

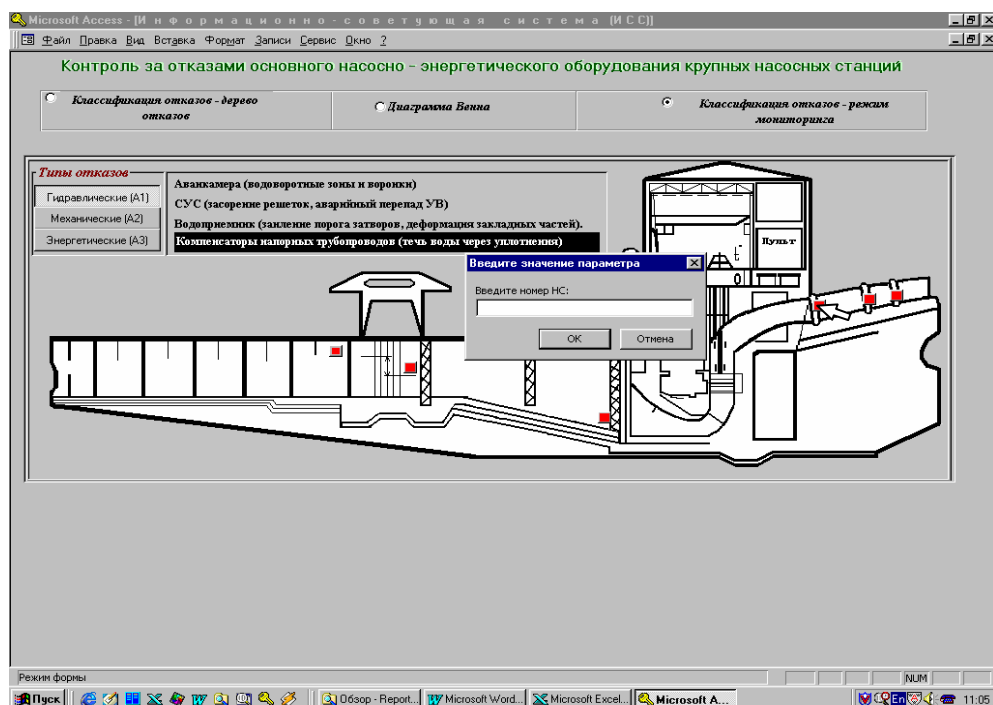


Рис. 6  
Выбор пункта «классификация отказов – режим мониторинга»

## Литература

1. Мирцхулаева Ц.Е. О надежности крупных каналов. Гидротехника и мелиорация, №5, 1980.
2. Зотов В.М. Анализ состояния оборудования ГЭС России и меры по сохранению его работоспособности. Гидротехническое строительство, №11, 1999.
3. Генеральная схема развития орошаемого земледелия и водного хозяйства республики Узбекистан на период до 2015 года. Сводная записка, Ташкент, 2002 г.
4. Гловацкий О.Я. Улучшать эксплуатацию насосных станций. Сельское хозяйство Узбекистана, № 10, Ташкент 1982.
5. Гловацкий О.Я. Совершенствовать эксплуатацию насосных станций. Сельское хозяйство Узбекистана, №12, 1992.

## МЕТОДЫ ПРОГНОЗА РЕЖИМА ПРИРОДНЫХ ВОД

В.Е. Чуб, Н.А. Агальцева, С.В. Мягков

Среднеазиатский научно-исследовательский гидрометеорологический институт  
(САНИГМИ)

### Введение

Устойчивое развитие государства требует рационального использования ограниченных ресурсов пресной воды. Однако водные ресурсы нельзя использовать рационально, не зная, где и в каком количестве они находятся, и какого они качества, а также какова их вероятная изменчивость в обозримом будущем.

Предоставление такой информации на регулярной основе является сложной и важной проблемой и представляет интерес для широкого круга потребителей в сфере водного хозяйства и других отрас-

лей экономики.

Использование водных ресурсов является сложным процессом принятия решений и при этом существенно важен комплексный междисциплинарный подход. Спрос на водные ресурсы формируется потреблением на производство продовольствия, на бытовые нужды и промышленную деятельность, на производство гидроэнергии и сохранение экосистем. Спрос неизменно повышается в целях удовлетворения нужд растущего населения и повышения уровня жизни. В свою очередь водное хозяйство и другие отрасли экономики предъявляют высокие требования к гидрологической науке и особенно к гидрологическому прогнозированию.

