

УДК 556.5:504.4

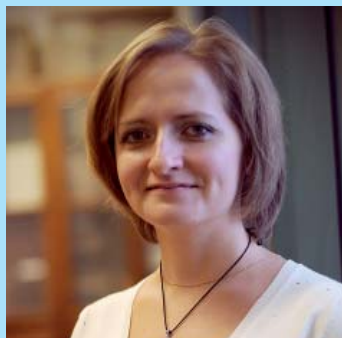
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ОПАСНЫХ ПАВОДКОВ НА РЕКАХ СЕВЕРНОГО КАВКАЗА*

© 2012 г. Н.М. Юмина, Е.П. Рец

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва

Ключевые слова: мониторинг гидрологических процессов, экономическая эффективность, экологическая безопасность водопользования.

В статье представлены принципы и рекомендации по совершенствованию системы мониторинга высоких паводков. С целью организации системы оповещения об опасных паводках на реках бассейнов Кубани и Терека была решена задача оптимизации сети гидрометрических наблюдений, разработано два варианта (программа минимум отвечает возможности получения достаточно подробной картины движения воды в речной сети минимальными средствами, программа максимум позволяет получать практически исчерпывающую информацию о движении воды в речной сети в исследуемых бассейнах). Для различных участков рек исследуемых бассейнов составлены методики краткосрочного прогноза колебаний стока на основе метода соответственных уровней.



Н.М. Юмина



Е.П. Рец

Введение

При обосновании принципов и оптимальных путей совершенствования системы гидрологического мониторинга на территории Северного Кавказа рассматривались гидрологические процессы, определяющие состояние

*Работа выполнена в рамках исследований по Государственному контракту № П164 «Совершенствование системы мониторинга гидрологических процессов для повышения эффективности и безопасности водопользования» по направлению «Мониторинг и прогнозирование состояния атмосферы и гидросферы», РФФИ (проекты № 10-05-00252; 09-05-00339; 09-05-92001-ННС), ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» (государственный контракт № 02.740.11.0336 и проект № П164).

Водное хозяйство России № 1, 2012

Водное хозяйство России

водных объектов, возможность их использования, а также вероятность и масштаб нежелательных и опасных явлений, связанных с их гидрологическим режимом. Система мониторинга таких процессов включает наблюдение за ними и их основными природными и антропогенными факторами, анализ этих наблюдений и основанный на нем прогноз ожидаемых изменений состояния водных объектов. Наибольший интерес с точки зрения экономически эффективного и экологически безопасного водопользования представляют гидрологические процессы, которые наносят материальный и экономический ущерб населению и хозяйственным объектам территории. Среди опасных гидрологических процессов максимальную угрозу представляют экстремально высокие половодья и паводки на реках. Прохождение высоких расходов воды сопровождается опасным увеличением скоростей течения и подъемом уровней воды. При этом возникает реальная угроза для населения, речных гидротехнических сооружений и других хозяйственных объектов, происходит сильная деформация берегов и эрозия прирусловых участков. Таким образом, для экономически эффективного и экологически безопасного водопользования актуальной и важной становится задача разработки принципов и рекомендаций по оптимизации не просто системы гидрологического мониторинга, а системы мониторинга опасных гидрологических процессов. В частности, для предупреждения об опасности катастрофических наводнений и их прогнозирования необходима оптимизация системы гидрометрических наблюдений за катастрофическими паводками.

В целях оперативного оповещения об угрозе высоких половодий и паводков и организации мероприятий по защите от них населения и хозяйственных объектов используется система прогнозирования максимальных расходов и уровней воды на реках. Разработка и использование методов краткосрочного прогноза расходов и уровней воды на реках в условиях прохождения половодий и паводков представляет важнейший элемент всей системы мониторинга опасных гидрологических процессов. Поскольку качество прогнозирования высоких половодий и паводков в решающей степени зависит от числа и расположения гидрометрических постов в пределах водосбора конкретной реки, оптимизация системы гидрометрических наблюдений становится наиболее важной и актуальной задачей.

Основные принципы размещения постов системы гидрологического мониторинга

Размещение пунктов системы оповещения населения о возможных наводнениях для их предупреждения и прогнозирования должно отвечать двум основным требованиям: максимальной заблаговременности прогноза и максимальной точности прогноза. Для достижения этих целей при плани-

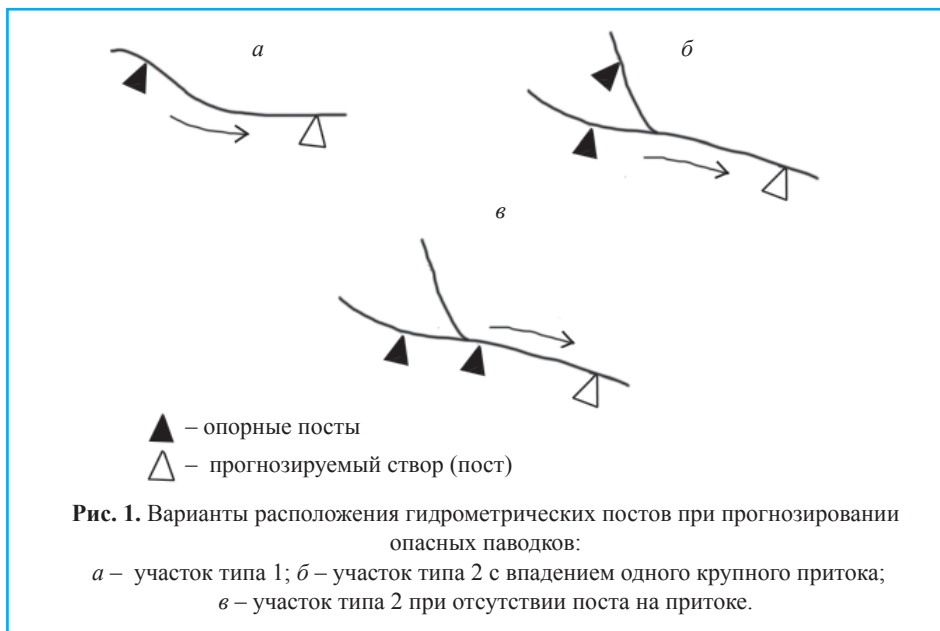
ровании сети гидрологических постов необходимо руководствоваться рядом принципов.

