

- Объем экологически допустимого стока реки Девица составляет 84% естественного стока реки в год соответствующей обеспеченности (сохранение экологического состояния водного объекта на уровне «хорошем») и 68% (сохранение экологического состояния водного объекта на уровне «удовлетворительном»).

- Рассмотрены подходы к определению почвоохранной оросительной нормы, учитывающий требования растений и почв. При выращивании капусты белокочанной, оросительная норма $1800\text{м}^3/\text{га}$ позволяет получать урожаи на уровне 0,7 от максимально возможной в конкретных условиях и биопродуктивность почв не менее 0,8.

- Максимальная оросительная способность реки Девица в зависимости от оросительной нормы (средневзвешенной для орошаемого севооборота) составит

$$F_{\text{ор}} = \frac{26200}{M}, \text{ т. га.} \quad (5.9)$$

- Полное годовое регулирование позволяет создать максимальную полезную емкость ирригационного водохранилища $30,86 \text{ млн. м}^3$ при коэффициенте зарегулированности 0,18.

- При орошении поглощение углерода увеличивается по сравнению с богарными условиями на $16\text{т}/\text{га}$, что соответствует поглощению углерода, с потенциально возможной орошаемой площади, на $23,3 \text{ тыс. т}$ в год.

5.2. Краткосрочное прогнозирование паводкового стока для управления водохранилищем ирригационно-противопаводочного назначения (Ермолаева О.С., Ильинич В.В., Кузнецова Е.В., Перминов А.В.)

Как надёжность плановой водоотдачи, так и безопасность гидрологических сооружений ирригационно-противопаводочного водохранилища зависит от Правил управления водохранилищем при появлении

внезапных дождевых паводков [146, 213]. Летний гидрологический режим реки Кубань в период интенсивных орошений рисовых чеков может быть подвержен, как засушливому периоду, так и появлению значительных ливневых паводков. В такой ситуации немаловажное значение будут иметь правила управления Краснодарским гидроузлом с учётом краткосрочного прогноза осадков и порождённых ими гидрографов паводков.

Соответственно, целью настоящей работы является методическое обоснование к уточнению Правил управления ирригационным водохранилищем при использовании диспетчерского графика [58]. Такая цель предопределила необходимость решения следующих задач:

- выявление штормовых осадков на основных метеостанциях речного бассейна, приводящего к значительным паводкам в створе Краснодарского гидроузла;
- выбор метеостанций-предикторов для прогнозирования штормовых паводков;
- формирование пакета данных модели водосбора с помощью ГИС;
- прогнозирование паводков с помощью модели DWAT [58] на основе сформированного пакета данных ГИС, метео- и гидрологических данных;
- разработка рекомендаций по управлению водохранилищем с учётом краткосрочного прогноза паводка.

В качестве объекта исследований было выбрано Краснодарское водохранилище, основным донором которого является река Кубань. Её речной бассейн не однороден по рельефу и по формированию стока в вегетационный период [146, 206]. Весной и летом на фоне сравнительно незначительного возрастания водности реки Кубань за счёт таяния ледников в большинстве лет возникают существенные, а иногда и катастрофические паводки, однако некоторые годы могут быть исключительно засушливыми и приводить к исключительно большому дефициту планового водопользования, в первую очередь всей Краснодарской оросительной системы.

Исходными материалами послужили суточные расходы воды притока к водохранилищу с 1987 года по 2020 год, суточные осадки и правила использования водных ресурсов водохранилища [58].

Достаточно точный прогноз притока к водохранилищу получить очень сложно даже с малой заблаговременностью из-за малого количества метеостанций на водосборе и сложности учёта характеристик существенно неоднородной подстилающей поверхности водосбора. Поэтому, в настоящей работе принятие решений о предварительной сработке водохранилища на модели выбиралось непосредственно по данным метеостанции-предиктора. В качестве возможных предикторов опасного максимального стока предварительно были выбраны сетевые метеостанции Северного Кавказа, которые обладали наиболее длительным сроком суточного наблюдения по осадкам: Армавир, Минеральные Воды и Краснодар. Анализ хронологических данных выпадения суточных осадков показал, что в некоторые годы штормовые осадки более 40 мм повторялись неоднократно, а в отдельные годы не было превышений выше 25 мм, однако ежегодно имели место ливневые осадки не менее 20 мм, которые тоже приводили к значительным паводкам в нижнем течении Кубани.

