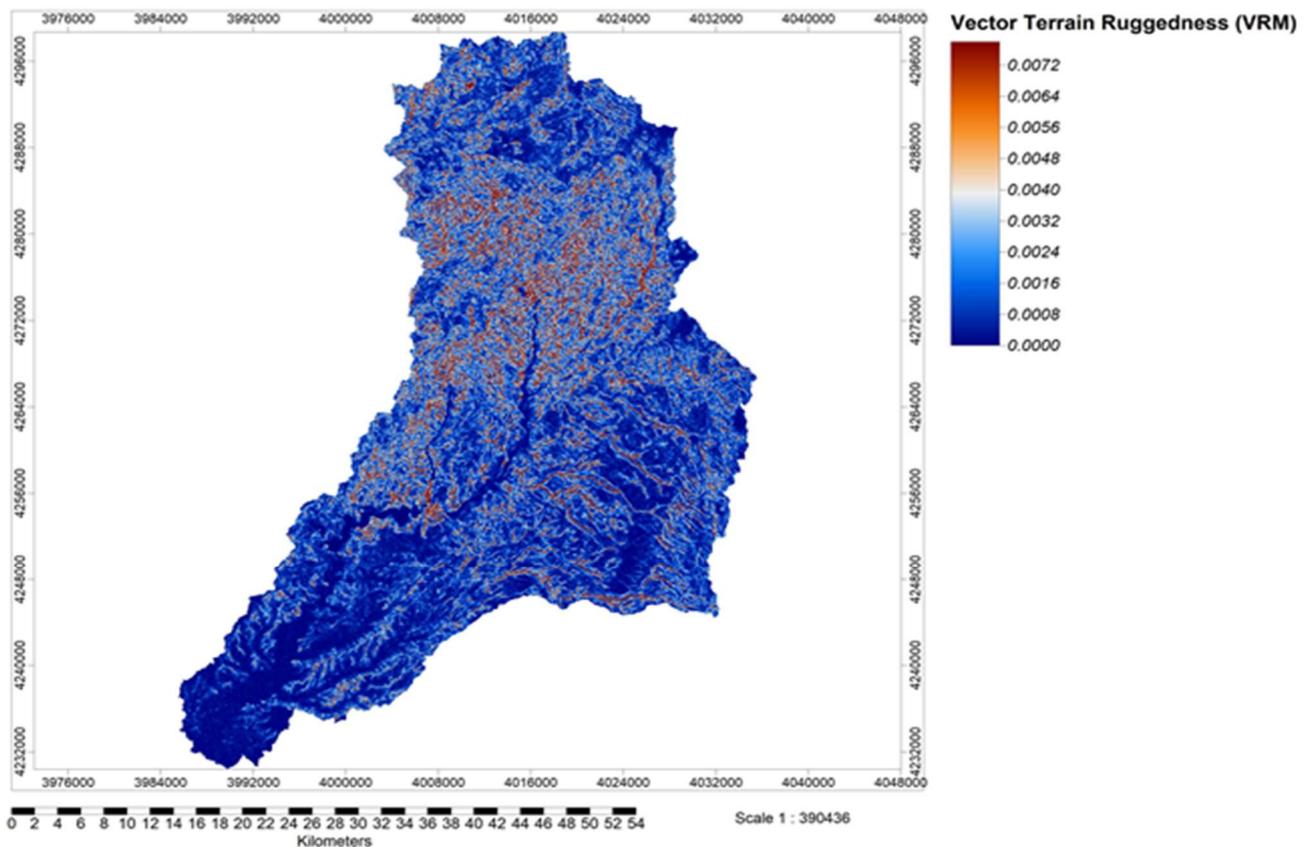


Рисунок Б.12 – Карта Векторная пересеченность местности (**Vector Terrain Ruggedness (VRM)**) (построен автором по программе SAGA-GIS по данным ЦМР ASTER V3)