Размещение гидрологических постов в речном бассейне определяется характером использования поступающей с них информации в системе мониторинга гидрологических процессов, особенностями гидрологического режима реки, строения русловой сети ее водосбора. Если рассматривается частная задача прогноза высоких паводков в заданном речном створе, оптимизация сети гидрометрических наблюдений должна опираться на рекомендации, относящиеся к следующим ситуациям:

1. При отсутствии на участке реки выше прогнозируемого створа относительно крупных притоков (участок типа 1 на рис. 1) достаточно разместить только один верхний опорный гидрометрический пост в начале этого участка. В этом случае при обнаружении прогностическим методом хорошей зависимости между расходами или уровнями воды на верхнем и нижнем постах в период прохождения высокого паводка для любого нижележащего поста на данном участке может быть получен прогноз максимальной величины паводка и времени его добегания от верхнего поста до нижнего. При выборе места размещения верхнего поста следует учитывать время добегания паводка до нижнего поста и добиваться максимальной заблаговременности прогноза при сохранении удовлетворительной точности прогноза.

2. При наличии на участке между прогнозируемым створом и верхним опорным постом относительно крупного притока (участок типа 2) важно оценить синхронность прохождения паводков по основной реке и этому притоку. Если в период паводочной активности имеет место тесная корреляция между колебаниями стока основной реки и ее притока в месте их слияния, то в условиях скудности гидрометрической сети и крайней недостаточности средств для ее организации, оборудованием дополнительного поста на данном притоке можно пренебречь, что сильно упрощает построение методики прогноза при сохранении точности. Однако такое упрощение очевидно занижает опасность паводка (его объем) для нижележащего прогнозируемого створа и, как следствие, опасность возможного наводнения. Таким образом, при существовании возможности организации сети гидрометрических наблюдений оборудованием опорного поста на таком притоке нельзя пренебрегать.

3. В случае отсутствия достаточной корреляции между колебаниями стока основной реки и ее притока в месте их слияния необходимо оборудовать еще один дополнительный опорный пост на этом притоке (рис. 1б). Этот дополнительный пост должен быть расположен на таком расстоянии, чтобы время добегания от него до прогнозируемого створа было максимально близко времени добегания от верхнего опорного поста на основной реке до прогнозируемого створа. Для этого следует учесть скорости течения



на основной реке и ее притоке в условиях повышенной водности и расстояния до прогнозируемого поста.

4. Помимо синхронности колебаний стока на участке реки типа 2 с впадением относительно крупного притока важно оценить соотношение водности основной реки и данного притока. Если на участке реки впадает приток относительно крупных размеров, но малый по водности, то оборудованием поста на нем можно пренебречь, при этом значительно упрощается методика прогноза без существенной потери точности.

5. Если в рассмотренной выше ситуации (участок 2 типа) один из опорных постов на основной реке или ее притоке отсутствует, то сохранение только одного опорного поста не имеет смысла. Необходимо либо открыть недостающий пост, либо закрыть не оптимально действующий опорный пост и открыть другой, расположенный как можно ближе к месту впадения притока (рис. 1 *в*).

Любая более сложная ситуация с наличием нескольких притоков и целесообразностью учета притоков более высокого порядка может быть представлена в виде комбинации рассмотренных выше случаев. Таким образом, при оптимизации сети гидрометрических наблюдений можно руководствоваться изложенными выше рекомендациями.

Учет расположения требующих защиты населенных пунктов и хозяйственных объектов позволит избежать лишних затрат на организацию системы оповещения об опасных паводках. Если населенные пункты и хозяйственные объекты сосредоточены в низовьях реки, то можно обойтись

установкой прогнозируемого поста в нижнем течении основной реки и строить всю сеть опорных гидрометрических постов снизу вверх. Если требующие защиты от опасных паводков населенные пункты и хозяйственные объекты расположены относительно равномерно по всей длине реки, то в верхнем течении следует установить основной опорный гидрометрический пост и строить всю сеть опорных и прогнозируемых гидрометрических постов сверху вниз.

В качестве примера оптимизации системы гидрологических наблюдений за высокими и катастрофическими паводками на основе изложенных выше принципов была рассмотрена задача оптимизации сети гидрометрических наблюдений на территории бассейнов рек Кубани и Терека.

Совершенствование системы мониторинга опасных паводков на реках Северного Кавказа

Для Северного Кавказа при достаточно высокой степени освоенности территории и антропогенной нагрузке на водные ресурсы характерна крайне неудовлетворительная сеть гидрометрических наблюдений. В настоящее время сеть наблюдений в регионе сильно сократилась как в бассейне Кубани, так и в бассейне Терека, исключая устьевые области, всего осталось действовать около 20–25 гидрометрических постов, что крайне мало для горного региона. При этом, многие посты с точки зрения оповещения населения о возможных наводнениях, вызванных прохождением высоких и катастрофических паводков, расположены неоптимально. В бассейне р. Сунжа в настоящее время нет ни одного действующего гидрологического поста, что крайне неблагоприятно для системы оповещения населения, поскольку река, являясь одним из двух основных притоков р. Терек, характеризуется паводочным режимом стока. При этом в конце XX – начале XXI вв. в регионе открылось несколько новых постов, расположенных на небольших притоках, соответственно, ряды наблюдения на них очень короткие. В связи с этим, разработка предварительных рекомендаций по восстановлению и оптимизации сети гидрометрических наблюдений является здесь актуальной и важной задачей.