### **Научно-методическая база прогнозов стока горных рек**

Гидрологические прогнозы в самом общем понимании представляют собой предвычисление с той или иной заблаговременностью различных элементов гидрологического режима, основанное на знании закономерностей развития природных процессов, определяющих соответствующие явления в конкретных физико-географических условиях.

Характер гидрологического режима и изменчивость его элементов непосредственно связаны с климатом и изменчивостью погодных условий на территории речных бассейнов. В силу этого в гидрологии приходится использовать данные гидрометеорологических наблюдений непосредственно в природе. Основные метеорологические элементы (осадки, температура воздуха) в определенных масштабах времени носят характер стохастических переменных и обуславливают аналогичный характер зависящих от них гидрологических характеристик. Это, естественно, отражается на методологии и возможностях гидрологических прогнозов и обуславливает существенную роль в них элемента вероятности.

Научно-методическая база прогнозов стока горных рек в настоящее время пока уступает таковой для равнинных рек. Это связано, прежде всего, с недостатком надежных непосредственных гидрометеорологических наблюдений, а также с особенностями формирования стока в горах, определяемыми климатом, уклонами и высотой земной поверхности.

Различия в методике долгосрочных прогнозов стока горных рек определяются степенью детализации описания учитываемых при составлении прогноза гидрометеорологических процессов и методов расчета накопления и расходования воды на водосборе.

В соответствии с этим методы прогнозов подразделяются на два основных вида:

- регрессионные, реализующие самые простые, линейные (реже нелинейные) соотношения между будущим стоком и одним или несколькими аргументами;
- методы, основанные на математических моделях формирования стока в горах.

Методы прогнозов, относящиеся к первому виду, разрабатываются, как правило, между измеренными на станциях суммами осадков за холодный период со стоком в заданном створе. В качестве характеристики количества осадков нередко используются модульные коэффициенты или “индексы”, а в качестве показателя оставшихся в бассейне на дату составления прогноза запасов воды в снежном покрове применяют, например, отношение расходов воды за предшествующий период к средней температуре воздуха за тот же период. В настоящее время статистические методы широко используются в практике гидрологических прогнозов, хотя наряду с неоспоримыми положительными качествами, такими как сравнительная простота применения, небольшой набор необходимых для прогнозов данных, они несвободны от некоторых недостатков.

Поиск новых способов решения задач прогнозирования стока обусловлен недостаточной точностью традиционных статистических способов и существованием ряда преград на пути их совершенствования. Это – прежде всего, дефицит информации и принципиально ограниченная возможность отображения сложной динамики природных процессов статистической связью.

Поэтому второй вид прогнозов включает методы, основанные на решении уравнений баланса влаги и тепла для горного бассейна, а также на моделях формирования талого и дождевого стока в горах. Применение современных ЭВМ, ГИС и спутниковой информации позволяет производить сложные расчеты стокоформирующих процессов, с учетом количества, распределения по площади и высоте запасов воды в снежном покрове.

В САНИГМИ накоплен большой опыт по разработке методов прогноза стока различной заблаговременности и использованию их в оперативной гидропрогностической практике.

Разработаны и используются в оперативной практике различные методы краткосрочных, долгосрочных и сверхдолгосрочных прогнозов, основанные на статистическом подходе и математических моделях.

Однако, в настоящее время использование многих методов невозможно из-за отсутствия или недостатка исходной информации с метеостанций в зоне формирования стока за пределами Республики Узбекистан и отсутствия данных в прогнозных пунктах, в краткосрочных прогнозах – данных радиозондирования атмосферы на территории Центральной Азии.

### **Методы долгосрочного прогноза стока**

Долгосрочные прогнозы стока всегда были приоритетным направлением в прогнозировании стока, так как именно они обеспечивают информацией такие важные народнохозяйственные отрасли, как орошаемое земледелие и гидроэнергетика.

Современные методы долгосрочных прогнозов стока основаны на следующих методических подходах:

- статистическом - множественная регрессия;
- на использовании математических моделей.