По данным суточного притока к водохранилищу, составленным и выверенным Краснодарским Бассейновым Управлением и Гидрометцентром РФ, были сформированы суточные значения притока, и ряды суточных и суммарных осадков за период паводков. Таким образом, получились статистические ряды штормовых осадков и порождённых ими объёмов и пиков паводков, выраженных графически на примере рисунок 5.3а), по которым был проведён необходимый анализ появления опасных событий для Краснодарского гидроузла, в том числе корреляционный анализ между характеристиками паводкового притока (значения объёма и максимального расхода) и предшествующими осадками. Выяснилось, что опасные паводки для водохранилища могут образовываться только после выпадения дождевых

осадков не меньше 20 мм на метеостанциях предикторах, в которые были выбраны метеостанции Минеральные воды и Армавир.

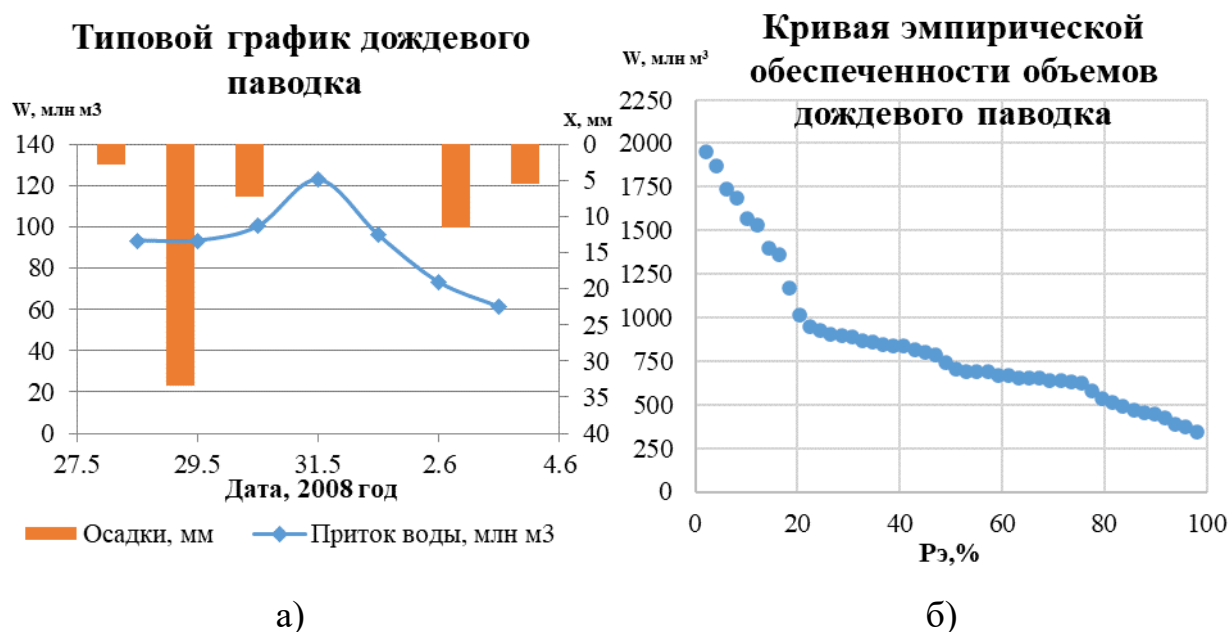


Рисунок 5.3 – Характеристики дождевых осадков и паводков

На этом же рисунке (рисунок 5.1б) представлены точки эмпирической обеспеченности объёмов опасных паводков при условии, что слой предшествующих осадков был не менее 20 мм. Из рисунка видно, что при таком условии объём паводка практически не будет менее 300 млн м³.

Было установлено, что максимум осадков (с суммарным слоем не менее 20 мм) наблюдался перед максимум паводка за 2-5 суток, соответственно минимальная заблаговременность прогноза паводка может быть не менее 2 суток. Сам сток паводка прогнозировался на основе его моделирования при помощи рекомендованной Всемирной Метеорологической Организацией математической модели DWAT [119]. В программу вносились данные с метеостанций предикторов, а также о гидрографических и физико-географических характеристиках речного бассейна и с помощью преобразования файлов из ГИС проекции UTM строилась цифровая модель рельефа разрешением 250*250 метров.