Реки Северного Кавказа характеризуются наличием в водном режиме половодья и паводков, а вызываемые ими наводнения часто создают серьезную угрозу населению и хозяйственным объектам территории. Паводки на реках наблюдаются ежегодно по несколько раз в течение года. Однако интенсивность их от года к году весьма значительно изменяется, и временами они наносят большой материальный ущерб и приводят к человеческим жертвам [1]. В бассейнах Кубани и Терека повсеместно отмечаются не только ежегодные, но и выдающиеся и катастрофические наводнения различного генезиса. Наибольшее превышение уровня воды при выдаю-

щихся наводнениях отмечалось на реках Предкавказья, Терского и Северо-Черноморского секторов, где оно достигало 548–859 см над уровнем воды в предполоводный период (р. Афипс в бассейне Кубани – 548 см, р. Белка в бассейне Терека – 671 см). В целом для региона наиболее значительные величины превышения уровня воды при наводнениях наблюдаются на малых водотоках в Предкавказье и предгорной зоне Северного Кавказа. На крупных реках (Кубань, Терек) превышение уровня составляет не более 495 см [2]. Одно из наиболее значительных, катастрофических наводнений на территории Северного Кавказа было отмечено в июне 2002 г. Первопричиной послужили сильные и очень сильные дожди, охватившие большую часть Северного Кавказа, в результате чего многие земли территории были затоплены. Осложняли паводковую ситуацию многочисленные селевые потоки. В результате этого наводнения, например, в бассейне Кубани нарушилась жизнедеятельность четырех субъектов РФ, в зоне затопления оказались 213 населенных пунктов, разрушено и повреждено десятки тысяч жилых домов, сотни газопроводов, мостов, автомобильных дорог, ЛЭП, водопроводов, погибло 103 человека, а общий ущерб составил более 8 млрд. рублей [3]. Таким образом, на территории бассейнов рек Кубань и Терек наводнения происходят практически повсеместно, хотя наиболее выдающиеся из них приурочены к нижним частям бассейнов, где расположены основные населенные пункты территории. Предлагаемые авторами статьи предварительные схемы восстановления и оптимизации сети гидрометрических наблюдений в бассейнах Кубани и Терека нацелены на улучшение краткосрочного прогнозирования высоких и катастрофических паводков для населенных пунктов, расположенных в низовьях рек.

При оптимизации сети гидрологических постов в бассейнах рек Терек и Кубань необходимо учитывать некоторые их особенности. Для рек Северного Кавказа характерны малые значения времени добегания паводков от верховьев до замыкающего створа [1, 2], в среднем они составляют от 1 до 3 суток. Таким образом, главной задачей оптимизации сети должно стать достижение максимальной заблаговременности прогноза при сохранении его точности. В соответствии с этим, посты системы оповещения должны находиться на максимальном удалении от пунктов в низовьях рек, для которых необходим прогноз колебания уровней воды. Для большей эффективности и удобства составления прогноза желательно, чтобы все гидрологические посты были бы расходными.

Исходя из того, что при оптимизации сети гидрометрических наблюдений необходим учет времени добегания волн паводков в русловой сети, путем синтеза информации, полученной при разработке методик краткосрочного прогноза [4, 5] паводочного стока рек бассейнов Терека и Кубани, была получена картина движения воды в русловой сети этих бассейнов [6, 7]. Для

достаточно высоких по величине паводков были построены карты нарастающего времени их добегаания от верховьев до замыкающего створа. Эти карты представлены на рисунках 2 и 3 и позволяют приближенно рассчитывать время движения речных водных масс в условиях прохождения среднего по величине паводка от любой точки бассейна до замыкающего створа – ст. Гребенская в бассейне Терека, расположенного выше дельты реки, и Краснодарского водохранилища в бассейне Кубани.

В соответствии с изложенными выше принципами, было разработано два варианта оптимизации сети гидрометрических наблюдений в бассейнах рек Кубань и Терек (программы минимум и максимум), при этом были учтены особенности строения гидрологической сети, особенности формирования стока рек, антропогенное воздействие на сток рек бассейнов и размещение населения.

Схема оптимального размещения гидрометрических постов в бассейне р. Терек по *программе минимум* отвечает возможности получения достаточно подробной картины движения воды в речной сети минимальными средствами. В этом случае в бассейне Терека достаточно 10-ти постов, расположенных с учетом описанных выше требований (рис. 4). Из ранее существующих постов предлагается восстановить или продолжить работу 7 постов с продолжительными рядами наблюдений: на реках Баксан – г. Тырныауз, Чегем – с. Нижний Чегем, Черек – пос. Кашхатау, Сунжа – пос. Карабулак и на р. Терек – с. Эльхотово, г. Моздок и с. Степное. При этом к настоящему моменту из них не действуют посты в с. Эльхотово и с. Степное на р. Терек, пост в г. Моздок уреченный. На р. Сунже в настоящее время нет ни одного действующего гидрологического поста. Предлагается также открыть 3 новых поста, в верховьях основных притоков р. Сунже – Асса, Фортанга и Аргун. Верхний пост системы оповещения на р. Терек предлагается расположить в с. Эльхотово, после впадения многочисленных притоков (реки Ардон, Белая, Камбилеевка). Бассейн каждого из этих притоков, в свою очередь, также обладает разветвленным рисунком гидрологической сети. Вследствие этого, составление краткосрочного прогноза паводков для с. Эльхотово представляется крайне сложным. Таким образом, предлагается назначить с. Эльхотово «отправным пунктом» системы оповещения на р. Терек. Однако, судя по данным ежедневных наблюдений, сток реки в районе этого поста зарегулирован (пост предположительно находится в некотором отведенном рукаве или запруде), соответственно, необходимо вынести пост из зоны влияния регулирования стока, либо расположить его ниже по течению.

Далее по течению сток Терека трансформируется под влиянием двух основных притоков – рек Малка и Сунжа. Влияние стока р. Малка предполагается учитывать с помощью ныне действующих гидрологических постов в г. Тырныауз, с. Нижний Чегем и пос. Кашхатау, расположенных