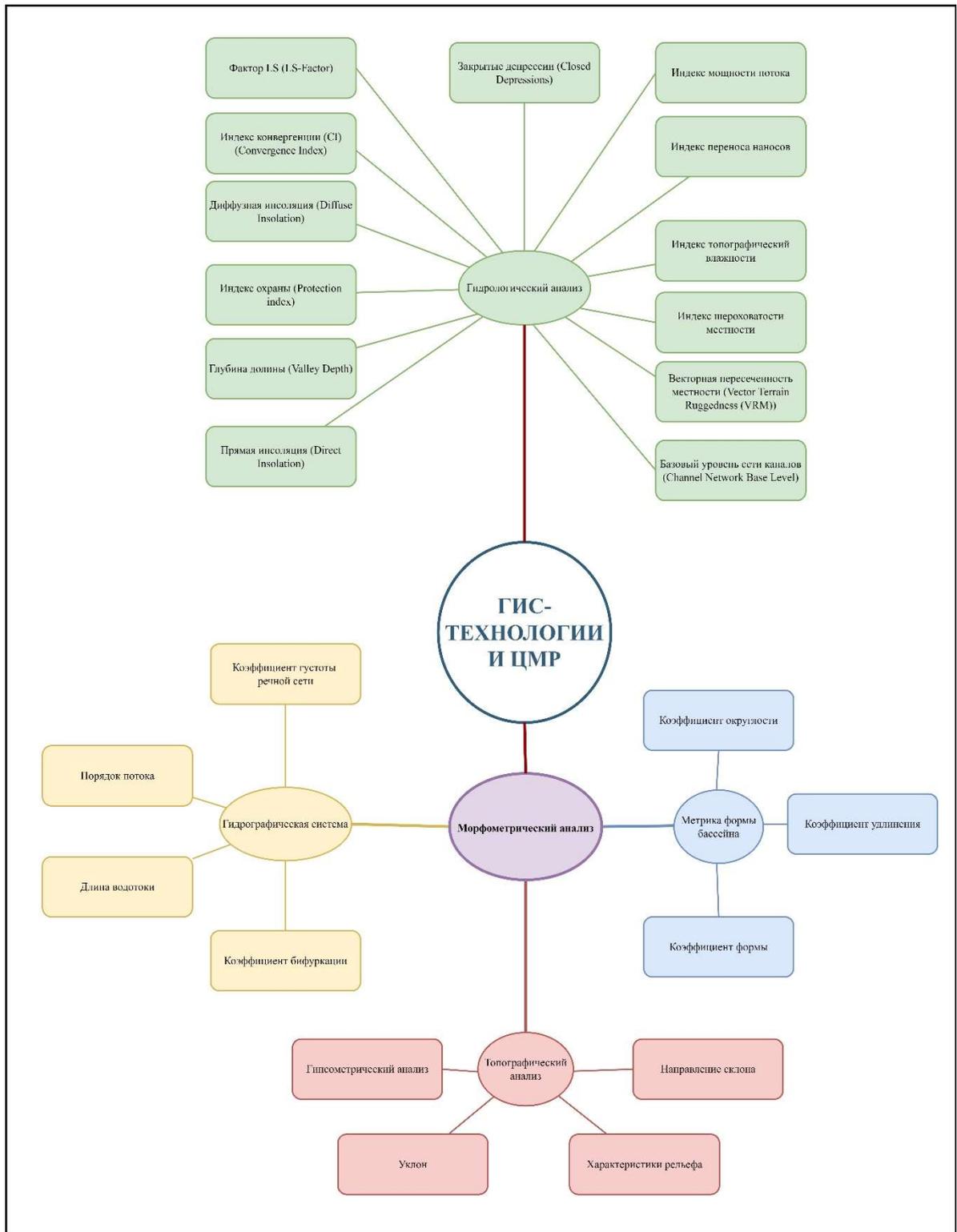


Рисунок Б.13 – Схема выполнения гидроморфометрических анализ бассейн реки АКАШ с использованием ГИС-технологии и ЦМР (построен автором по программе draw.io)

ПРИЛОЖЕНИЕ В

Таблица В.1 – Математические операции для извлечения гидрологической характеристики притока в водохранилище 16 Тишрин

Обеспеченность %	Обеспеченность доля	Cs/Cv=1.5	Cs/Cv=2	Норм (Объём стока, 10 ⁶ М ³)	НОРМОБР
0.01	0.0001	3.51	3.98	741.1	-3.72
0.1	0.001	3	3.27	608.9	-3.09
0.3	0.003	2.74	2.91	541.9	-2.75
0.5	0.005	2.6	2.74	510.2	-2.58
1	0.01	2.41	2.51	467.4	-2.33
3	0.03	2.09	2.13	396.62	-1.88
5	0.05	1.92	1.94	361.23	-1.64
10	0.1	1.69	1.67	311	-1.28
20	0.2	1.4	1.38	257	-0.84
30	0.3	1.21	1.19	221.6	-0.52
40	0.4	1.06	1.04	193.7	-0.25
50	0.5	0.93	0.92	171.3	0.00
60	0.6	0.81	0.8	149	0.25
70	0.7	0.69	0.69	128.5	0.52
80	0.8	0.56	0.57	106.1	0.84
90	0.9	0.41	0.44	82	1.28
95	0.95	0.31	0.34	63.7	1.64
97	0.97	0.25	0.29	54	1.88
99	0.99	0.16	0.21	39.1	2.33
99.5	0.995	0.13	0.17	31.6	2.58
99.7	0.997	0.11	0.15	27.93	2.75
99.9	0.999	0.07	0.11	20.5	3.09