На рисунке (рисунок 5.4а) представлена загруженная ЦМР в программу DWAT.

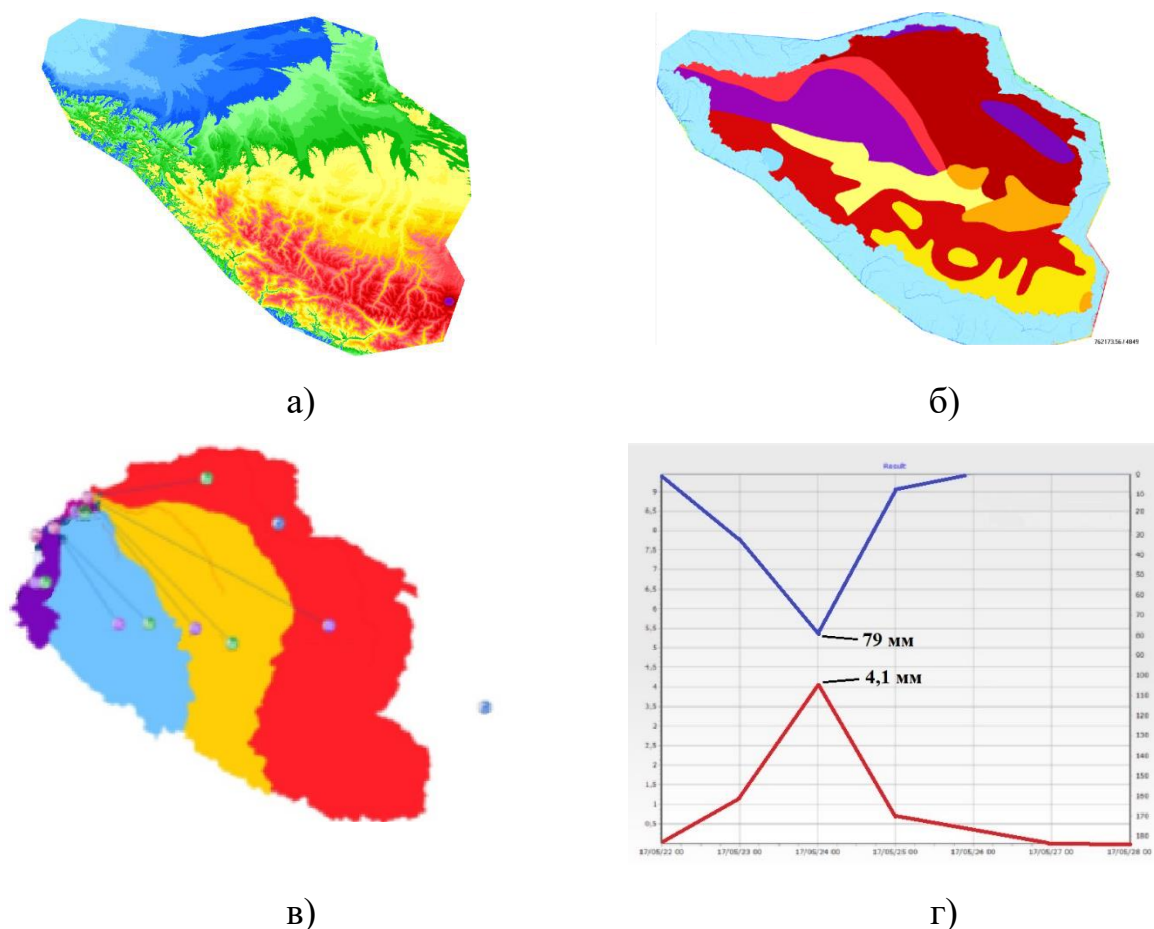


Рисунок 5.4 – Этапы обработки данных программой DWAT (а) – слой ЦМР из ГИС, б) слой почв, в) итоговое отображение загруженных данных) и полученный результат расчета модели (г)

На основе загруженной ЦМР (рисунок 5.4 а, б, в) программа самостоятельно рассчитывает аккумуляционный сток с данной местности (рисунок 5.4 г).

