

6
А-52

АКАДЕМИЯ НАУК УЗБЕКСКОЙ ССР
ОБЪЕДИНЕННЫЙ УЧЕНЫЙ СОВЕТ ПО ТЕХНИЧЕСКИМ НАУКАМ

На правах рукописи

АБЫЛ ДЖУМАЕВ

ИССЛЕДОВАНИЯ И РАСЧЕТЫ СТОКА ВЗВЕШЕННЫХ
НАНОСОВ ГОРНЫХ РЕК СЕВЕРНОЙ КИРГИЗИИ

05.14.09 — гидравлика и инженерная гидрология

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Ташкент 1973

АКАДЕМИЯ НАУК УЗБЕКСКОЙ ССР
ОБЪЕДИНЕННЫЙ УЧЕНЫЙ СОВЕТ ПО ТЕХНИЧЕСКИМ НАУКАМ
ОТДЕЛЕНИЯ МЕХАНИКИ И ПРОЦЕССОВ УПРАВЛЕНИЯ

На правах рукописи

АБЫЛ ДЖУМАЕВ

ИССЛЕДОВАНИЯ И РАСЧЕТЫ СТОКА ВЗВЕШЕННЫХ НАНОСОВ
ГОРНЫХ РЕК СЕВЕРНОЙ КИРГИЗИИ

05.14.09 - гидравлика и инженерная гидрология

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Ташкент 1973

627.1

A52

Работа выполнена в секторе гидрологии ордена Трудового
Красного Знамени института геологии АН Киргизской С С Р.

Научные руководители: кандидат географических наук
М.А.МУЗАКБЕВ,
кандидат технических наук, доцент
И.А.БУЗУНОВ.

Официальные оппоненты: доктор технических наук
Ю.М.ДЕНИСОВ,
кандидат технических наук
В.П.СВЕТИЦКИЙ

Ведущее предприятие - Киргизский государственный
проектный институт
"КИРГИЗГИПРОВОДХОЗ".

Автореферат разослан 17 августа 1973 г.

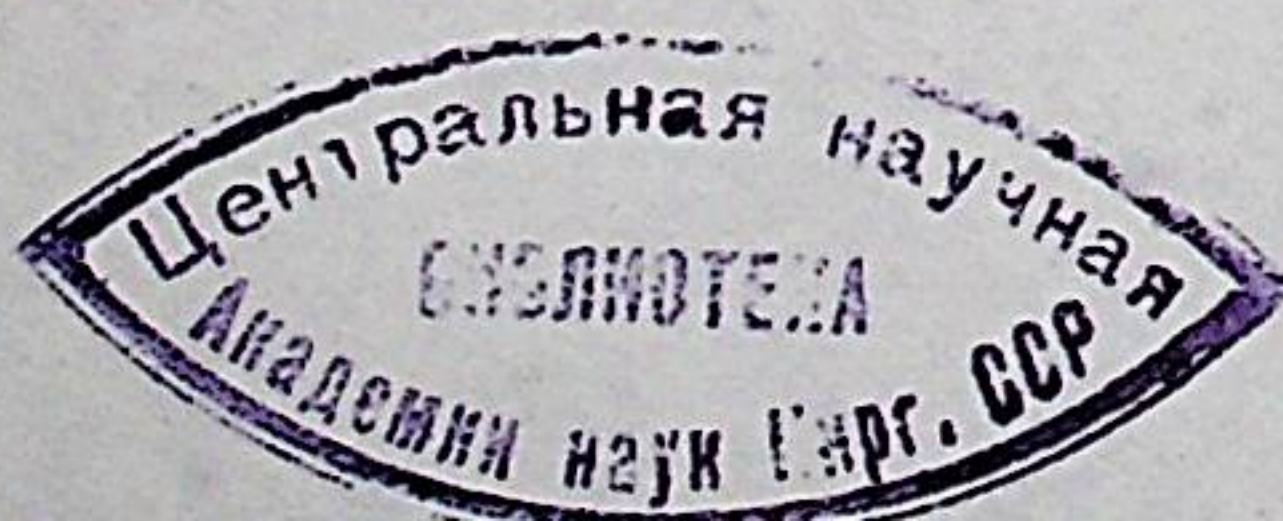
Защита состоится 18 сентября 1973 г. в 14 часов на
заседании Объединенного Ученого Совета по техническим наукам
Отделения механики и процессов управления Академии Наук Узбек-
ской ССР в конференц-зале Института механики и сейсмостойкости
оборужений АН УзССР (г.Ташкент, Академгородок).

С диссертацией можно ознакомиться в фундаментальной биб-
лиотеке АН Узбекской ССР (г.Ташкент, ул.Тукаева, 1).

Ваши отзывы и замечания на автореферат в двух экземплярах,
заверенные печатью учреждения, просим направлять по адресу:
700000, г.Ташкент, ГСП, ул.Гоголи, 70.

УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ СОВЕТА,
доктор технических наук,
профессор

/Т.Р.РАШИДОВ/



В В Е Д Е Н И Е

Вопрос о стоке наносов горных рек относится к одному из
трудных и слабо еще освещенных разделов горной и инженерной ги-
дрологии. Это объясняется сложностью процесса формирования и
транспорта наносов в горной местности-процесса, определяемого
множеством природных факторов, резко различающихся в разных ра-
йонах, что и обуславливает необходимость выявления региональных
закономерностей образования стока наносов в горных условиях.

Исследуемый нами район охватывает Северную Киргизию со
входящими в нее бассейнами озера Иссык-Куль и рек Чу и Талас;
общая площадь его около 56 000 кв. км, что составляет более
четверти всей территории республики.

В экономике Киргизской ССР реки ее северной части играют
весьма важную роль. Они служат для орошения, являются основными
источниками водоснабжения и энергетики. За последние годы на
севере Киргизии построено много каналов, водохранилищ, прудов,
значительно расширена оросительная сеть, что существенно способ-
ствовало увеличению сельскохозяйственного, а также промышленного
производства.

Дальнейшие перспективы экономического развития Северной
Киргизии тесно связаны с проблемой более полного использования
ее естественных ресурсов, в том числе и водных. В этом плане
всестороннее изучение гидрологического режима рек и, в частности,
режима стока взвешенных наносов имеет большое народнохозяйствен-
ное значение. Следует отметить, что сток наносов рек рассматри-
ваемой нами территории изучен еще недостаточно.

Укажем, что в настоящее время отсутствуют расчетные зави-
симости по оценке среднегодовых и сезонных величин
стока взвешенных наносов для неизученных и слабоизученных рек
Севера Киргизии. Имеющиеся карты мутности (Кузнецова, 1964 и др.)
во многих случаях дают систематически повышенное или заниженное
значение наносов, что обусловлено самим принципом построения
таких карт.