Таблица В.2 – Ординаты интегральных кривых распределения С.Н. Крицкого и М.Ф. Менкеля при Cs/Cv = 2,0 [65]

P, %	При коэффициенте изменчивости Cv											
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	1,1	1,2
0,001	1,49	2,09	2,82	3,68	4,67	5,78	7,03	8,40	9,89	11,51	13,23	15,10
0,01	1,42	1,92	2,51	3,20	3,98	4,85	5,81	6,85	7,89	9,21	10,48	11,80
0,03	1,38	1,83	2,36	2,96	3,64	4,39	5,22	6,11	7,08	8,11	9,17	10,26
0,05	1,36	1,79	2,29	2,85	3,48	4,18	4,95	5,77	6,66	7,60	8,61	9,65
0,1	1,34	1,73	2,19	2,70	3,27	3,89	4,57	5,30	6,08	6,91	7,76	8,65

0,3	1,30	1,64	2,02	2,45	2,91	3,42	3,96	4,55	5,16	5,81	6,47	7,10
0,5	1,28	1,59	1,94	2,33	2,74	3,20	3,68	4,19	4,73	5,30	5,88	6,50
1	1,25	1,52	1,83	2,16	2,51	2,89	3,29	3,71	4,15	4,61	5,06	5,50
3	1,20	1,41	1,64	1,88	2,13	2,39	2,66	2,94	3,22	3,51	3,79	4,05
5	1,17	1,35	1,54	1,74	1,94	2,15	2,36	2,57	2,78	3,00	3,21	3,45
10	1,13	1,26	1,40	1,53	1,67	1,81	1,94	2,06	2,19	2,30	2,41	2,50
20	1,08	1,16	1,24	1,31	1,38	1,44	1,49	1,54	1,58	1,61	1,62	1,62
25	1,07	1,13	1,18	1,23	1,28	1,31	1,34	1,37	1,38	1,39	1,37	1,34
30	1,05	1,09	1,13	1,17	1,19	1,21	1,22	1,22	1,22	1,20	1,18	1,13
40	1,02	1,04	1,05	1,05	1,04	1,03	1,01	0,99	0,96	0,92	0,87	0,81
50	1,00	0,99	0,97	0,95	0,92	0,88	0,84	0,80	0,75	0,69	0,64	0,58
60	0,97	0,94	0,90	0,85	0,80	0,75	0,69	0,63	0,57	0,51	0,45	0,40
70	0,95	0,89	0,82	0,76	0,69	0,62	0,55	0,49	0,42	0,36	0,31	0,26
75	0,93	0,86	0,78	0,71	0,63	0,56	0,49	0,42	0,35	0,29	0,24	0,19
80	0,92	0,83	0,75	0,66	0,57	0,49	0,42	0,35	0,28	0,22	0,17	0,13
90	0,87	0,75	0,64	0,53	0,44	0,35	0,27	0,21	0,15	0,11	0,07	0,05
95	0,84	0,70	0,56	0,45	0,34	0,25	0,18	0,13	0,08	0,05	0,03	0,02
97	0,82	0,66	0,52	0,39	0,29	0,20	0,14	0,09	0,05	0,03	0,02	0,01
99	0,78	0,59	0,44	0,31	0,21	0,13	0,08	0,04	0,02	0,01	0,00	0,00
99,5	0,76	0,56	0,40	0,27	0,17	0,10	0,05	0,03	0,01	0,01	0,00	0,00
99,7	0,75	0,54	0,37	0,24	0,15	0,08	0,04	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00
99,9	0,72	0,49	0,32	0,19	0,11	0,05	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00

Таблица В.3 – Расчет процента ошибки в двух уравнениях (4.3 и 4.4), полученных в результате рассчитать объем-площадь по данным цифровой модели рельефа SRTM для мониторинга водных ресурсов плотины 16 Тишрин на реке Ал Кабир Ал Шамали.