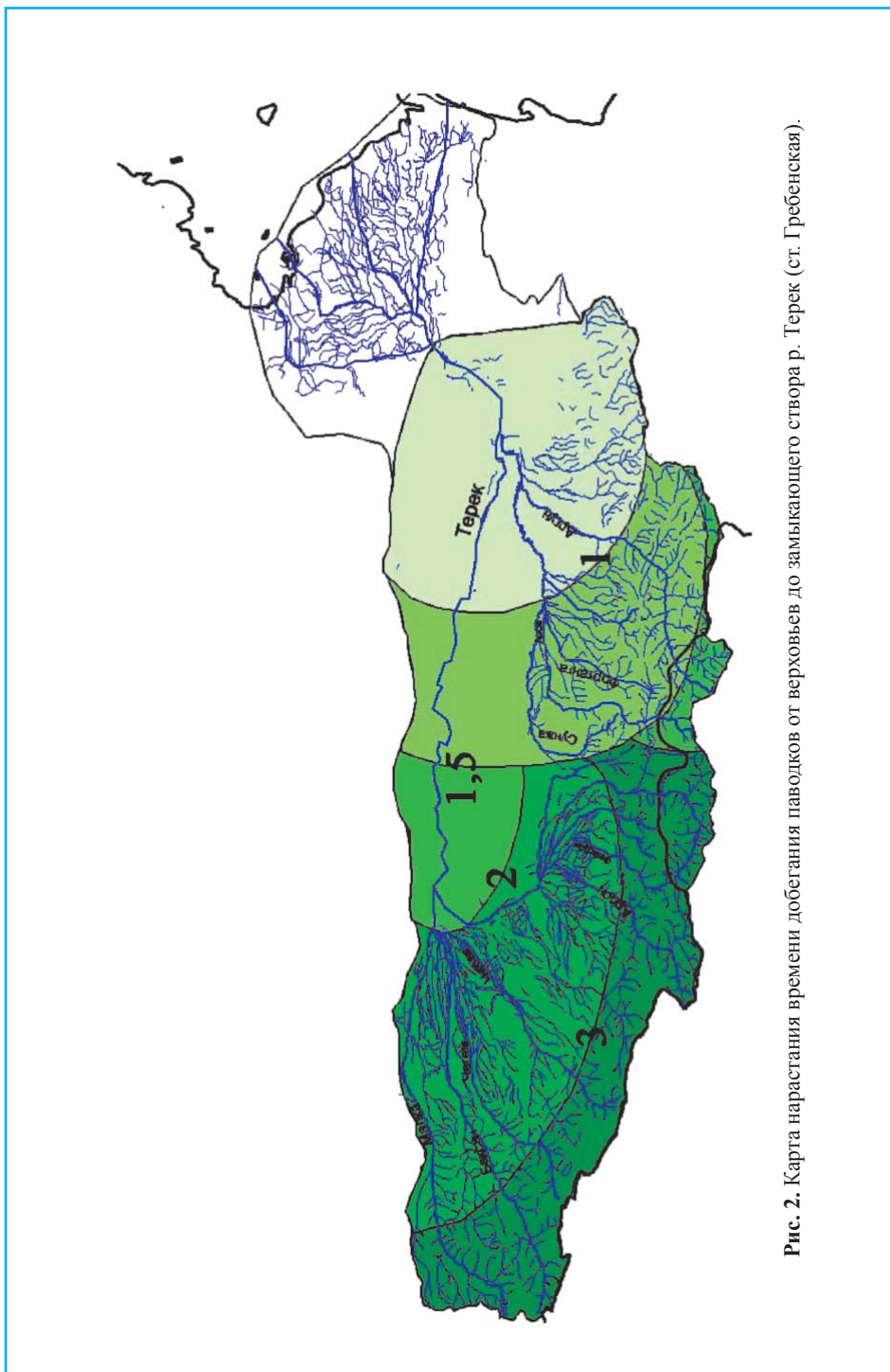


Рис. 2. Карта нарастания времени добегания паводков от верховьев до замыкающего створа р. Терек (ст. Гребенская).

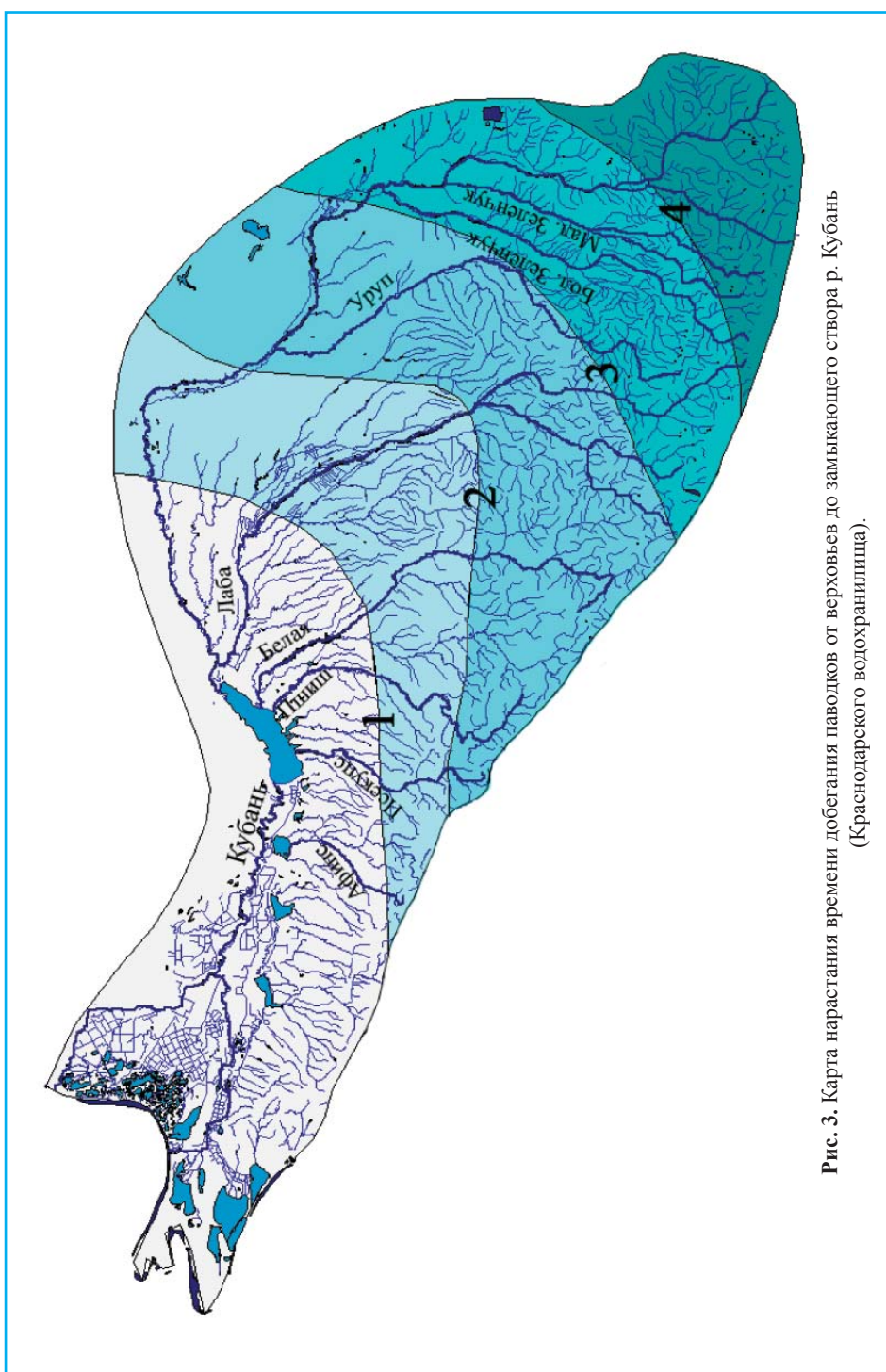


Рис. 3. Карта нарастания времени добегания паводков от верховьев до замыкающего створа р. Кубань
(Краснодарского водохранилища).