Информационная база исходной необходимой для прогнозирования информации включает следующие основные характеристики:

- сток, предшествующий сроку выпуска прогноза,
- накопление осадков на дату выпуска прогноза,
- температура воздуха предшествующего периода и на период заблаговременности прогноза,
- информация ИСЗ о заснеженности горной территории бассейна реки,
- оценка снегозапасов по данным авиационных наблюдений и декадных и маршрутных снегосъемок на дату составления прогноза и другие

Остановимся более подробно на некоторых методах, основанных на вышеперечисленных подходах.

### **Автоматизированная система долгосрочных прогнозов стока АИСГП**

Наиболее перспективным направлением развития прогнозирования стока является использование математических моделей, которые описывают физические процессы, происходящие на водосборе [1].

Неоспоримыми преимуществами модельных методов прогнозов являются:

- большая физическая обоснованность, описываемых процессов и явлений;
- возможность их использования в условиях дефицита информации;
- возможность использования более коротких рядов наблюдения за факторами стока.

Специфика гидрологического прогнозирования предъявляет к математическим моделям определенные требования. Они должны включать как можно меньшее число плохо прогнозируемых метеорологических величин, быть не очень чувствительными к погрешностям исходных данных и легко настраиваться на изменение объема входной информации. Использование ограниченной и не очень надежной информации может привести к снижению точности расчетов, которая может оказаться недостаточной для обеспечения эффективности прогноза. Некоторой компенсацией в этом случае является возможность оперативной корректировки прогноза за счет непрерывного поступления информации о прогнозируемой величине, которую гидролог-прогнозист может делать с использованием различных субъективных способов.

Разработанная в САНИГМИ методика долгосрочного прогнозирования стока горных рек основана на использовании детерминированной математической модели и включает описание процесса снегонакопления в горах, таяния снежного покрова, формирования талого и дождевого поступления, расчет стока с ледников и трансформацию всех видов поступления в сток в замыкающем створе [2-6].

Метод предназначен для прогнозирования вегетационного стока (среднего за сезон с распределением по месяцам) горных рек в стандартные сроки выпуска прогноза с возможностью их уточнения, с заблаговременностью от 1 до 6 месяцев. Прогнозируемый сток рассчитывается с декадным шагом и

может эффективно уточняться и корректироваться текущей гидрометеорологической информацией по мере сдвиги сроков выпуска прогнозов.

В качестве исходных данных используется стандартная гидрометеорологическая информация – осадки, температура, влажность воздуха, расходы воды в замыкающих створах рек, а также физико-географические характеристики бассейна. На период заблаговременности прогноза задаются климатические оценки метеозадающих элементов или долгосрочный прогноз аномалий температуры воздуха и осадков.

В настоящее время в систему прогнозирования включены основные гидрологические районы в бассейнах рек Сырдарьи и Амударьи:

- Чирчик – Ахангаранский (река Пскем, Чаткал, Ахангаран, Угам, приток в Чарвакское водохранилище);
- Алайский хребет, северный склон (реки Тар, Куршаб, Сох, Исфайрам, Исфара, Шахимардан, Акбура),
- Ферганский хребет (юго-западный склон), (реки Каракульджа, Яссы, Кугарт, Тентяксай);
- правые притоки Сырдарьи, (реки Гавасай, Чадак, Падшаата);
- Бассейн реки Зеравшан,
- Бассейн реки Вахш (приток в Нурекское водохранилище),
- Бассейн реки Пяндж,
- Бассейн реки Кафирниган.

Для практического использования модельного комплекса формирования стока и выпуска долгосрочных прогнозов создана автоматизированная система гидрологических расчетов и прогнозов (АИСГП) (рис.1).

В состав АИСГП входят следующие разделы:

- *база гидрометеорологических данных (БГМД)*, представляющая структурно-организованную совокупность информационных объектов для сбора, хранения гидрометеорологических и физико-географических данных, необходимых для достижения поставленной цели обработки;
- *программно-алгоритмическое обеспечение (ПО)*, составляющее основное ядро (базис) системы, функционально-ориентированная совокупность программных элементов (модулей).

В методах прогнозов используется стандартная гидрометеорологическая информация, поступающая в ГМЦ с сети станций и постов, многие из которых расположены за территорией Республики Узбекистан в зоне формирования стока рек Амударья и Сырдарья.