Отметка уровня (м)	Объем воды (Млн куб. м)	Площадь (Km ²)	Площадь-объем (Расчет по уровню 4.3)	Уровень-объем (Расчет по уровню 4.4)	Процент отклонение уровня	Процент отклонение площади
35.0	0.1	0.0029	0.1	0.1	0.00%	-0.0013901%
36.0	0.4	0.0225	0.4	0.4	-0.14%	-0.0001763%
37.0	1.0	0.0553	1.0	0.9	-6.07%	-0.0000706%
38.0	1.8	0.0996	1.8	1.7	-5.26%	-0.0000383%
39.0	2.7	0.1533	2.7	2.6	-3.42%	-0.0000243%
40.0	3.8	0.2146	3.8	3.7	-1.46%	-0.0000168%
41.0	5.0	0.2838	5.0	5.0	0.02%	-0.0000123%
42.0	6.4	0.3614	6.4	6.4	0.87%	-0.0000093%
43.0	7.9	0.4483	7.9	8.0	1.15%	-0.0000072%
44.0	9.6	0.5451	9.6	9.7	1.03%	-0.0000056%
45.0	11.4	0.6503	11.4	11.5	0.94%	-0.0000044%
46.0	13.5	0.7648	13.5	13.6	0.83%	-0.0000035%
47.0	15.7	0.8918	15.7	15.8	0.42%	-0.0000028%
48.0	18.1	1.0296	18.1	18.1	0.08%	-0.0000022%
49.0	20.7	1.1792	20.7	20.7	-0.23%	-0.0000018%
50.0	23.6	1.3401	23.6	23.5	-0.40%	-0.0000014%
51.0	26.6	1.5133	26.6	26.5	-0.49%	-0.0000011%
52.0	29.9	1.7006	29.9	29.7	-0.58%	-0.0000008%
53.0	33.4	1.9016	33.4	33.3	-0.58%	-0.0000006%
54.0	37.2	2.1158	37.2	37.0	-0.48%	-0.0000004%
55.0	41.2	2.3427	41.2	41.1	-0.24%	-0.0000003%
56.0	45.5	2.5842	45.5	45.5	0.05%	-0.0000002%
57.0	50.0	2.8423	50.0	50.2	0.33%	-0.0000001%
58.0	54.8	3.1182	54.8	55.2	0.56%	0.0000000%
59.0	60.1	3.4184	60.1	60.5	0.58%	0.0000001%
60.0	65.9	3.7489	65.9	66.1	0.28%	0.0000001%
61.0	72.1	4.0980	72.1	72.1	0.05%	0.0000002%
62.0	78.5	4.4649	78.5	78.4	-0.11%	0.0000002%
63.0	85.3	4.8473	85.3	85.1	-0.16%	0.0000002%
64.0	92.3	5.2454	92.3	92.1	-0.13%	0.0000002%
65.0	99.6	5.6633	99.6	99.5	-0.10%	0.0000003%
66.0	107.3	6.1015	107.3	107.2	-0.09%	0.0000003%
67.0	115.4	6.5592	115.4	115.3	-0.08%	0.0000003%
68.0	123.8	7.0374	123.8	123.7	-0.07%	0.0000003%
69.0	132.5	7.5351	132.5	132.5	-0.06%	0.0000003%
70.0	141.6	8.0507	141.6	141.6	-0.02%	0.0000003%
71.0	151.0	8.5826	151.0	151.1	0.07%	0.0000003%

Продолжение таблицы В.3

72.0	160.6	9.1302	160.6	160.9	0.21%	0.0000003%
73.0	170.5	9.6928	170.5	171.2	0.41%	0.0000004%
74.0	180.7	10.271	180.7	181.8	0.66%	0.0000004%
74.1	184.1	10.465	184.1	182.4	-0.91%	0.0000004%
74.2	184.6	10.496	184.6	183.5	-0.62%	0.0000004%
74.3	185.2	10.528	185.2	184.6	-0.33%	0.0000004%
74.4	185.7	10.560	185.7	185.7	-0.03%	0.0000004%
74.5	186.3	10.592	186.3	186.8	0.26%	0.0000004%
74.6	186.9	10.624	186.9	187.9	0.54%	0.0000004%