Литературные сведения о наносах рек Северной Киргизии (Допатин, 1947; Кабанова, 1952; Шамов, 1954; Кузнецова, 1964; Шульц, 1965; Иверонова, 1968; Щеглова, 1968, 1972; Артамонов и Крошкин, 1972) не могут дать более или менее достаточного решения рассматриваемого вопроса.

Поэтому, исходя из вышеуказанного, основной целью настоящей работы ставились установление взаимосвязей между стоком взвешенных наносов и главными определяющими его физико-географическими факторами и разработка на их основе способа приближенной оценки элементов среднегодовой и сезонных величин стока взвешенных наносов для неизученных и слабоизученных рек горной части исследуемого района.

Поставленные задачи решались путем анализа процессов формирования стока взвешенных наносов и обобщения данных по физико-географическим характеристикам речного бассейна с использованием при разработке методов математической статистики. Для этого потребовалось выполнение большого объема вычислений. Ввиду громоздкости и сложности расчетов, связанных с применением методов математической статистики, в частности-множественной корреляции, большинство их выполнено с помощью ЭВМ "Минск-22".

Исследования базируются на данных наблюдений УГМС Киргизской ССР и других производственных организаций ("Гидроэнергопроект", "Киргизгипроводхоз"), а также полевых работ автора, проведенных в 1968-1972 гг.

Результаты исследований изложены в ряде опубликованных статей и докладов автора (1-6). К диссертации, состоящей из 4-х глав, 17 таблиц и 16 рисунков, приложены: списки использованной литературы, включающий 120 наименований работ советских и зарубежных авторов; список гидрологических постов, учитывавших количество стока взвешенных наносов; таблица среднегодовых расходов воды и взвешенных наносов, а также таблицы, показывающиеся пределы применимости ряда зависимостей.

Глава I. ФОРМИРОВАНИЕ СТОКА ВЗВЕШЕННЫХ НАНОСОВ ГОРНЫХ РЕК СЕВЕРНОЙ КИРГИЗИИ

Факторы формирования стока наносов. В начале этой главы рассматриваются ос-

новные факторы развития водноэрозийных процессов, к которым относятся факторы климатические, морфометрические и морфологические, почвенно-геологические и антропогенные, а также роль растительного покрова.

Насыщенность речного потока наносами представляет собой интегральное выражение эрозийной деятельности поверхностного стока в бассейне данной реки, который многогранно связан с физико-географическими условиями. Таким образом, значение стока наносов определяется комплексом природных условий бассейна, но степень влияния отдельных факторов неодинакова для различных частей земной поверхности. Показать роль того или иного фактора в отдельности довольно трудно, так как все они (факторы) находятся в тесной взаимосвязи и взаимообусловлены. Например, интенсивность эрозийных процессов зависит не только от количества поверхностного стока, который в свою очередь обуславливается, главным образом, климатическими и почвенно-геологическими условиями, но и от его транспортирующей способности, зависящей в основном от степени уклонов склона и русла и т. д.

Влияние того или иного фактора в количественном отношении и в неискаженном (чистом) виде можно определить лишь в экспериментальных условиях и нельзя в условиях естественных; поэтому нами, с использованием результатов теоретических и экспериментальных исследований советских и зарубежных ученых по изучению влияния физико-географических факторов, охарактеризована роль ряда их в формировании стока взвешенных наносов.

Формирование стока взвешенных наносов горных рек Северной Киргизии. О.П.Щеглова отмечает, что "сток взвешенных наносов формируется в той же горной части территории Средней Азии, которая является областью питания ее рек" (1968).

Общезвестно, что основная часть стока воды в условиях горных районов Средней Азии формируется в ее горной части

(Шульц, 1965; Михайлова, 1967; Музакиев, 1967; Большаков и Михайлова, 1968; Щеглова, 1968; Большаков, 1971).

Как показывают исследования последних лет, выполненные главным образом Киргизским научно-исследовательским институтом водного хозяйства в экспериментальном речном бассейне р. Чон-Кызыл-Суу, внутри горных поднятий, или в области образования стока воды (по Шульцу), в зависимости от интенсивности поступления воды в русловую сеть могут быть выделены три зоны: высокогорная, среднегорная и низкогорная. Роль их в формировании стока воды различна. Так, высокогорная зона, или, как ее называют М.Н. Большаков и В.И. Михайлова (1968), "активная", располагаясь в среднем выше отметки 3300 м над уровнем моря (в условиях р. Чон-Кызыл-Суу), дает от 81 до 89 % годового стока; из среднегорной зоны, занимающей площадь водосбора, расположенную между высотами 2500 и 3300 метров, поступает от 11 до 19 %, а из низкогорной, расположенной ниже 2500 м, — от 0 до 2 % годового стока. Последние исследования М.Н. Большакова (1970, 1971) показали, что эта закономерность применима и к другим рекам Тянь-Шаня, в частности и Северной Киргизии.

Таким образом, область питания горных рек Северной Киргизии является ее высокогорная часть. Следовательно, можно предполагать, что и сток наносов формируется здесь в высокогорной, или "активной", зоне.

Многочисленные полевые и теоретические исследования многих ученых (Щеглова, 1968; Иверонова, 1968; Садыков, 1970, и др.), а также произведенный нами анализ формирования стока взвешенных наносов горных рек рассматриваемого района свидетельствуют о правильности вышеуказанной закономерности. Кроме того, результаты полевых работ автора лишней раз подтвердили, что основная масса стока взвешенных наносов на реках с ледниково-снеговым и снегово-ледниковым питанием формируется в высокогорной части бассейна.

Анализ материалов наблюдений показывает, что в высокогорной части бассейна в общем виде с увеличением стока воды возрастает и сток взвешенных наносов. Но на разных высотах в зависимости от морфометрических, геологических и других условий этот процесс происходит не в одинаковой степени интенсивности. Так, например, как показали нами натурные измерения стока взвешенных

наносов р. Барскоон, которая расположена в бассейне оз. Иссык-Куль, от истока до 3350-3300 м над уровнем моря количество наносов интенсивно увеличивается, после чего оно практически остается неизменным или даже несколько уменьшается. Такие же закономерности получены и для ряда других рек изучаемого региона. Это позволяет заключить, что основная масса стока взвешенных наносов на реках с ледниково-снеговым и снегово-ледниковым питанием рассматриваемого района формируется за счет смыва высокогорных частей водосборов.

Отметим, что в данной работе автор не ставит цели произвести оценку генезиса наносов, а стремится дать возможность определения их количественных характеристик. Поэтому, ссылаясь по данному вопросу на известные работы О.П. Щегловой (1968, 1970, 1972), не будем более или менее детально рассматривать генезис наносов.