В связи с сокращением наблюдательной сети, особенно по территории Киргизии и Таджикистана, в настоящее время методы прогнозов по ряду гидрологических бассейнов системы АИСГП не обеспечены информацией. Только по трем гидрологическим районам Чирчик-Ахангаранскому, правым притокам реки Сырдарьи и рекам севера Ферганской долины в настоящее время поступает достаточное для прогнозирования стока количество информации. Особую ценность метод представляет в период апрель-июнь для расчета притока в Чарвакское водохранилища, для расчета оптимального наполнения водохранилища до проектной отметки.

### **Статистические методы долгосрочного прогноза стока**

Статистические методы долгосрочного прогноза стока основаны на уравнениях множественной регрессии, где в качестве предикторов используются данные о накоплении осадков на период прогноза для бассейнов горных рек, а также температура воздуха за предшествующий период и данные декадных и маршрутных снегоисчислений.

Остановимся на некоторых из них. Методы долгосрочного прогноза стока рек Вахш (гп. Комсомолабад) и Зеравшан (гп. Дупули) на июль-сентябрь основаны на предложении раздельного прогнозирования ледниковой и снеговой составляющих общего стока. [7].

Еще одну группу статистических методов представляют методы долгосрочного прогноза стока рек стекающих с северного склона Алайского хребта (реки Шахимардан, Сох, Исфара). Они основаны на использовании статистических связей между величинами стока и некоторыми гидрометеорологическими характеристиками на гляциологическом стационаре «Ледник Абрамова». Аналогичный подход использован для статистического метода долгосрочного прогноза стока для реки Вахш пост Комсомолабад.

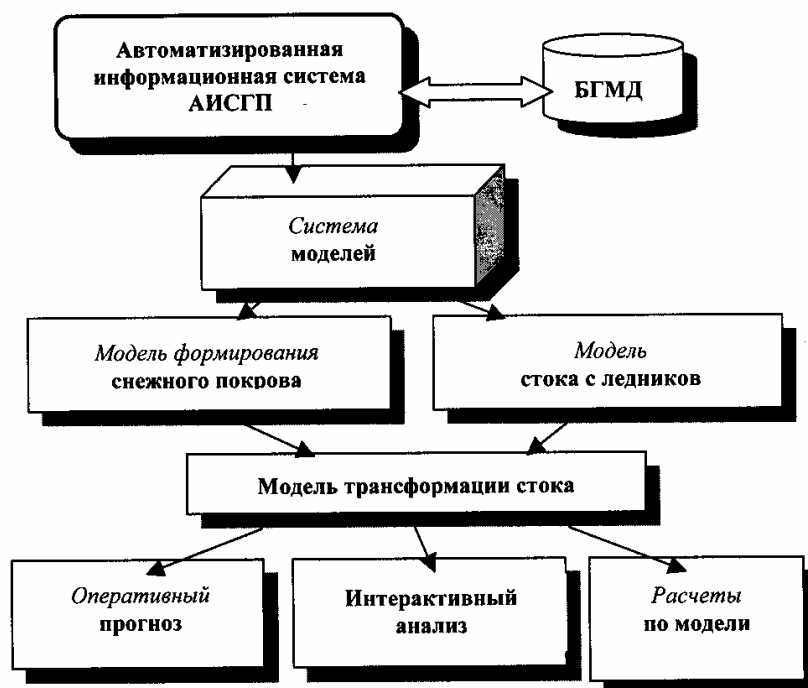


Рис. 1

Структура автоматизированной информационной системы (АИСГП)

Метод прогноза притока воды в Андижанское водохранилище позволяет прогнозировать приток в различные периоды года [8].

Метод долгосрочного прогноза стока реки Амударьи в створах п.Керки и п.Дарганата с учетом хозяйственной деятельности предназначен для прогнозирования вегетационного стока (среднего за сезон и по месяцам) в стандартные сроки выпуска прогнозов. Методической основой прогноза являются уравнения зависимости стока реки Амударьи в створах п.Керки и п.Дарганата от суммы зимних осадков в верховьях бассейна реки Амударьи [9].

Общим недостатком методов основанных на статистической технологии является отсутствие «гибкости», так как статистические зависимости представляют собой некоторый перекидной мостик от предиктора к предиктанту, и отсутствие выбранного предиктора приводит к невозможности использования прогностического метода.