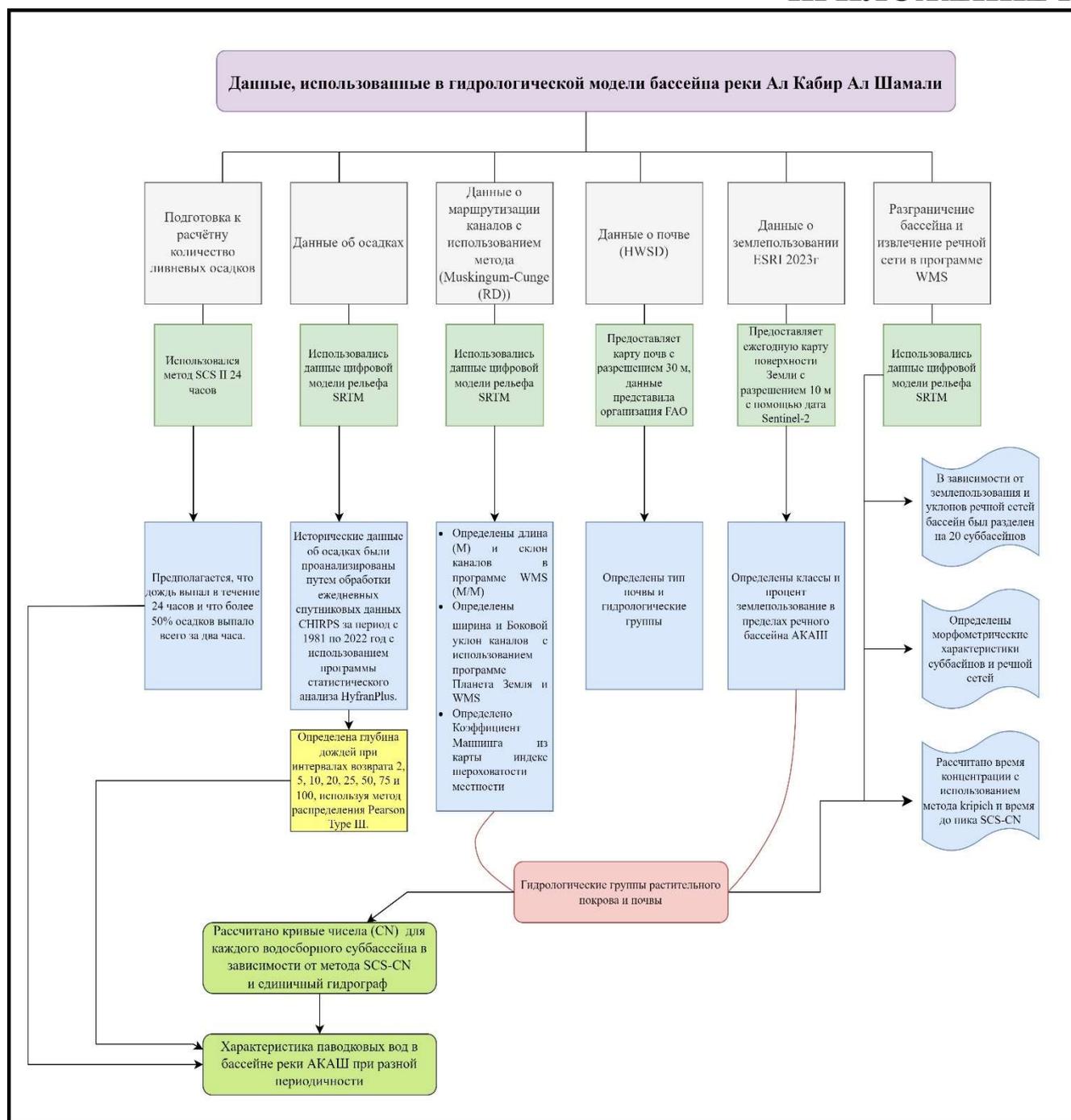


Рисунок Г.1 – Схема выполнения гидрологических моделированиях бассейна реки АКАШ с использованием ГИС-технолог, ЦМР и НЕС-HMS (построен автором по программе draw.io)