Глава II. СРЕДНЕМНОГОЛЕТНИЕ РАСХОДЫ СТОКА ВЗВЕШЕННЫХ НАНОСОВ ГОРНЫХ РЕК СЕВЕРНОЙ КИРГИЗИИ

Для выявления региональных закономерностей стока взвешенных наносов необходимо иметь более или менее устойчивые средние величины (нормы), которые характерны для рек данной территории.

В гидрологических расчетах за среднемноголетнее значение стока взвешенных наносов во многих случаях принимается средняя арифметическая величина за период наблюдений (при заданных точностях). Для обеспечения вычисления среднемноголетнего годового стока с заданной точностью необходимо не только взять длительный ряд наблюдений, но и выбрать период для расчетного ряда в многолетнем разрезе так, чтобы он включал в себя несколько (не менее двух) законченных циклов колебаний речного стока (Андреев, Соколовский, Большаков).

Произведенные расчеты и анализы показали, что в условиях рассматриваемой территории при точности среднемноголетнего годового стока взвешенных наносов $\pm 15\%$ за расчетный ряд можно принимать период с 1938 по 1968 год.

Стационарное изучение стока взвешенных наносов в исследуемом районе началось сравнительно недавно. Первый гидрологический пост, учитывающий сток наносов, был открыт в 1911 г. на р. Чу-устье р. Кутемалды, где наблюдения велись несколько месяцев. На об-

талых реках сток взвешенных наносов до 1931 г. совершенно не изучался. Начиная с 1932 г. число постов постепенно возрастает. В 1939 г. их было уже 26. В период Великой Отечественной войны число постов, ведущих учет стока взвешенных наносов, резко сократилось. С 1947 г. происходило расширение сети створов наблюдений за стоком взвешенных наносов, и в 1959 г. число их достигло своего наибольшего значения—34. Всего на Севере Киргизии до конца 1968 г. существовало 67 гидрологических постов, учитывающих величину стока взвешенных наносов, длительность наблюдений которых колеблется от нескольких месяцев до 33 лет (таблица I).

Таблица I

Распределение числа постов по продолжительности наблюдений за стоком взвешенных наносов

| Бассейны | Число лет наблюдений | | | | | | | | Всего |
|------------------|----------------------|-----------|-----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|
| | Год и менее | 2-5 | 6-10 | 11-15 | 16-20 | 21-25 | 26-30 | 30-31 | |
| оз. Иссык-Куль | 2 | 12 | 3 | - | 1 | 2 | 3 | - | 23 |
| р. Чу | 4 | 11 | 8 | 4 | 2 | - | 1 | 4 | 34 |
| р. Талас | - | 2 | 3 | 2 | - | 1 | - | 2 | 10 |
| В с е г о | 6 | 25 | 14 | 6 | 3 | 3 | 4 | 6 | 67 |

Как видно из таблицы I, длительность рядов наблюдений годового стока взвешенных наносов во многих случаях не позволяет определить его среднееголетнее значение, что и указывает на необходимость удлинения рядов наблюдений.

Площади водосборов рек, сток взвешенных наносов которых учитывался, колеблется в очень широких пределах—от 6,25 (Камка-Суу-устье) до 15 800 кв. км (Чу-с. Миланфан).

В современной гидрологической расчетной практике при наличии по какому-либо створу лишь короткого ряда наблюдений удлинение его производят различными способами (по связи средних многолетних среднемесячных расходов воды и взвешенных наносов, по связи средних месячных расходов воды и взвешенных наносов за отдельные месяцы, по связи средних годовых расходов воды и взвешенных наносов, и др.).

Анализ имеющихся способов показал, что наиболее приемлемы

для удлинения рядов наблюдений за стоком взвешенных наносов горных рек рассматриваемой территории является метод связи средних месячных многолетних расходов воды (Q) и взвешенных наносов ($ВН_M$), примененный впервые в 1955 г. Н.И.Маккавеевым. Нами построены связи средних месячных многолетних расходов воды и взвешенных наносов для всех пунктов, где велись наблюдения за стоком взвешенных наносов. Только для р.Красная речка-с. Красная речка и р.Джарды-Камнды-с. Орто-Арм эта связь получилась в виде однозначной кривой, что объясняется особенностью питания этих рек (подземное питание). В остальных случаях связь стоков воды и взвешенных наносов выразилась в виде петли или двух кривых. Образованная двухзначной зависимости обусловлено неравномерным поступлением мелких несвязных частиц, смываемых, главным образом, талыми водами высокогорных сезонных и вечных снегов, ледников и ливневыми дождевыми осадками со склонов долины в русловую сеть. Нижние ветви этих кривых соответствуют общему подъему стока воды и взвешенных наносов, верхняя—спаду.

Преимуществом указанного метода является то, что, применив его, можем получить внутригодовое распределение стока взвешенных наносов и их экстремальные значения, что является важным при проектировании различных гидротехнических сооружений. Отмечая преимущества метода связи среднееголетних среднемесячных величин стоков воды и взвешенных наносов, В.И.Иванов (1967) указывает на их стабильность по положительным и отрицательным отклонениям от фактических значений.

Таким образом, имея данные о среднемесячных расходах воды, мы по графику связи $ВН_M = f(Q_M)$ определили среднемесячные значения стока взвешенных наносов, после чего получили годовые и среднееголетние величины (годового и среднемесячного стока наносов).

Среднееголетние годовые расходы взвешенных наносов данной территории колеблется в очень широких пределах—от 0,01 до 16,2 кг/сек. Наибольшие расходы воды и взвешенных наносов имеют реки восточной части Иссык-Кульской котловины (Теп, Джыргалан, Джеты-Огуз и др.), р.Чон-Кемин и реки междуречья Иссык-Ата и Ала-Арча, минимальные—реки Кочкорской котловины и Таласской долины.

Используя удлиненные ряды, вычислили коэффициенты вариации

годового стока взвешенных наносов. Расчеты показали, что в подавляющем большинстве случаев они колеблются в пределах от 0,4 до 0,8,

Исследование соотношения коэффициентов вариации стока взвешенных наносов и воды $\frac{C_{vн}}{C_{vв}}$ показало, что в условиях горных рек Северной Киргизии это соотношение колеблется от 3,40 до 13,6, составляя в среднем для 12 наиболее изученных (по стоку взвешенных наносов) рек 6,30.

Подготовленные исходные данные послужили основой для обобщений, анализа влияния факторов и создания расчетных зависимостей годового и сезонных величин стока взвешенных наносов.

Отметим, что в дальнейших расчетах оперировали в основном показателями по тем створам, на которых сток воды, а следовательно — и сток наносов искусственно не изменен.