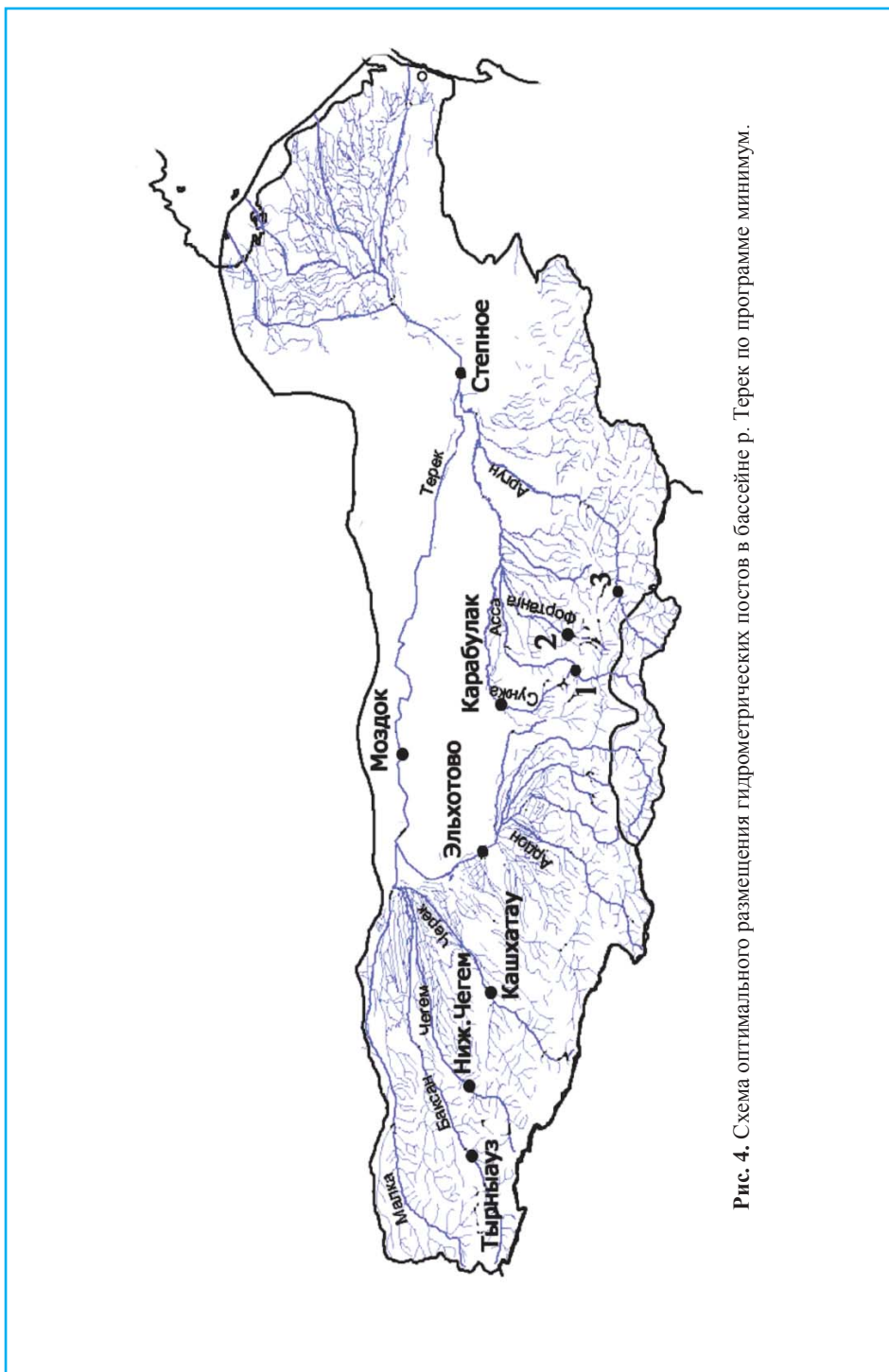


Рис. 4. Схема оптимального размещения гидрометрических постов в бассейне р. Терек по программе минимум.

в верховьях самых многоводных притоков реки Малка (Баксан, Чегем и Черек соответственно). Подобный выбор постов системы оповещения здесь основан на том, что выше по течению расположена самая высокогорная область бассейна Терека и значительных населенных пунктов там нет. Кроме того установка и дальнейшая эксплуатация гидрологических постов в такой высокогорной зоне представляется экономически не выгодной. При этом выбранные для системы оповещения посты характеризуются довольно продолжительными рядами наблюдений, а в с. Нижний Чегем и пос. Кашхатау наблюдения за стоком ведутся с 1927 года. Таким образом, по данным этих постов возможно предупреждение и прогнозирование наводнений в населенных пунктах, расположенных ниже по течению. Сток Малки до впадения р. Черек можно не учитывать, т. к. на этом участке она относительно немногочисленна, кроме того, в ее бассейне расположена разветвленная сеть оросительных каналов, и распространен карст, влияние которого учесть крайне трудно. Влияние р. Сунжа на сток Терека предлагается учитывать с помощью постов в пос. Карабулак (верховья р. Сунжа), № 1 (верховья р. Асса), № 2 (верховья р. Фортанга) и № 3 (верховья р. Аргун). Данные этих постов предназначены для оповещения населения о возможных наводнениях, вызванных прохождением высоких паводков в бассейне Сунжи. Для уточнения краткосрочных прогнозов в бассейне Терека могут быть использованы данные гидрологических постов в г. Моздок, расположенного ниже впадения реки Малка и Терско-Кумского канала, и с. Степное, расположенного сразу после впадения р. Сунжа.