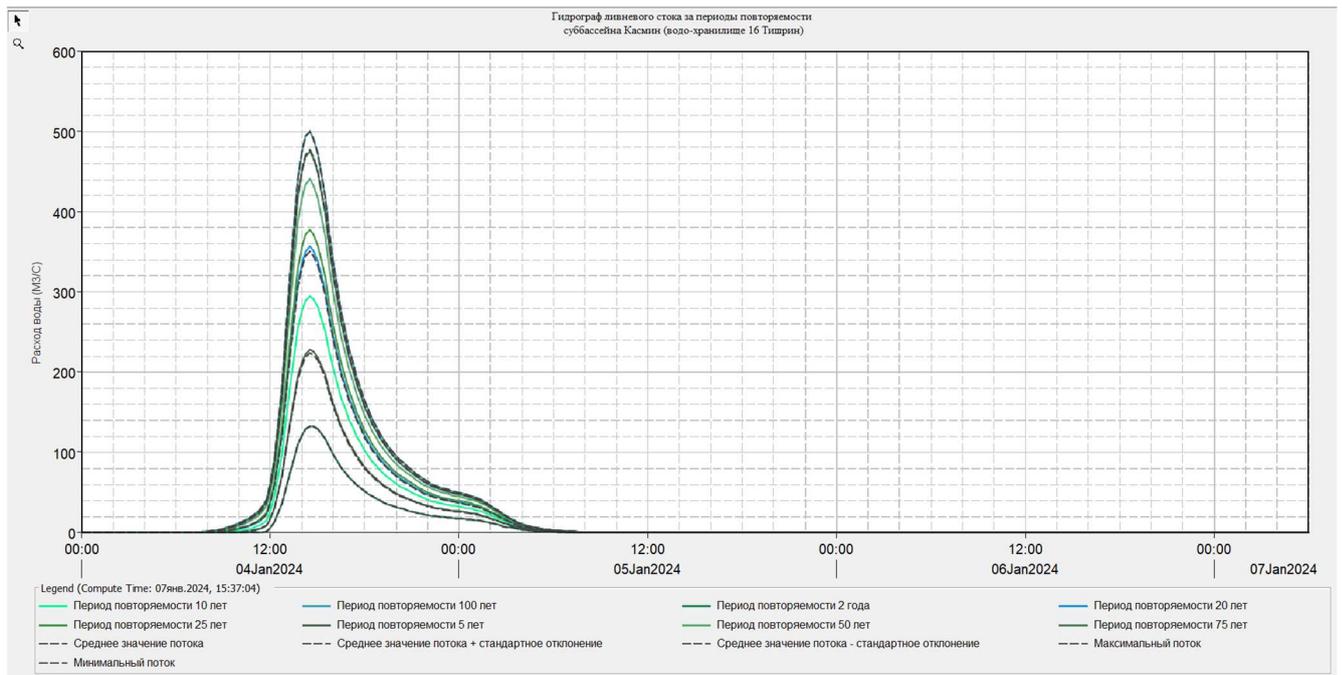


Рисунок Г.2 – Гидрограф ливневого стока за периоды повторяемости суббассейна Касмин (водохранилище 16 Тишрин), выполнена в программе HEC-HMS

Muskingum-Cunge [WMS Watershed] - □ X

Filter: --None-- Sorting: Alphabetic

Reach	Initial Type	Length (M)	Slope (M/M)	Manning's n	Space-Time Method	Index Method	Index Flow (M3/S)	Shape	Width (M)	Side Slope (xH:1V)
12R	Discharge = Inflow	5413,989	0,004740	0,2190	Auto DX Auto DT	Flow	20	Trapezoid	20,186	0,046
13R	Discharge = Inflow	9072,565	0,003630	0,2668	Auto DX Auto DT	Flow	20	Trapezoid	24,570	0,202
15R	Discharge = Inflow	12523,273	0,003900	0,2390	Auto DX Auto DT	Flow	20	Trapezoid	30,343	0,175
18R	Discharge = Inflow	9879,974	0,005760	0,3202	Auto DX Auto DT	Flow	20	Trapezoid	19,732	0,127
19R	Discharge = Inflow	7986,938	0,001040	0,2653	Auto DX Auto DT	Flow	20	Trapezoid	19,828	0,057
20R	Discharge = Inflow	3240,580	0,002680	0,2805	Auto DX Auto DT	Flow	20	Trapezoid	17,328	0,047
7R	Discharge = Inflow	3144,238	0,004330	0,2652	Auto DX Auto DT	Flow	20	Trapezoid	34,460	0,111
9R	Discharge = Inflow	1187,694	0,009560	0,1598	Auto DX Auto DT	Flow	20	Trapezoid	19,990	0,037

Рисунок Г.3 – Характер участки реки АКАШ и ее притоки по методом Muskingum- Cunge (RD), выполнена в программе HEC-HMS