Глава III. СВЯЗЬ ГОДОВОГО СТОКА ВЗВЕШЕННЫХ НАНОСОВ С ПРИРОДНЫМИ ФАКТОРАМИ И СПОСОБЫ ЕГО РАСЧЕТА

Начало этой главы посвящено краткому обзору отечественных и зарубежных исследований по изучению стока наносов, с целью выяснения современного состояния исследований в этой довольно трудной и нужной области инженерной гидрологии. Главное внимание уделено рассмотрению методов расчета стока взвешенных наносов, основанных на обобщении материалов наблюдений, а также на общетеоретических работах.

Вопрос о транспорте наносов, вследствие неуклонного развития судоходства, ирригации, водоснабжения и различного рода водохозяйственного и гидротехнического строительства, с давних пор привлекал и привлекает особое внимание многих ученых и практиков (Ложкин, Лелявский, Глушков, Великанов, Ермазаров, Алтушин, Гостунский, Абальянц, Караушев, Мухамедов и др.). Работы ряда ученых (Великанов, Гончаров, Маккавеев, Караушев, Абальянц) позволили теоретически решить задачу о взвешивании и транспорте наносов в потоке.

Нужды практических расчетов, вследствие трудности оценки стока наносов в естественном состоянии, заставляли решать этот вопрос путем экспериментирования. В этом направлении плодотворно трудятся и трудятся многие советские исследователи (Гончаров,

Великанов и др.). Однако формулы, полученные путем экспериментальных расчетов или же выведенные из теоретических исследований, основанные на транспортирующей способности потока, применительно к горным рекам оказались неудовлетворительными. Эти формулы позволяют определить тот расход наносов, который данный поток может перенести при условии, что в его русле находится ровно столько наносов, сколько этот поток может транспортировать. Но исследованиями многих ученых убедительно доказано, что транспортирующая способность горных рек во много раз превышает фактическую мутность (Шульц, 1965).

Оценка стока наносов оказалась возможной только после того, как стали учитывать природные факторы, влияющие на его формирование. Учет их позволил рассчитывать не транспортирующую способность потока, а количество переносимого им стока наносов.

В целом методы количественной оценки стока взвешенных наносов, основанные на материалах данных фактических наблюдений, можно разделить на две условные группы:

а) методы оценки по картам мутности, интенсивности смыва поверхности водосбора;

б) методы оценки по эмпирическим формулам, выведенным по материалам фактических наблюдений.

Метод построения карты мутности впервые предложен Г.В. Лопатиным в 1939 г. Из карт мутности наиболее известны составленные Г.В. Лопатиным (1939, 1952), Г.Н. Шамовым (1947, 1957) — для территории СССР, В.Л. Шульцем (1947) — для Средней Азии, С.Г. Руотамовым (1960) — для Азербайджана, Я.К. Ковалевым (1966) — для ЦЧО РСФСР, К.Н. Лясцкой (1960) — для Северного Казахстана, Г.Н. Хмаладзе (1964) — для Армении, и др. В последние годы подобные же карты построены в зарубежных странах: Свенсоном (SWENSON A.) в США (1964), П. Пенчевым в Болгарии (1966).

В связи с изданием многотомного справочника "Ресурсы поверхностных вод СССР" были построены карты мутности для отдельных крупных речных бассейнов. Почти одновременно с этим изданием было начато создание национальных и территориальных научно-справочных атласов. Для них были составлены не бассейновые, а территориальные карты мутности (Атлас Азербайджанской ССР, 1963; Атлас Грузинской ССР, 1964; Атлас Таджикской ССР, 1968).

Использование картографических материалов практически очень просто, но точность этих расчетов, вследствие наличия пограничных значений каждой выделенной зоны, невысока.

Эмпирические формулы, основанные на связи стока взвешенных наносов с определяющими его физико-географическими факторами, благодаря своей простоте и надежности получили широкое практическое применение.

Поэтому в данное время для ряда отдельных регионов, в зависимости от определяющих стока взвешенных наносов природных факторов, выведены расчетные зависимости, из которых наиболее широкое распространение получили эмпирические формулы В.Г. Глушкова, А.П. Бурдыкиной, Б.В. Полякова, Г.В. Лопатина, В.П. Светицкого, С.Г. Рустамова и С.Ахундова, К.Н. Лисицыной, Г.Мюллера и У.Фёрштнера (G. Muller, U. Förstner). Из последних работ следует отметить ряд зависимостей Ю.Н. Иванова (1967), Н.Н. Бобровицкой (1971) и Н.А. Иманова (1971).

Укажем, что, несмотря на определенное теоретическое значение и практическое применение рассмотренных выше методов и формул, многие вопросы формирования и расчета стока взвешенных наносов изучены еще недостаточно. Это относится прежде всего к горным районам, каковым является и исследуемая нами территория.

Появление новых методов исследований (прежде всего статистических) и широкое использование электронно-вычислительных машин в гидрологии позволили по-новому рассмотреть многие ее вопросы.

В настоящей главе рассмотрены вопросы о степени влияния различных физико-географических факторов на величину годового стока взвешенных наносов и на этой основе разработан способ ее расчета. Исследования проведены широко применяемым в последнее время в различных областях науки и техники методом множественной корреляции (множественной регрессии).

Сток взвешенных наносов, как было ранее отмечено, зависит от многих природных факторов, характеризующих физико-географические особенности водосборов и их морфометрию. Естественно, влияние одних факторов более значительно, чем других. Следовательно, необходимо выяснить, какие из этих факторов являются определяющими и должны учитываться при расчетах стока взвешенных наносов.

Нами в качестве главных факторов, от которых может зависеть средняя величина стока взвешенных наносов $ВН_T$ (кг/сек), рассмотрены:

- 1) количество стока воды Q (м³/сек.);
- 2) площадь водосбора F (км²);
- 3) средний уклон водосбора i_B (‰);
- 4) средневзвешенный уклон реки i_p (‰);
- 5) средняя высота водосбора H_{cp} (км);
- 6) осадки I %-ной обеспеченности $П_{I\%}$ (мм).

Исследование производилось по следующей схеме:

- а) определение формы связи;
- б) вычисление значений коэффициентов парной (r_{0i}), частной (β_j) и множественной (R_j) корреляции и их среднеквадратических ошибок (σ);
- в) закрепление границ однородных районов, исходя из условий:
 - 1) достаточно тесной множественной корреляционной связи годового стока взвешенных наносов с определяющими его ведущими физико-географическими факторами (нами принято условие $R \geq 0,850$);
 - 2) заметного превышения числа пунктов наблюдений за стоком наносов над числом природных факторов;
 - г) окончательный отбор определяющих естественных факторов, вычисление параметров уравнений множественных регрессий и определение тесноты полученных связей между стоком взвешенных наносов и расчетными (принятыми) факторами.