Прекращение наблюдений на некоторых высокогорных станциях таких как «Ледник Федченко», «Ледник Абрамова», «Чаарташ» и ряде других существенно усложнило ситуацию с использованием многих методов.

### Методы сверхдолгосрочного прогноза стока

Методы сверхдолгосрочного прогноза стока предполагают возможность его прогнозирования с заблаговременностью 1 год и более.

В основе сверхдолгосрочных прогнозов используется разные подходы к прогнозу стока. Один из них использует в качестве исходной информации осредненные значения приземных температур воздуха и давления в узлах сетки северного полушария с соответствующей заблаговременностью. Полученные уравнения для расчета притока воды в Чарвакское и Андижанское водохранилища и стока реки Зеравшан прогнозируют сток с заблаговременностью 8, 6, 7 лет соответственно [10].

Прогноз притока в Чарвакское водохранилище с заблаговременностью от 1 до 5 лет осуществляется по связям притока с поступлением талой и дождевой составляющей на водосбор, по связи притока с суммарной величиной поступления, по связям с осадками за холодный и теплый период года. В свою очередь каждая из этих величин прогнозируется по макрометеопредикторам.

Для прогноза притока в Токтогульское, Андижанское и Чарвакское вдхр. в качестве предикторов используются осредненные среднегодовые значения приземных температур воздуха и приземного давления в узлах географической сетки Северного полушария.

### **Методы краткосрочного прогноза стока**

Методы краткосрочных прогнозов стока, заблаговременностью до 10 суток разработанные для реки Зеравшан и среднего течения Амударьи, основаны на использовании аэросиноптической информации. Для Амударьи проблема краткосрочного прогноза стока представляет собой чрезвычайно трудную задачу по ряду причин: из-за неустойчивости русла, больших водозаборов, неучтенных возвратных вод, системы водохранилищ, отсутствия информации о стоке рек Кокча и Кундуз берущих свое начало на территории Афганистана и ряда других мелких причин.

Для получения прогностических уравнений была использована пошаговая множественная регрессия, позволяющая выбрать наиболее информативные предикторы с одновременным построением прогностических уравнений.

В качестве исходной информации используются термогигрометрические характеристики теплой и холодной воздушной масс и высота нулевой изотермы (для периода июль-август). В архив предикторов включены наряду с гидрометеорологическими термогигрометрические характеристики теплой и холодной воздушных масс на изобарических поверхностях 850, 700, 500 гПа.

Методы краткосрочного прогноза стока рек стекающих с северного склона Алайского хребта (реки Шахмардан, Сох, Исфара), а также реки Зеравшан, ст. Дупули основаны на использовании математической модели с учетом времени добегания. Исходными данными для этих методов служат следующие данные: среднесуточная температура воздуха, суточные суммы осадков на гляциологическом стационаре «Ледник Абрамова» и значения площадей оледенения бассейнов рек по высотным зонам.

Метод краткосрочного прогноза притока в Чарвакское водохранилище. Заблаговременность метода от одних суток до десяти суток. В качестве базовой модели использована математическая модель с учетом времени добегания. Исходными данными для этого метода служат следующие данные: среднесуточная температура воздуха, суточные суммы осадков по метеорологической станции Пскем и данные о заснеженности бассейна Чарвакского водохранилища по высотным зонам. Данные о заснеженности получены путем обработки цифровой спутниковой информации с метеорологических спутников серии NOAA [11].

В настоящее время разработаны и используются в практике методы краткосрочных прогнозов стока, основанные на использовании спутниковой информации о заснеженности горной территории (SRM)

### **Заключение**

Из выше сказанного очевидно, что для решения гидропрогностических задач чрезвычайную важность представляет расконсервация метеорологической станции на леднике Федченко (Таджикистан) и восстановление стационара САНИГМИ на леднике Абрамова (Кыргызстан) и придание им статуса международных станций, в работе которых могли бы участвовать все гидрометры Средней Азии.

Для повышения качества прогнозов стока вегетационного периода необходимы данные о снегонакоплении в зонах формирования стока. Эти данные могут быть получены совместным использованием наблюдений высокогорных и среднегорных метеорологических станций, а также результатов дистанционного зондирования (вертолетные наблюдения за высотой снежного покрова по дистанционным рейкам, площадь заснеженности по высотным зонам и речного бассейна в целом по данным спутниковой информации среднего и высокого разрешения) [12-13].