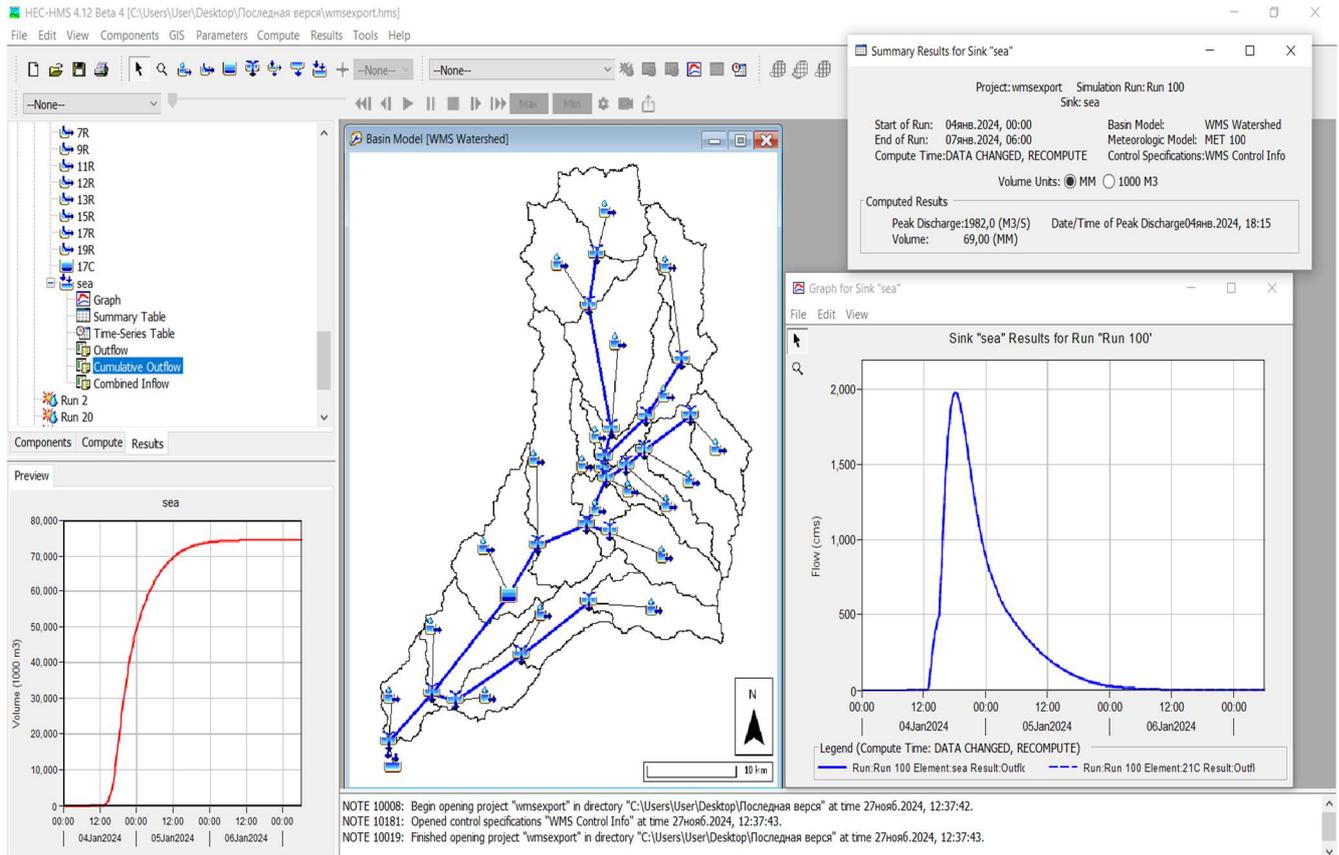


Рисунок Г.4 – Бассейновая модель реки Ал Кабир Ал Шамали для проекта моделирования в программном обеспечении HEC-HMS


ЭКОГИДРОПРОЕКТ®

125476, г. Москва, ул. Василия Петушкова, д. 20,
корп. 1, этаж 1, помещение II, комната № 15
Тел./факс: +7 (495) 648-85-94

www.ecohydroproject.ru / www.ecohp.ru / info@ecohp.ru

ИНН 7715883290 КПП 773301001 ОГРН 1117746730936 р/с 40702810738000047552
в ОАО «Сбербанк России» г. Москва к/с 3010181040000000225 БИК 044525225

Справка о внедрении в производство результатов исследований

Гидрологические исследования водных бассейнов являются критически важными для управления водными ресурсами, особенно в регионах с ограниченным водоснабжением. Диссертационная работа АЛАЛИ ХОЗЕФА, посвященная бассейну реки Ал Кабир Ал Шамали в Сирийской Арабской Республике, представляет комплексное исследование, направленное на совершенствование методов гидрологического моделирования и оценки водных ресурсов.

Основные результаты исследования показывают возможность эффективного применения цифровых моделей рельефа (ЦМР) и ГИС-технологий для:

- Определения морфометрических характеристик водосборных бассейнов;
- Расчета водного баланса водохранилищ;
- Моделирования дождевого стока с использованием современных гидрологических моделей.

Предлагаемые методики позволяют существенно повысить точность гидрологических прогнозов и расчетов, что имеет значительный практический потенциал для:

- Управления водными ресурсами
- Проектирования гидротехнических сооружений
- Оценки влияния землепользования на гидрологический режим территорий

Апробация результатов исследования на примере водохранилища 16 Тишрин продемонстрировала высокую эффективность разработанных подходов, в частности:

- Точный расчет объема и площади водохранилища по данным цифровой модели рельефа SRTM
- Определение потерь воды вследствие испарения и инфильтрации
- Моделирование паводковых вод с различными периодами повторяемости

Экономический эффект от внедрения результатов исследования заключается в:

- Оптимизации водопользования;
- Снижении рисков при проектировании гидротехнических объектов

Результаты исследования рекомендованы к практическому применению в управлении водными ресурсами, проектных организациях и научно-исследовательских институтах гидрологического профиля.

Генеральный директор
ООО «ЭКОГИДРОПРОЕКТ»



/Шагапов А.Т./

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации базы данных

№ 2024622638

«Спутниковые данные (CHIRPS) об осадках
водосборного бассейна реки Ал Кабир Ал Шамали в
САР»

Правообладатель: *Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Российский государственный аграрный университет –
МСХА имени К.А. Тимирязева» (RU)*

Авторы: *Алали Хозефа (SY), Перминов Алексей Васильевич
(RU)*

Заявка № 2024622109

Дата поступления 23 мая 2024 г.

Дата государственной регистрации

в Реестре баз данных 18 июня 2024 г.



Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат 429b6a0fe3653164baf96f83b73b4aa7
Владелец **Зубов Юрий Сергеевич**
Действителен с 10.05.2023 по 02.08.2024

Ю.С. Зубов

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации базы данных

№ 2024621641

«Спутниковые данные (MODIS) о эвапотранспирации и суммарной испаряемости водосборного бассейна реки Ал Кабир Ал Шамали в САР»

Правообладатель: *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева» (RU)*

Авторы: *Алали Хозефа (SY), Перминов Алексей Васильевич (RU)*

Заявка № 2024621203

Дата поступления 29 марта 2024 г.

Дата государственной регистрации

в Реестре баз данных 15 апреля 2024 г.



*Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности*

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат 429b6a0fe3853164baf96f83b73b4aa7
Владелец **Зубов Юрий Сергеевич**
Действителен с 10.05.2023 по 02.08.2024

Ю.С. Зубов

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации базы данных

№ 2024623709

«Показатели стока спутниковых данных FLDAS –
бассейн реки Ал Кабир Ал Шамали в САР»

Правообладатель: *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет - МСХА имени К.А. Тимирязева» (RU)*

Авторы: *Алали Хозефа (RU), Перминов Алексей Васильевич (RU)*

Заявка № 2024622170

Дата поступления 23 мая 2024 г.

Дата государственной регистрации

в Реестре баз данных 22 августа 2024 г.



*Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности*

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат 0692e761a6300b154f2401670bca2026
Владелец **Зубов Юрий Сергеевич**
Действителен с 10.07.2024 по 03.10.2025

Ю.С. Зубов

УНИВЕРСИТЕТ-НА-АМУРЕ**КОМСОМОЛЬСКИЙ-НА-АМУРЕ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ****СЕРТИФИКАТ**

СВИДЕТЕЛЬСТВУЕТ О ТОМ, ЧТО

**Алали
Хозефа**принял(-а) участие в VII Всероссийской национальной
научной конференции молодых учёных**«МОЛОДЁЖЬ И НАУКА: АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ
ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ И ПРИКЛАДНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ»**

Секция

Информационно-коммуникационные технологии

Ректор ФГБОУ ВО «КНАГУ»

Э. А. Дмитриев



г. Комсомольск-на-Амуре

ТРАЕКТОРИЯ НОВОГО ИЗМЕРЕНИЯ**08-12 апреля 2024 г.**

УНИВЕРСИТЕТ-НА-АМУРЕ



КОМСОМОЛЬСКИЙ-НА-АМУРЕ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ



СЕРТИФИКАТ

СВИДЕТЕЛЬСТВУЕТ О ТОМ, ЧТО

**Алали
Хозефа**

принял(-а) участие в VII Всероссийской национальной
научной конференции молодых учёных

**«МОЛОДЁЖЬ И НАУКА: АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ
ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ И ПРИКЛАДНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ»**

Секция

**Математическое моделирование в технических и естественных
науках**

Ректор ФГБОУ ВО «КНАГУ»

Э. А. Дмитриев



г. Комсомольск-на-Амуре

ТРАЕКТОРИЯ НОВОГО ИЗМЕРЕНИЯ

08-12 апреля 2024 г.

СЕРТИФИКАТ УЧАСТНИКА

Международная научная конференция
молодых учёных и специалистов,
посвящённая 150-летию со дня рождения
Миловича Александра Яковлевича

Выдан

Алали Хозефа
за доклад на тему:

Пересечение гидрологического моделирования и управления окружающей средой

на секции

Актуальные вопросы природообустройства и водопользования



Москва, 3-5 июня 2024 г.



В.И. Трухачев
Ректор,
Академик РАН,
профессор

25-26 апреля 2024 г.

СЕРТИФИКАТ

настоящим удостоверяется, что

Алали Хозефа

принял (а) участие в

XIV Национальная конференция с международным участием
**Современные проблемы и перспективы развития
строительства, теплогазоснабжения и энергообеспечения**

Декан факультета «Инженерия и
природообустройство»

д.т.н., доцент Шишурин С.А.

Зав. кафедрой «Гидромелиорация,
природообустройство и строительство в АПК»

к.с.-х.н., доцент Никишанов А.Н.

Саратов 2024 г.



БЛАГОДАРСТВЕННОЕ ПИСЬМО

Алали Хозефа

За участие в качестве спикера на
**«AUEZOV UNIVERSITY INTERNATIONAL
 SUMMER SCHOOL -2024»**

по направлению
**«Интеграция аграрной науки в мировое
 образовательное пространство»**

Врио Председателя
 Правления-ректора



К. Нурманбетов

03.06-14.06.2024 Г.
 КАЗАХСТАН, ШЫМКЕНТ, 2024 Г.

№ 1/570