Различные варианты произведенных расчетов позволили получить ряд зависимостей стока взвешенных наносов от природных факторов, которые отличаются друг от друга только по значениям коэффициента регрессии (β_j). Например, зависимость, полученная для рек с естественным режимом на территории бассейнов оз. Иссык-Куль и р. Чу, имеет вид

$$ВН_T = 0,716Q_T + 0,0095i_B - 0,0025F - 0,00134i_p + 1,22H_{cp} - 0,00001П_{I\%} + 2,6 \quad (1)$$

Анализ парных и частных коэффициентов корреляции, а также учет закона больших чисел показали, что в условиях рассматриваемой территории основными факторами, определяющими сток взвешенных наносов, являются величина стока воды, площадь и средняя высота

водосбора (таблица 2).

Таблица 2

Парные (r_{oi}) и частные (ρ_{oj}) коэффициенты корреляции между стоком взвешенных наносов горных рек Северной Киргизии и его определяющими природными факторами

| Характеристики: | Q_T | F | L_p | H_{cp} | L_B | $\Pi I\%$ |
|------------------------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|
| $r_{oi} \pm \sigma_{r_{oi}}$ | $0,791$ $\pm 0,061$ | $0,510$ $\pm 0,121$ | $-0,385$ $\pm 0,140$ | $-0,041$ $\pm 0,164$ | $-0,247$ $\pm 0,153$ | $0,00001$ $\pm 0,164$ |
| $\rho_{oj} \pm \sigma_{\rho_{oj}}$ | $0,870$ $\pm 0,042$ | $-0,780$ $\pm 0,068$ | $0,183$ $\pm 0,168$ | $-0,272$ $\pm 0,161$ | $-0,112$ $\pm 0,172$ | $0,00003$ $\pm 0,179$ |

Учет геоморфологических особенностей водосборов позволил выделить на территории Северной Киргизии три крупных относительно однородных по условиям формирования стока взвешенных наносов района: 1-реки Таласской долины; 2-реки среднего течения р. Чу; 3-реки Иссык-Кульской и Кочкорской котловин. Каждый выделенный район характеризуется определенными геоморфологическими условиями (Исаев и Григоренко).

Последующие наши исследования показали необходимость учета в расчетах особенностей условий формирования стока наносов, почвенно-литологического строения водосборов, а также упрощения полученных для вышеназванных районов зависимостей. Оказалось, что это возможно, если в уравнения множественной регрессии введем новую переменную F_a . Переменная F_a является площадью активной зоны формирования стока воды и взвешенных наносов, которая определяется по картам как площадь, заключенная выше отметки 3300 м над уровнем моря. Параметр F_a не дает желаемого эффекта, если средняя высота низкая, а также отсутствуют вечные снега и ледники. Чем больше участия в формировании стока воды, а следовательно стока наносов принимают вечные снега и ледники высокогорной зоны, тем эффективнее введение в расчеты переменной F_a . С введением ее в расчеты практически отпадает необходимость учета площади водосбора и средней высоты бассейна. Однако, как отмечено выше, переменная F_a для рек Таласской долины оказалась неэффективной, что объясняется отсутствием или ничтожно малой долей

влияния высокогорных вечных снегов и ледников на формирование стока воды и наносов.

Согласно принятой схеме для дальнейших расчетов были отобраны следующие природные факторы: для рек I района - величина стока воды и средняя высота водосбора, а для 2 и 3 районов - величина стока воды и площадь активной зоны (параметр F_a).

Для объективного определения содержащихся в уравнении регрессии функций и повышения надежности параметров уравнения множественной регрессии по всем трем районам осуществлялась нормализация каждой исходной переменной VH_T, F_a, Q_T, H_{cp} по эмпирическим вероятностям их неперевышения (Алексеев, 1969, 1971), которые получены по формуле:

$$P_m = \frac{m(x_{ji}) - a}{N + b} \approx \frac{m(x_{ji}) - 0,25}{N + 0,5} = P_j(x_{ji}) = P_{ji} \quad (2),$$

где $m(x_{ji}) = 1, 2, 3, \dots, N$ - ранговые номера исходных значений VH_T, Q_T, F_a, H_{cp} после их ранжирования в возрастающем (убывающем) порядке. Соответствующие эмпирические значения нормализованных переменных $I_0(VH_0), I_1(Q_T), I_2(F_a), I_3(H_{cp})$ находятся по известной таблице значений нормальной нормированной интегральной функции распределения

$$P_j(x_{ji}) = P_m = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{u_m} e^{-\frac{u^2}{2}} du = \Phi(I_m) \quad (3)$$

как обратные функции, или квантили

$$I_m = F[P_m] = F[P_j(x_{ji})] = I_j(x_{ji}) \quad (4)$$

Уравнение нормализованной регрессии для каждого конкретного района имеет вид:

$$\text{I район} \quad I_0(VH_T) = 0,5822I_1(Q_T) - 0,6307I_2(H_{cp}) \quad (5),$$

$$\text{II район} \quad I_0(VH_T) = 0,5390I_1(Q_T) + 0,3900I_2(F_a) \quad (6),$$

$$\text{III район} \quad I_0(VH_T) = 1,1900I_1(Q_T) - 0,40I_2(F_a) \quad (7).$$

Отсюда, пользуясь кривыми связи $X_0 = VH_T = f_0[I_0]$, представ-

- ленными на рис. 1*, получаем искомые уравнения регрессии:
- для I района $X_0 = \text{ВН}_T = f_0 [0,5822 \text{И}_1(Q_T) - 0,6307 \text{И}_2(\text{Н}_{\text{ср}})]$ (8);
 - "- 2 района $X_0 = \text{ВН}_T = f_0 [0,5390 \text{И}_1(Q_T) + 0,390 \text{И}_2(\text{F}_a)]$ (9);
 - "- 3 района $X_0 = \text{ВН}_T = f_0 [1,190 \text{И}_1(Q_T) - 0,40 \text{И}_2(\text{F}_a)]$ (10).