С помощью команды: «Basin» программа просчитывает, основываясь на ЦМР и заданную точку створа: водосборы и подбассейны и отражает посредством различной цифровой информации во встроенной атрибутивной таблице. В результате расчетов программой выводится прогнозный гидрограф на экран и на его основе проводится управление водохранилищем (рисунок 5.4 г).

Управление Краснодарским гидроузлом при моделировании регулирования паводкового стока с суточной дискретностью и при помощи данных прогнозного гидрографа с модели DWAT проводилось на основе традиционного уравнения располагаемых водных ресурсов водохранилища (5.10):

$$V_{\text{кф}} = V_{\text{н}} + W - U - S, \quad (5.10)$$

где:

$V_{\text{н}}$ – объём водохранилища к началу расчётных суток (начальный объём);

W – прогнозный суточный приток;

U – плановая суточная водоотдача водопользователям;

S – неиспользуемые водопользователями попуски воды в нижний бьеф (холостые сбросы);

$V_{\text{кф}}$ – фиктивное наполнение к окончанию расчётных суток (конечный объём наполнения), которое формально не ограничено ($-\infty < V_{\text{кф}} < \infty$), в частности его величина может быть больше Нормального Подпорного Уровня (НПУ) и Форсированного Подпорного Уровня (ФПУ).

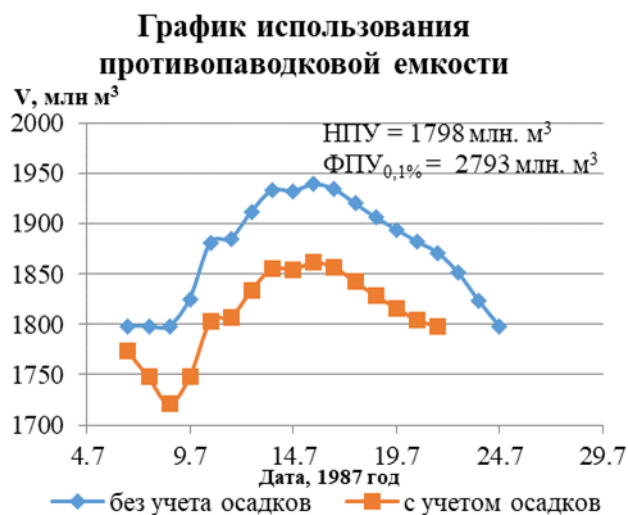
Моделирование элементов баланса согласно уравнению (5.10) проводилось только при прохождении значительных опасных паводков, при которых большинство водопользователей либо существенно снижает свои требуемые объёмы воды (в частности – в верхнем бьефе), либо вообще их снимают, а водопользование в нижнем бьефе по своей сути являются сбросами в нижний бьеф, тогда символ U (плановая суточная водоотдача) в уравнении (5.10) практически обнулялся. Согласно действующих правил эксплуатации водохранилища расчёты начинались при начальном наполнении на НПУ на первый день паводка.

Далее, наполнения к окончанию каждых расчётных суток ($V_{\text{к}}$) и соответствующие попуски (S) определялись по логическим условиям, прописанным в Правилах использования водных ресурсов Краснодарским водохранилищем (ПИВР) [58]. Если приток превышает суточный объём 104 млн м³ (1200 м³/с), то попуски в нижний бьеф (сбросы S) ограничиваются этой