Схема оптимального размещения гидрометрических постов в бассейне р. Кубань по программе минимум также отвечает возможности получения достаточно подробной картины движения воды в речной сети минимальными средствами. Для бассейна Кубани достаточно 12 оптимально расположенных постов (рис. 5). В основном это уже существующие посты с продолжительными рядами наблюдений за стоком в верховьях и среднем течении самой Кубани и на наиболее значительных притоках бассейна – Афипис, Псекупс, Пшиш, Пшеха, Белая, Лаба, Уруп, Большой и Малый Зеленчуки. Так, в качестве верхнего поста системы оповещения на р. Кубань предлагается назначить пост в с. им. Коста Хетагурова с продолжительным рядом наблюдений за стоком реки (с 1926 года), расположенный после впадения в Кубань р. Теберды в высокогорной зоне бассейна. Далее вниз по течению сток Кубани трансформируется за счет хозяйственной деятельности (Усть-Джегутинское водохранилище и ряд оросительных каналов) и впадения крупных притоков – рек Малый и Большой Зеленчуки. Влияние Большого Зеленчука предлагается учитывать с помощью поста ст. Зеленчукская, расположенного в верхнем течении реки. Для учета влияния р. Малый Зеленчук предлагается продолжить работу постов в с. Маруха и с. Хасаут-Греческое на реках Маруха и Аксаут, соответственно, которые, сливаясь, образуют собственно р. Малый

Зеленчук. Влияние основных притоков р. Кубань возможно учитывать с помощью постов с продолжительными рядами наблюдений, расположенных в верхнем течении рек в целях достижения максимальной заблаговременности прогнозов и по возможности за пределами зон влияния хозяйственной деятельности – ст. Удобная (р. Уруп), ст. Каладжинская (на р. Лаба после слияние рек Малая и Большая Лаба), пос. Гузерибль (р. Белая), с. Черниговское (р. Пшеха, основной приток р. Белая), г. Хадьженск (р. Пшиш), г. Горячий Ключ (р. Псекупс) и ст. Смоленская (р. Афипс). Для контроля и уточнения краткосрочных прогнозов на р. Кубань предназначен пост в г. Армавир, расположенный ниже впадения в Кубань р. Уруп.

Схемы оптимального размещения гидрометрических постов в бассейнах рек Терек и Кубань *по программе максимум* позволяют получать практически исчерпывающую информацию о движении воды в речной сети. Для этого необходима установка гидрологических постов в верховьях каждой сравнительно крупной реки (со среднегодовым расходом более 3–10 м³/с), а также после каждого впадения значительного притока. Таким образом, для любого участка реки (кроме сравнительно мелких водотоков) возможно составление краткосрочного прогноза по данным только одной станции, находящейся в начале участка. Другие посты, действующие на данный момент, если они не удовлетворяют вышеприведенному условию, считаются расположенными не оптимально. То есть, они либо дублируют гидрологические посты, расположенные в верховьях участков, либо установлены на мелких водотоках, не представляющих опасности наводнения.

Схема оптимального размещения гидрометрических постов в бассейне р. Терек по программе максимум предполагает 22 гидрометрических поста (рис. 6). Располагаются данные посты в верховьях основных рек бассейна, а также после узлов слияния рек. При этом, как уже отмечалось, в настоящее время некоторые из этих постов закрыты. В бассейне р. Сунжа предлагается открыть три новых поста.

Схема оптимального размещения гидрометрических постов в бассейне р. Кубань по программе максимум предполагает 20 гидрометрических постов (рис. 7).

Поскольку низовья всех многоводных рек бассейна подвержены влиянию интенсивной хозяйственной деятельности, т. е. сток этих рек значительно трансформирован вследствие строительства водохранилищ, оросительных каналов, переброски стока и т. д., учет или контроль этой трансформации стока рек часто невозможен. Поэтому посты системы оповещения населения о возможных наводнениях расположены преимущественно вне зоны влияния хозяйственной деятельности в верховьях основных рек бассейна.