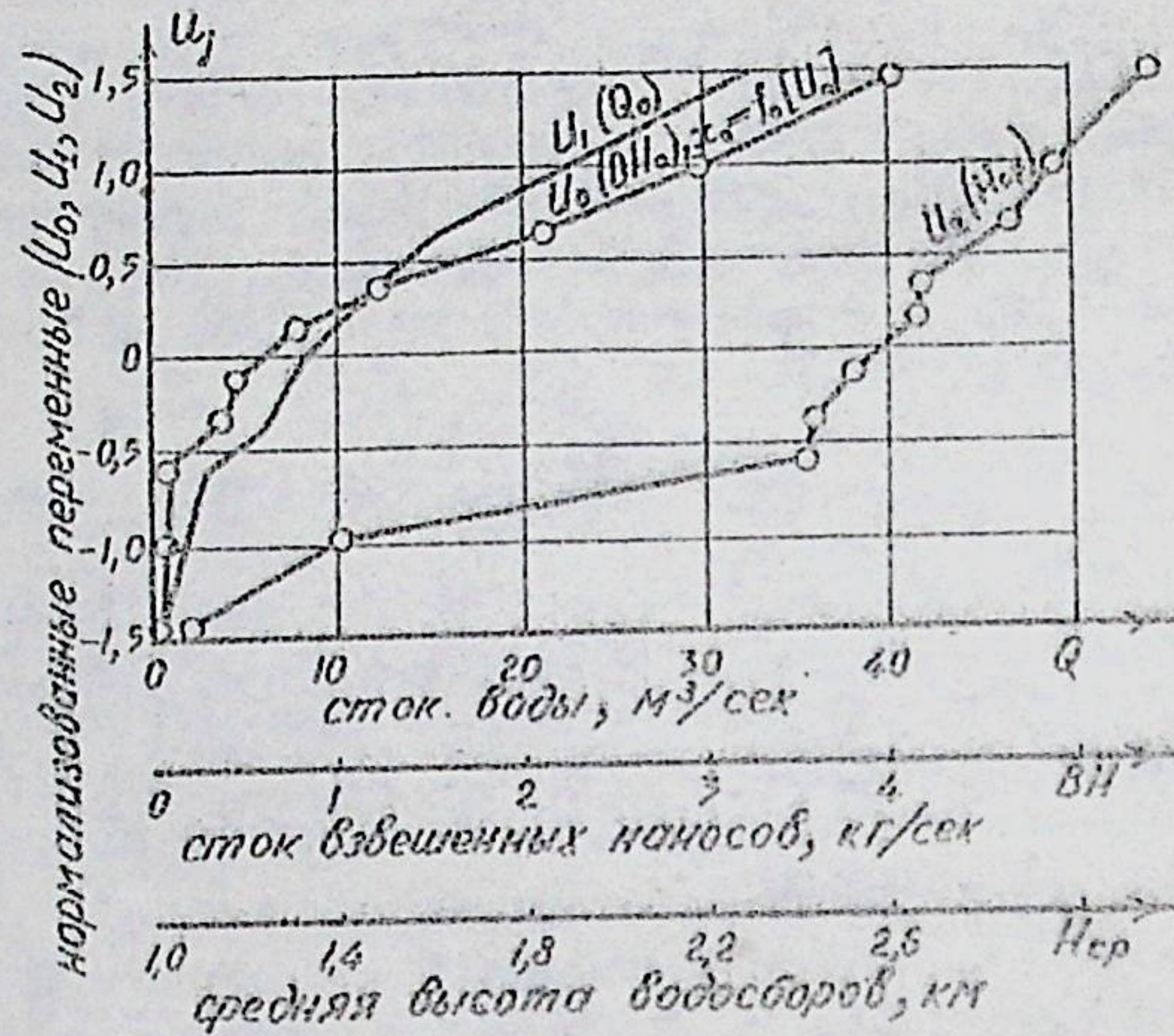


Рис. 1. Кривые связи $U_j = U_j(X_j)$ исходных $(\text{ВН}_T, Q_T, \text{Н}_{\text{ср}})$ и нормализованных (U_j) переменных

По уравнению условной кривой распределения

$$X_0 = \text{ВН}_T = f_0 [\bar{Y}_0 + S_0 F(P_0)] \quad (11)$$

можно осуществлять вероятностный прогноз не превышения P_0 (при заданных значениях аргументов X_1, X_2, \dots, X_n , определяющих регрессионную функцию И_{0i}) исходной величины X_0 (ВН_T).

* Здесь кривые связи $X_0 = \text{ВН}_T = f_0 [U_0]$ приведены только для I района.

Кроме того, по формуле

$$\delta_j = \frac{|r_{0j} \cdot \beta_{0j}|}{|r_{01} \cdot \beta_{01}| + |r_{02} \cdot \beta_{02}| + \dots + |r_{0n} \cdot \beta_{0n}|} = \frac{|\Delta_j|}{\sum_{j=1}^n |\Delta_j|} \quad (12)$$

были оценены доли (либо проценты) детерминированного вклада (δ_j) каждого из учитываемых аргументов $Q_T, \text{F}_a, \text{Н}_{\text{ср}}$.

В уравнениях (2-12): r_{0i} - парные коэффициенты корреляции; β_j - коэффициенты регрессии; S_0 - откорректированное среднее квадратическое отклонение наблюдаемых нормализованных переменных И_{0i} от вычисленных регрессионных \bar{Y}_{0i} ; P_0 - вероятность.

Пределы применимости уравнений (8, 9, 10) приведены в таблице 3.

Таблица 3

Пределы применимости уравнений (8, 9, 10)

| Районы | Пределы | Сток воды - м³/сек | Площадь активной зоны - км² | Средняя высота бассейна - км | Площадь водосбора - км² |
|--------|---------|-----------------------|-----------------------------------|------------------------------------|-------------------------------|
| I | Верхний | 34,0 | 800 | 3,20 | 7940 |
| | Нижний | 0,5 | | | |
| II | Верхний | 22,0 | 30 | 3,40 | 1890 |
| | Нижний | 0,7 | | | |
| III | Верхний | 28,3 | 1540 | 3,68 | 5370 |
| | Нижний | 0,5 | | | |

Вычисленные значения парных и полных коэффициентов корреляции, детерминированные вклады, а также откорректированные среднеквадратические отклонения каждого из выделенных районов приведены в таблице 4.

Высокие значения полного коэффициента корреляции ($R \geq 0,874$) свидетельствуют о достаточно полном учете влияния ведущих физико-географических факторов на величину годового стока взвешенных наносов горных рек Северисй Киргизии при выделении отдельных эрозионных районов.