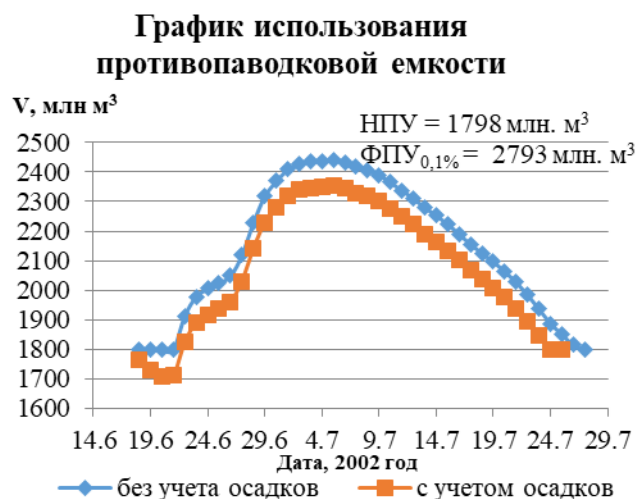
величиной, и тогда превышающий эту величину объём откладывается выше НПУ в противоположной ёмкости. Если при дальнейшем повышении объёмов притока в какие-либо сутки повышение объёмов в резервной ёмкости достигает ФПУ, то сбросные расходы воды допускаются выше $1200 \text{ м}^3/\text{с}$ - вплоть до $1500 \text{ м}^3/\text{с}$, а ёмкость стабилизируется на ФПУ, и только при превышении расходов $1500 \text{ м}^3/\text{с}$ и заполненной ёмкости водохранилища до ФПУ проводится неограниченный сброс в нижний бьеф, что ассоциируется с аварией.

Помимо моделирования по представленному традиционному подходу регулирования паводкового стока проводилось и моделирование исключительно согласно ПИВР, но заранее с частично сработанным объёмом ниже НПУ, основанием чему были штормовые осадки, выпавшие перед основной волной паводка. Степень предельного сработанного объёма должна быть такой, чтобы водохранилище было гарантированно наполнено до НПУ к окончанию паводка, даже если он маловодный. При этом использовалась кривая обеспеченности объёмов паводкового дождевого стока (рисунок 5.5б) при условии, что к его началу выпали осадки не менее 20 мм на выбранных в качестве предикторов метеостанциях. Из рисунка 3 можно заключить, что вполне возможно и выгодно заранее перед пиковыми значениями паводка понизить объём водохранилища ниже НПУ на 200 - 300 млн м^3 , поскольку реально гарантированно, что можно восполнить этот объём за счёт самого паводка до его окончания, а этот объём выдать водопользователям в течение предшествующих 2-5 суток, понизив в этом случае имеющийся дефицит.

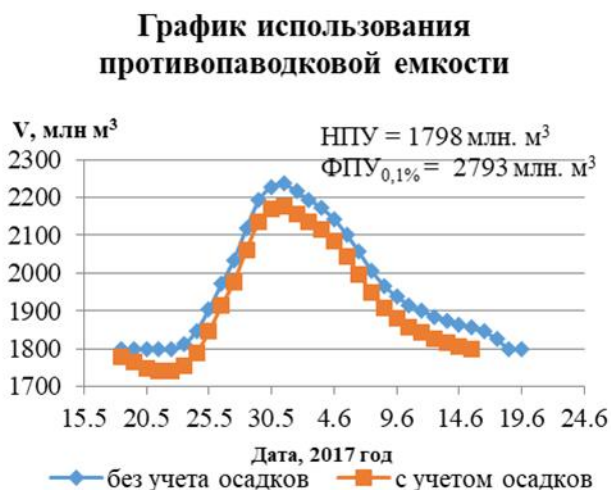
Согласно положениям [58] рассматривался и критический вариант нормативного гидрографа дождевого паводка, модель которого была получена согласно [144] на его расчётную вероятность превышения 0,1%, продиктованную классом сооружения плотины (рисунок 5.5 г).



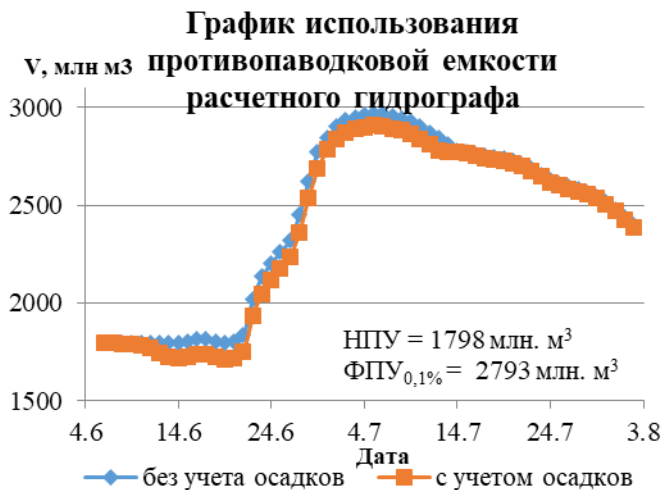
а)