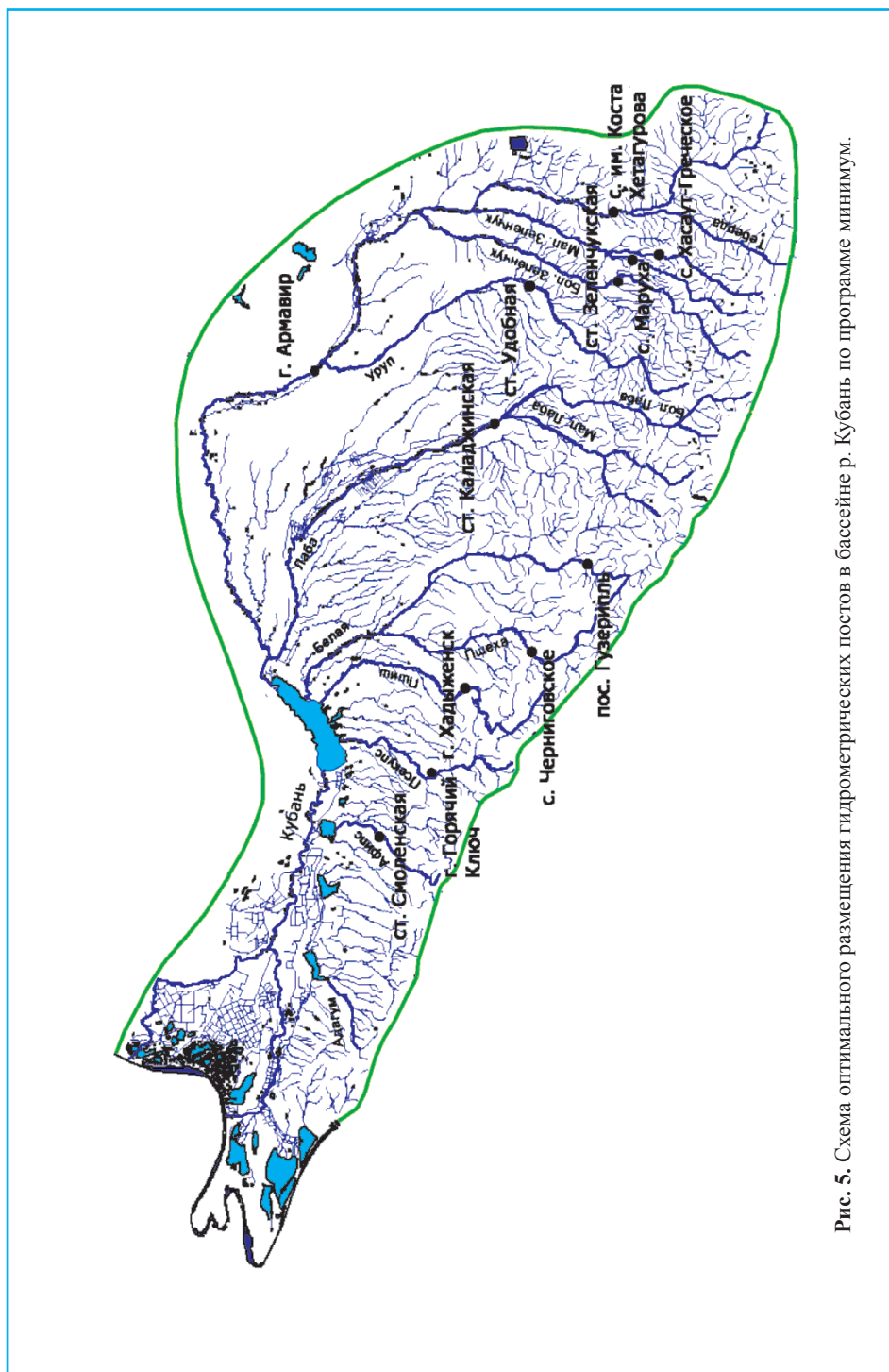


Рис. 5. Схема оптимального размещения гидрометрических постов в бассейне р. Кубань по программе минимум.

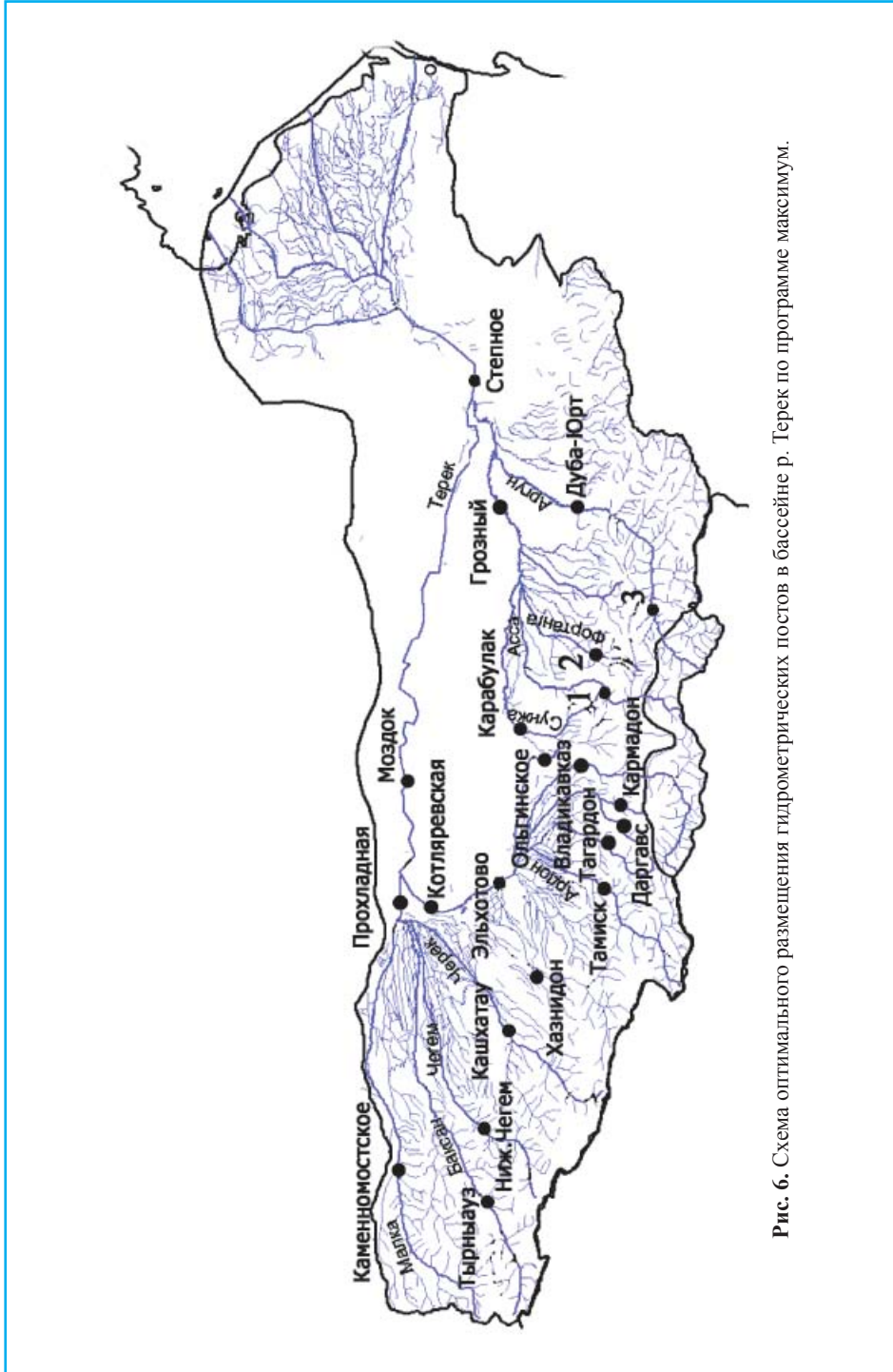


Рис. 6. Схема оптимального размещения гидрометрических постов в бассейне р. Терек по программе максимум.