Таким образом, как показали исследования, основными факторами формирования стока взвешенных наносов горных рек Северной Киргизии являются: величина стока воды, средняя высота и площадь



Парные (r_{oi}) и полные (R_j) коэффициенты корреляции между годовым стоком взвешенных наносов и обусловливающими его природными факторами, детерминированные вклады (δ_j) этих факторов и откорректированные среднеквадратические отклонения (σ)

| Элементы | Расход воды м ³ /сек | Средняя высота водосбора км | Площадь активной зоны км ² | Полный коэффициент | Откорректированное среднеквадратическое отклонение |
|------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|---|-----------------------|--|
| | | | | | |
| <u>Г р а м м о в</u> | | | | | |
| $r_{oi} \pm \sigma_{r_{oi}}$ | $0,615 \pm 0,207$ | $-0,661 \pm 0,188$ | | $0,880 \pm 0,071$ | $0,475$ |
| δ_j | 46,2 | 53,8 | | | |
| <u>П р а м м о в</u> | | | | | |
| $r_{oi} \pm \sigma_{r_{oi}}$ | $0,860 \pm 0,072$ | | $0,879 \pm 0,063$ | $0,898 \pm 0,058$ | $0,440$ |
| δ_j | 57,5 | | | 42,5 | |
| <u>Ш р а м м о в</u> | | | | | |
| $r_{oi} \pm \sigma_{r_{oi}}$ | $0,848 \pm 0,066$ | | $0,614 \pm 0,144$ | $0,874 \pm 0,056$ | $0,486$ |
| δ_j | 132,2 | | 32,2 | | |

водосбора. Вместе с тем учет особенностей формирования стока воды и наносов через параметр R_a позволил упростить уравнение множественной регрессии.

Глава IV. ВНУТРИГОДОВОЕ И СЕЗОННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ СТОКА ВЗВЕШЕННЫХ НАНОСОВ И ИХ ОЦЕНКА

Во внутригодовом распределении стока взвешенных наносов горных рек Северной Киргизии наблюдается большая неравномерность, что в основном соответствует водному режиму рек и отличается растянутым периодом выноса наносов.

В распределении стока взвешенных наносов внутри года четко выделяются две фазы. Первая соответствует холодному полугодию и охватывает октябрь-март месяцы. В этот период года сток воды формируется в основном за счет подземных вод, а сток взвешенных наносов — за счет русловой эрозии. В это время выносятся в среднем около 2-5 % годового стока взвешенных наносов. Начиная с конца марта и в начале апреля, с наступлением снеготаяния и выпадением жидких осадков, происходит его увеличение. На реках со снеговым и снегово-ледниковым питанием (здесь принят критерий В.Л. Шульда

$\delta = \frac{\sum Q_{VII-IX}}{\sum Q_{IV-VI}}$) максимумы взвешенных наносов проходят в конце мая и в начале июня, а дальше идет постепенное понижение. На реках с ледниково-снеговым питанием ($\delta > 0,99$) максимумы стока наносов наблюдаются в июле-августе, в период наиболее интенсивного таяния высокогорных снегов и ледников; дальше до конца октября идет постепенное понижение, и с этим кончается вторая фаза — теплое полугодие, а начиная с ноября сток наносов практически стабилизируется и в этом положении находится до конца марта.

Сезонное распределение стока взвешенных наносов рек данной территории находится в тесной зависимости от типа питания рек. Так, на реках со снеговым и снегово-ледниковым питанием основная масса стока наносов проходит в весенний период (апрель-июнь), часто составляя до 87,5 % от годового (р. Тип-с. Сарытолой). А на реках с ледниково-снеговым питанием, наоборот, основная масса стока взвешенных наносов транспортируется в период наибольшего таяния высокогорных снегов и ледников (июль-сентябрь). Сток взвешенных наносов этого периода часто составляет 70-80 % от годового, а на р. Барской эта величина достигает 87,7 %. Исключение

представляют некоторые реки Таласской долины, где в осенне-зимний период (октябрь-март) сток наносов доходит до 20-25 % от годового.

Поскольку сток взвешенных наносов холодного полугодия в целом по территории незначителен, принимая следующие сезоны: весна (апрель-июнь) и лето (июль-сентябрь) — и используя метод множественной корреляции, была выяснена роль отдельных факторов в формировании сезонного стока наносов (в качестве главных факторов рассмотрены: величина сезонного стока воды, площадь и средняя высота водосбора, уклон реки и водосбора), а также для 2 и 3 районов были получены расчетные зависимости, отражающие связи сезонного стока с рассмотренными физико-географическими факторами. Отсутствие достаточного объема информации о сезонном стоке взвешенных наносов рек Таласской долины не позволило выяснить роль отдельных природных факторов. В связи с этим для данного района отсутствуют расчетные зависимости сезонного стока.

Почти сходные условия формирования наносов, а также прямолинейный характер связей позволяют рекомендовать для рек 2 и 3 районов следующие зависимости (в % от годового):

а) для весны —

$$VH_B = 1,624Q_B + 0,016P - 30,25H_{cp} - 0,037i_p - 0,003I_B + 90,0 \quad (13),$$

б) для лета —

$$VH_L = 2,02Q_L + 0,0038P + 12,22H_{cp} + 0,0475i_p - 0,020I_B - 77,0 \quad (14).$$

Исследования показали, что основными факторами, определяющими величину сезонного стока взвешенных наносов, являются общая увлажненность речных бассейнов за сезоны, характеризуемая нормами сезонных величин стока воды, и средняя высота водосбора.

С учетом вышеуказанных главных факторов для отдельных районов получены уравнения регрессии (для повышения надежности параметров уравнения множественной регрессии в дальнейшем использованы нормализованные переменные H_{oi}), которые имеют вид:

для рек 2 района —

$$X_o = VH_B = f_o [0,6453H_{I1}(Q_B) - 0,3476H_{I2}(H_{cp})] \quad \text{— для весны (15),}$$

$$X_o = VH_L = f_o [0,7914H_{I1}(Q_L)] \quad \text{— для лета (16);}$$

для рек 3 района —

$$X_o = VH_B = f_o [0,664H_{I1}(Q_B) - 0,394H_{I2}(H_{cp})] \quad \text{— для весны (17),}$$

$$X_o = VH_L = f_o [0,916 H_{I1}(Q_L)] \quad \text{— для лета (18).}$$

Пределы применимости уравнений (15-18) следующие: по 2 району для весны сток воды от 18,5 до 37,4 %, а для лета — от 36,1 до 60,9 % годового и средняя высота водосборов от 2,50 до 3,64 км; по 3 району — сток воды за весну от 19,1 до 54,7 %, а за лето — от 26,5 до 62,7 % годового и средняя высота водосбора от 2,79 до 3,68 км.

Значение парных и полных коэффициентов корреляции, детерминированных вкладов факторов и откорректированных среднеквадратических отклонений приведены в таблице 5.