В настоящее время наиболее реальным остается использование цифровой спутниковой информации со спутников NOAA с применением программ ее обработки, предоставленных Швейцарией. Апробация их проведена по ряду гидрологических бассейнов. Необходимо расширить определение площадей заснеженности по зонам формирования стока всех основных бассейнов Сырдарьи и Амударьи.

Для обеспечения первоочередных информационных потребностей гидропрогнозирования необходимо:

- поддержка работы ограниченного числа опорных метеостанций;
- широкое использование радиолокационной и спутниковой информации;

- усовершенствование системы сбора, обработки и распространения первичной гидрометеорологической информации;
- включение бассейна Аральского моря в программу глобальной сети измерений характеристик гидрологического цикла в соответствии с проектами, выполняемыми под эгидой ВМО, ЮНЕСКО и др.
- необходимо, по возможности, сохранять сложившуюся к настоящему времени наблюдательную сеть гидрометеорологических станций;
- основным при реорганизации сети на сегодняшний день считать метод экспертных оценок необходимости данного пункта наблюдений;
- в случае сокращения сети безусловно нельзя закрывать станции:
  - имеющие длительные ряды наблюдений;
  - ведущие наблюдения по широким многоцелевым программам;
  - не имеющие близко расположенные в сходных условиях соседние станции;
- необходимо предварительно учитывать последствия в освещении территории данными при закрытии станции;
- при открытии новых станций и постов следует, прежде всего, выяснить мнение потребителей метеорологической информации и определить потребность в ней вблизи региона предполагаемых станций и постов.
- при организации станций в горах следует придерживаться рекомендаций по репрезентативности данного пункта наблюдений.

Помимо получения текущей информации силами всех НГМС среднеазиатского региона необходимо создать общий банк гидрометеорологических данных.

Для успешного решения гидропрогностических задач наряду с созданием наблюдательной сети оптимальных размеров, удовлетворяющей интересы всех республик условиях необходимо:

- содействовать международному обмену гидрологическими данными и продукцией в особенности для стран, которые совместно используют речные бассейны;
- следует уделять большую роль вопросам снижения риска и угрозы паводков и засух и оценке водных ресурсов и их качества для устойчивого развития;
- развивать гидрологические прогнозы и предупреждения, как в естественных условиях, так и в аварийных вариантах;
- развивать методы применения связанных с водой данных и информации для оценки, эффективного использования и устойчивого развития водных ресурсов, а также защиты общества от стихийных бедствий, вызываемых гидрологическими явлениями;
- уделять особое внимание развитию следующих областей:
  - гидрологические прогнозы и управление водными ресурсами;
  - методы и технологии для прогнозирования засухи и внезапных кратковременных бурных паводков и селей;
  - проверка и экономическая ценность прогнозов;
  - развитие и поддержание наблюдательной сети.

Конечной же целью прогнозирования стока было и остается создание системы непрерывного прогнозирования, которая включает методы сверхдолгосрочного прогноза или предупреждения, методы долгосрочного и среднесрочного прогноза и методы краткосрочного прогноза.

## Литература

1. Боровикова Л.Н., Денисов Ю.М., Трофимова Е.Б., Шенцис И.Д. Математическое моделирование процесса стока горных рек // Тр. САНИГМИ. 1972. – Вып. 61(76). – 152 с.
2. Агальцева Н.А Долгосрочные прогнозы стока малых рек // Тр. САНИГМИ. – 2001. – Вып.163(244). – С.113-122.
3. Агальцева Н.А, Пак А.В. Автоматизированные долгосрочные прогнозы стока горных рек Средней Азии // Вопросы кибернетики. Автоматизированные системы управления технологическими процессами – 1994 – Вып. 150 – С.112-123.
4. Агальцева Н.А Долгосрочный прогноз притока в Нурекское водохранилище на реке Вахш // Тр. САНИГМИ. – 1996. Вып.149 (230). – С. 101-108.
5. Денисов Ю.М, Агальцева Н.А., Пак А.В. Автоматизированные методы прогнозов стока горных рек Средней Азии. – Ташкент: САНИГМИ, 2000. – 160с.