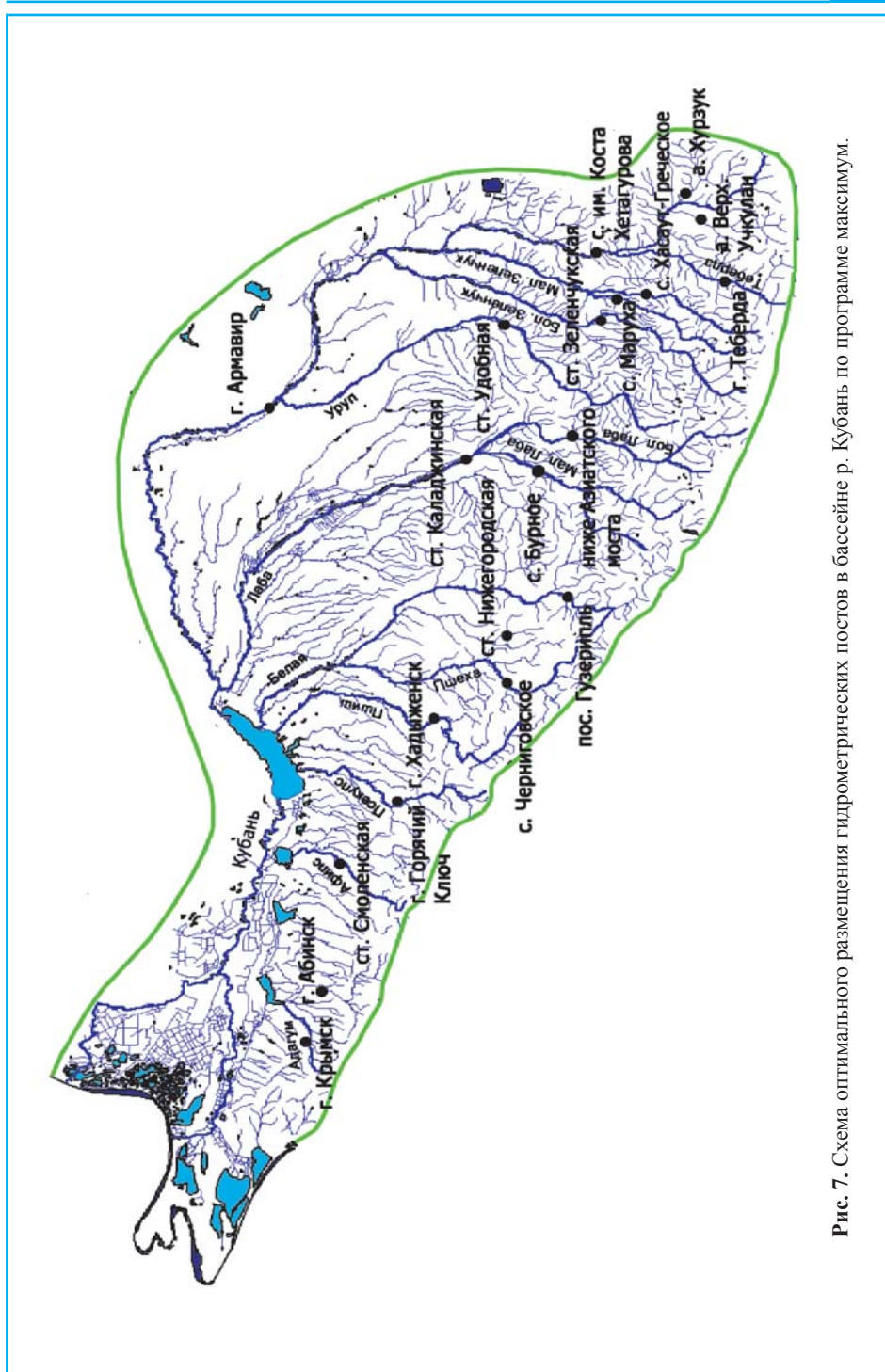


Рис. 7. Схема оптимального размещения гидрометрических постов в бассейне р. Кубань по программе максимум.

Заключение

Таким образом, для рек Северного Кавказа предложены рекомендации по совершенствованию системы мониторинга наиболее опасного проявления гидрологического режима рек – экстремально высоких половодий и паводков. В качестве главного направления выделена оптимизация сети гидрологических наблюдений, включая порядок этих наблюдений, количество и расположение гидрометрических постов. Поступающие с этих постов данные образуют информационную базу, на которой основано большинство применяемых в нашей стране методик прогноза высокого стока. Оптимизация системы гидрологических наблюдений представляется наиболее эффективным средством увеличения точности и заблаговременности прогнозов опасных половодий и паводков. Ее реализация будет способствовать повышению возможностей оперативного оповещения об их угрозе и организации мероприятий по защите от них населения и хозяйственных объектов. Предлагаемые принципы и рекомендации реализованы для рек Северного Кавказа. Для бассейнов рек Кубань и Терек получены два варианта оптимизации сети гидрометрических наблюдений – программа минимум и программа максимум. Выбор одного из этих вариантов или реализация некоторого промежуточного варианта будут определяться планами экономического и социального развития данного региона.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лурье П.М., Панов В.Д., Ткаченко Ю.Ю. Река Кубань. Гидрография и режим стока. СПб.: Гидрометиздат, 2005. 499 с.
2. Лурье П.М. Водные ресурсы и водный баланс Кавказа. СПб.: Гидрометиздат, 2002. 500 с.
3. О последствиях проливных дождей в Южном Федеральном округе // Экология и жизнь. 2002, № 4. С. 54.
4. Руководство по гидрологическим прогнозам. Вып. 2, Краткосрочный прогноз расхода и уровня воды на реках. Л.: Гидрометиздат, 1989. 249 с.
5. Аполлов Б.А., Калинин Г.П., Комаров В.Д. Курс гидрологических прогнозов. Л.: Гидрометиздат, 1974. 419 с.
6. Христофоров А.В., Юмина Н.М., Кириллов А.В., Рец Е.П. Прогнозирование стока рек Терского бассейна // Водное хозяйство России. Екатеринбург: изд-во РосНИИВХ. 2007. Т. 7. № 4. С. 25–37.
7. Юмина Н.М., Куксина Л.В. Прогнозы и расчеты рек в бассейне Кубани // Вестник МГУ. Сер. 5. География. 2011. № 1. С. 55–59.

Сведения об авторах:

Юмина Наталья Михайловна, к. г. н., младший научный сотрудник, кафедра гидрологии суши, географический факультет, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова (МГУ), 119991, ГСП-1, Ленинские горы, д. 1; e-mail: yuminanm@mail.ru

Рец Екатерина Петровна, аспирантка кафедры гидрологии суши, географический факультет, МГУ, 119991, ГСП-1, Ленинские горы, д. 1; e-mail: retska@mail.ru