Таблица 5

Значения парных и полных коэффициентов корреляции, детерминированных вкладов отдельных факторов и откорректированных среднеквадратических отклонений

| Сезоны | Элементы | Парные коэффициенты корреляции между стоком взвешенных наносов и | | Полный коэффициент корреляции | Откорректированные среднеквадратические отклонения |
|---------|------------------------------|--|---------------------------|-------------------------------|--|
| | | стоком воды | средней высотой водосбора | | |
| 2 район | | | | | |
| Весна | $r_{oi} \pm \sigma_{r_{oi}}$ | 0,840 ± 0,08 | -0,709 ± 0,064 | 0,888 ± 0,064 | 0,450 |
| | δ_j | 68,8 | 31,2 | | |
| Лето | $r_{oi} \pm \sigma_{r_{oi}}$ | 0,827 ± 0,09 | 0,684 ± 0,153 | 0,828 ± 0,095 | 0,560 |
| | δ_j | 95,5 | 4,50 | | |
| 3 район | | | | | |
| Весна | $r_{oi} \pm \sigma_{r_{oi}}$ | 0,821 ± 0,07 | -0,659 ± 0,130 | 0,897 ± 0,056 | 0,442 |
| | δ_j | 67,7 | 32,3 | | |
| Лето | $r_{oi} \pm \sigma_{r_{oi}}$ | 0,916 ± 0,04 | | 0,916 ± 0,036 | 0,401 |
| | δ_j | 100 | | | |

Как видно из этой таблицы, высокие значения полного коэффициента корреляции свидетельствуют о достаточно полном учете влияния физико-географических факторов на величину сезонного стока взвешенных наносов горных рек исследуемой территории.

З А К Л Ю Ч Е Н И Е

В выполненной нами работе на основе анализа данных многолетних наблюдений УГМС Киргизской ССР и других производственных организаций за стоком воды и взвешенных наносов горных рек Северной Киргизии, а также полевых экспериментальных данных, полученных автором, рассмотрен ряд вопросов о формировании, режиме и методике расчетов характеристик стока взвешенных наносов. Результаты проведенных исследований позволяют констатировать следующее:

1. На примере рек Барскоон и др. выяснились особенности формирования стока взвешенных наносов горных рек. Установлено, что интенсивность поступления наносов в русловую сеть в значительной мере зависит от характера питания реки и почвенно-геологического строения и степени развития растительного покрова. На водосборах, где реки имеют ледниково-снеговое и снегово-ледниковое питание, основная масса стока воды и взвешенных наносов формируется в их высокогорной части. В среднегорной зоне хорошо развит растительный покров, что способствует наименьшему смыву. Отмечено, что в условиях рассматриваемой территории зона интенсивного смыва находится приблизительно выше отметки 3300 м над уровнем моря; это подтверждает и дополняет ранее сделанные выводы других исследователей (Щегловой, Ивероновой, Давидова и Пронина, Садынова, Насырова и др.).

2. При наличии короткого ряда данных наблюдений для определения среднемноголетнего значения стока взвешенных наносов рекомендуется его удлинить, причем наилучший результат дает использование для этого метода связи среднемноголетних среднемноголетних расходов воды и взвешенных наносов.

Возможность применения указанного метода проверена на более 60 створах горных рек территории.

3. В работе выполнено территориальное обобщение данных о среднемноголетнем стоке взвешенных наносов горных рек Северной

Киргизии. Важным в ней считаем то, что при обобщении, наряду с физико-географическими факторами (сток воды, площадь и средняя высота бассейна, уклон реки и водосбора, осадки 1%-ной обеспеченности), учтены косвенно, через площадь активной зоны, условия формирования стока воды и взвешенных наносов, а также геоморфологические особенности исследуемого района (по Исаеву и Григоренко).

4. На территории Северной Киргизии выделены 3 крупные эрозионные районы (1 - реки Таласской долины; 2 - реки среднего течения р. Чу; 3 - реки Иссык-Кульской и Кочкорской котловин), каждый из которых характеризуется определенными однородными условиями формирования стока взвешенных наносов, что подтверждается высокими значениями полного коэффициента корреляции ($R > 0,850$) и другими статистическими критериями.

5. При изучении влияния природных факторов на величину стока наносов применен метод множественной линейной корреляции.

Установлено, что в формировании годового и сезонного стока взвешенных наносов в условиях Северной Киргизии основные вклады вносят величина стока воды, площадь и средняя высота водосбора. Исследования показали, что при учете площади активной зоны отпадает необходимость включения в расчеты величин средней высоты и площади водосбора.

6. В работе приведены карта районов и расчетные формулы, связывающие средний многолетний сток взвешенных наносов (годовой и сезонный) с ведущими природными факторами, которые в общем виде можно записать как уравнение множественной регрессии:

$$ВН = \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_n X_n + \beta_0,$$

где ВН - сток взвешенных наносов; X_j - факторы; β_j - коэффициент регрессии, β_0 - свободный член.

Предлагаемый способ расчета стока взвешенных наносов неизученных и слабоизученных рек основан на использовании упомянутой карты и названных формул.

Х Х Х

По теме диссертации опубликованы следующие работы автора:

✓ 1. Водная эрозия горной части Иссык-Кульской котловины в ее связь с природными факторами. - В кн.: Материалы научной конференции, посвященной проблемам охраны почв в условиях Киргизии.

Фрунзе, "Илим", 1971.

2. Зимний режим и сток наносов рек Северной Киргизии. - "Записки Забайкальского филиала ГИ СССР", вып.4. Чита, 1972.

3. Годовой сток взвешенных наносов горных рек Северной Киргизии и факторы, его определяющие. - "Известия АН Киргизской ССР", № 5, 1972.

4. Расчеты норм сезонных величин стока взвешенных наносов горных рек Северной Киргизии с учетом влияния природных факторов. Фрунзе, 1972. Деп. № 5294-72 от 27 декабря 1972 г.

5. Норма годового стока взвешенных наносов рек Иссык-Кульской котловины. - В сб.: Географические исследования высокогорных территорий Киргизии. Фрунзе, "Илим", 1973.

6. Метод расчета годового стока взвешенных наносов рек Таласской долины. - Там же.

Отдельные положения диссертации докладывались на республиканской конференции, посвященной проблемам охраны почв в условиях Киргизии (г.Фрунзе, 1971), на IY научной конференции по зимоведению (г.Чита, 1972), на научной конференции молодых ученых Государственного гидрологического института (г.Ленинград, 1972), на расширенном заседании сектора гидрологии Института географии АН Киргизской ССР (г.Фрунзе, 1972), на расширенном семинаре Отдела гидравлики и гидротехнических сооружений Киргизского научно-исследовательского института водного хозяйства (г.Фрунзе, 1973), на заседании секции гидротехники Ученого совета Среднеазиатского научно-исследовательского института ирригации им. В.Д.Мурзина (г.Ташкент, 1973).

ПОДПИСАНО В ПЕЧАТЬ 14/VIII 1973 Г. ФОРМАТ БУМА
ГИ 60×90 1/16. ОБЪЕМ 1,5 П. Л. Д — 03468. ЗАКАЗ 2099.
ТИРАЖ 200 ЭКЗ.

Г. ФРУНЗЕ, ТИП. АН КИРГИЗ ССР
УЛ. ПУШКИНА, 144