б)



в)



г)

Рисунок 5.5 – График использования противопаводочной емкости Краснодарского водохранилища в 1987, 2002, 2017 году, а также расчетного гидрографа

Согласно предложенным правилам - при появлении осадков на метеостанции-предикторах не менее 20 мм, сбросные расходы при моделировании ежесуточных наполнений и попусков воды в нижний бьеф повышались посредством управления затворами плотины до максимально разрешённой величины ПИВР [58], равной 104 млн м³/сутки (120 м³/с), а объём воды в водохранилище понижался из расчёта возможности набрать этот объём до окончания паводка. Полученные результаты представлены в виде графиков наполнений водохранилища относительно исключительно опасных паводков за последние десятилетия. На этих графиках (рисунок 5.5) можно видеть

ординаты хронологических наполнений при их моделировании согласно традиционной схемы регулирования стока ПИВР (без учёта осадков и прогноза стока по модели DWAT) и согласно предложенной схеме, включающей в себя предварительное снижение запаса водохранилища ниже НПУ (с учётом осадков) – при появлении осадков более 20 мм на метеостанциях предикторах в пунктах Армавир и Мин.Воды.

Из графиков видно, что к окончанию паводков объём водохранилища возвращается к ёмкости при НПУ, при этом степень превышения объёма при НПУ и продолжительность такого события снижаются. На Рис. 3г) представлены величины наполнения при моделировании пропуска катастрофического паводка расчётной обеспеченности $P=0,1\%$.

Из графика на рисунке 5.5, г видно, что в этом случае противопаводочная ёмкость используется полностью, что считается аварийной ситуацией, но во втором варианте продолжительность стояния объёма при ФПУ чувствительно короче. Следует заключить, что при использовании современных ПИВР Краснодарский гидроузел утратил требуемую надёжность, однако заметить, что расчётный гидрограф паводка, построенный согласно [144] нельзя считать полностью объективным, он скорее обладает необоснованным запасом прочности.

Выполненный анализ величин слоя осадков и объёмов последующих дождевых паводков позволяет заключить, что имеется возможность выделить метеостанции – предикторы, данные наблюдений которых позволяют на основе моделирования паводков с помощью математической модели DWAT предвидеть величины объёмов последующих за штормовыми осадками паводков, а также что период между пиком осадков и пиком паводка, составляет от двух до пяти суток. При этом, в начале паводка до наступления критических значений притока целесообразно опорожнять водохранилище ниже НПУ на 200-300 млн м³, которые достаточно гарантированно можно восполнить к окончанию паводка.

Моделирование трансформации расчётного паводка по схеме Правил Использования Водных Ресурсов показало, что при использовании этих правил Краснодарский гидроузел утратил требуемую надёжность и требуется их пересмотр.

Проведённое моделирование трансформации паводка водохранилищем позволяет сделать вывод, что предварительное его опорожнение перед пиком паводка по данным об осадках на выбранных метеостанциях-предикторах вполне возможно и понижает степень использования противопаводочной ёмкости, что в целом понижает риски гидроузла и окружающей территории, не понижая обеспеченности плановой водоотдачи.

5.3. Оценка эффективности биоинженерных сооружений на мелиоративных системах на водосборе средней реки (Глазунова И.В., Карпенко Н.П.)

Охрана водных ресурсов является один из важнейших факторов экономического и социального развития территорий, при выполнении которого необходимо предупреждение истощения и ухудшения качества поверхностных вод и изменение его гидрологического режима. Для Белгородской области вопросы загрязнения водных ресурсов являются актуальными, поскольку в реки поступает большое количество загрязнений и основными загрязнителями являются сточные воды с сельскохозяйственных и мелиорированных территорий: хозяйственно-бытовые, животноводческих ферм и промышленность. На ухудшение качества поверхностных вод существенно влияет объемы загрязняющих веществ, поступающих в виде дренажно-сбросных вод мелиоративных систем.

Целью исследований является оценка эффективности биоинженерных сооружений на мелиоративных системах реки Северный Донец Белгородской