6. Агальцева Н.А., Василина Л.Ю. Долгосрочный прогноз притока воды в Чарвакское водохранилище // Тр. САНИГМИ. – 1992. – Вып.145. – С. 52-58
7. Коновалов В.Г., Карандаева Л.М. Методы и опыт прогнозирования до 2000 года стока по основным рекам Центральной Азии // Тр. САНИГМИ. – 1998. –Вып.157(238). – С.37-48.
8. Гирник Е.И. Метод прогноза притока воды в Андижанское водохранилище на различные периоды года // Труды САНИГМИ. – 1988. – Вып.127(208). С. 3-31.
9. Мягков С.В. Метод долгосрочного прогноза стока реки Амударьи в створах п.Керки и п.Дарганата с учетом хозяйственной деятельности // Руководящий документ. Методические указания. РН 68.02.07:2001. – Ташкент : САНИГМИ. – 2001. – 15 с.
10. Коновалов В.Г., Карандаева Л.М. Methods and Experience of forecasting of an annual runoff on the basic rivers of Central Asia until year 2000 // Proceedings of the International Conference on World Water Resources at the Beginning of the 21 st Centurg (UNESCO, Paris, France, 3-6 June,1998). IHP-V, Ttchnical Documents in Hydrology, NO 18.
11. Перцигер Ф.И., Яковлев А.В. Использование спутниковой информации и геоинформационных систем для моделирования притока в Чарвакское водохранилище // Бюллетень ГКНТ. – 2001. - №3-4. – С.78-86.
12. Чуб В.Е. Изменение климата и его влияние на природно-ресурсный потенциал Республики Узбекистан. – Ташкент : САНИГМИ, 2000. – 252 с.
13. Чуб В.Е., Иванов Ю.Н. Современное состояние гидрометеорологической сети Центральной Азии // Проблемы бассейна Аральского моря (исследования, проекты, предложения). Тр. Международ. техн. встречи по проблемам бассейна Аральского моря. – Ташкент, 1998. –С.26-30.

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ДРЕНАЖНО-СБРОСНЫМ СТОКОМ С УЧЕТОМ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ТРЕБОВАНИЙ В БАСЕЙНЕ Р. СЫРДАРЬИ

А.М. Ганиев

САНИИРИ им. В.Д. Журина

В едином речном бассейне, как в живом организме, существует неразрывная связь между ирригационно-мелиоративными мероприятиями и русловыми процессами. Наличие данной связи подтверждается эмпирическими зависимостями, выявленных на основе регрессионно-корреляционного анализа многолетних (1985-2000 гг.) статистических рядов гидрологических наблюдений и водохозяйственных мероприятий в разрезе вилоятов Узбекистана, находящихся в бассейне р. Сырдарья (табл. 1).

Таблица 1

Функциональные зависимости дренажно-сбросного стока от водозабора по вилоятам бассейна р. Сырдарьи

| № п/п | Вилоят        | Функциональные уравнения связи          | Коэффициент корреляции |
|-------|---------------|-----------------------------------------|------------------------|
| 1     | Андижанский   | $D_{\text{кдс}} = 18.475 \exp(0.0014V)$ | 0.845                  |
| 2     | Ферганский    | $D_{\text{кдс}} = 499.914 + 0.386 V$    | 0.943                  |
| 3     | Наманганский  | $D_{\text{кдс}} = 1.243 V - 1903.322$   | 0.979                  |
| 4     | Ташкентский   | $D_{\text{кдс}} = 0.908 V - 1258.62$    | 0.988                  |
| 5     | Сырдарьинский | $D_{\text{кдс}} = 601.59 - 0.383 V$     | 0.847                  |
| 6     | Джизакский    | $D_{\text{кдс}} = 0.689 V - 773.37$     | 0.922                  |

где:  $D_{\text{кдс}}$  – объем дренажно-сбросного стока, млн.м<sup>3</sup>

$V$  – водозабор на орошение, млн.м<sup>3</sup>.

В связи с тем, что функциональная зависимость  $D_{\text{кдс}} = f(V)$  носит в основном линейный характер, (за исключением Андижанского вилоята, где данная зависимость имеет экспоненциальный ха-