

ОДЕССКИЙ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

На правах рукописи

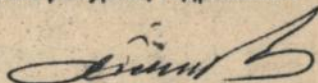
УДК 556.165:556.6:556.55/478.9/

Мельничук Орест Николаевич

**ПРИТОК ВОД И НАНОСОВ В ИСКУССТВЕННЫЕ ВОДОЕМЫ  
МОЛДОВЫ**

*/ вопросы теории и практические расчеты /*

11.00.07-Гидрология суши, водные ресурсы, гидрохимия.



**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
доктора географических наук

Одесса - 1997



Диссертация в виде рукописи

Работа выполнена в Государственном аграрном университете Молдовы.

Официальные оппоненты: доктор географических наук, профессор

**Бефани Неонила Феофановна;**

доктор географических наук

**Светличный Александр Алексеевич;**

доктор технических наук, профессор

**Башкиров Геннадий Сергеевич;**

Ведущая организация: Черновицкий Университет им О.Ю.Федьковича.

Защита диссертации состоится 10 апреля 1997 года в 11 часов на заседании специализированного ученого совета Д.05.02.01 при Одесском гидрометеорологическом институте по адресу: 270016, г Одесса -16, ул. Львовская 15, ОГМИ.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Одесского гидрометеорологического института.

Автореферат разослан марта 1997 г.

Ученый секретарь  
специализированного  
совета Д.05.02.01  
к.г.н., доцент

**Н.С. Лобода.**

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность и степень исследованности тематики. Многолетний опыт проектирования и эксплуатации искусственных водоемов в Молдове показывает, что принятые в проектах сроки нормальной службы преобладающего числа прудов и водохранилищ значительно сокращаются из-за более интенсивного заиления не только мертвого объема, но и некоторой части полезной емкости водоемов. Резкое сокращение сроков нормальной эксплуатации водоемов негативно сказывается на различных водохозяйственных показателях и, прежде всего, на снижении полезной водоотдачи и качества зарегулированных вод.

Многие пруды и малые водохранилища сельскохозяйственного назначения, срок службы которых обычно принимается на уровне 30 лет, выходят из строя за 10-12 лет и нередки случаи, когда мертвый объем и значительная часть полезной емкости заиляются за 5-7 лет. Все это снижает экономическую эффективность дорогостоящих мероприятий по регулированию и использованию стока.

Главными причинами столь быстрого заиления водоемов являются: несовершенство существующих методик оценки притока вод и наносов в искусственные водоемы, рекомендуемых нормативными документами, и особенно к водоемам малых рек и временных водотоков; неучет в проектных разработках нередко значительного притока наносов со склонов, прилегающих непосредственно к акватории водоемов; пренебрежение ролью влекомых наносов, формирующих тело заиления в зоне выклинивания подпора; неучет значительной трансформации стока вод и наносов, обусловленной воздействием на них факторов хозяйственной деятельности до проектирования водоемов и в период их эксплуатации.

Вопросы исследования отдельных сторон темы диссертации, представленные в гидрологической литературе, не позволяют целостно решить задачу надежного определения параметров заиления искусственных водоемов на территории Молдовы.

Все это одновременно свидетельствует о недостаточной исследованности предложенной тематики. Поэтому представленные в диссертации теоретические и практические разработки по расчетам притока вод и наносов, особенно применительно к оценке заиления водоемов, являются актуальными.

Цель и основные задачи работы. Цель работы состоит в раскрытии процессов формирования притока вод и наносов в

искусственные водоемы, теоретическом обосновании и разработке новых методов их расчета применительно к задачам проектирования водоемов на малых реках и временных водотоках Молдовы. Достижение этой цели потребовало решения таких основных задач:

- оценки влияния природных и антропогенных факторов на процессы формирования притока вод и наносов в водоемы;
- проведения широкого комплекса натурных обследований водоемов, разработки и усовершенствования методик полевых работ и способов обобщения данных по заилению водоемов;
- выполнения специальных экспериментальных исследований кинематики взвесенесущих склоновых потоков;
- теоретического обоснования и разработки новых методов оценки притока вод и наносов, как со всего водосбора, так и с площадей, прилегающих к акватории водоема.

**Теоретическая и практическая ценность исследований.** Теоретическая значимость диссертационной работы заключается в разработке новых подходов изучения процессов формирования и оценки притока поверхностных вод и наносов в искусственные водоемы.

Практическая ценность работы состоит в том, что она является базой для создания новых нормативных документов по проектированию и реконструкции прудов и водохранилищ в зоне недостаточного увлажнения.

**Научная новизна работы.** Автором на основании собственных теоретических разработок решена крупная народнохозяйственная проблема, связанная с использованием ресурсов зарегулированных вод на территории Молдовы, а также предложены новые эффективные методики оценки притока наносов в искусственные водоемы, гарантирующие оптимальные сроки их нормальной эксплуатации. В этом аспекте научную новизну представляют:

- метод расчета среднего притока вод в водоемы по составляющим питания рек с учетом влияния естественных (зональных, аazonальных и интразональных) факторов и факторов хозяйственной деятельности (орошения земель, регулирования стока прудами и водохранилищами, промышленно-коммунального водоснабжения агрометеорологических мероприятий и др.);
- методики полевых обследований водоемов на заиление и способы обработки полученных материалов для оценки реальных

характеристик притока наносов в водоем, как со всего водосбора, так и со склонов, прилегающих к акватории водоемов;

- теоретические и практические принципы построения редуционных моделей для расчета средних многолетних значений модуля стока наносов малых рек и временных водотоков Молдовы;
- теоретическое обоснование кинематических особенностей взвесенесущих склоновых потоков и пути учета их в расчетах стока дождевых вод;
- региональные модели оценки бокового притока наносов с дождевыми и талыми водами.

Уровень реализации, внедрение научных разработок. Основные результаты исследований получили внедрение в следующих, выполненных под руководством автора, научно-исследовательских и научно-технических работах:

- Разработка научно-технических рекомендаций по усовершенствованию методов количественной оценки ресурсов поверхностных вод Молдавии на основе генетико-статистических моделей. (Кишинев, 1981 г.);

- Региональное дополнение к руководству по расчетам заиления при проектировании и реконструкции малых водохранилищ на территории Молдавии. (Кишинев, 1986 г.);

- Использование растений для укрепления берегов, борьба с заилением и получение кормов с затопляемых площадей. (Кишинев, 1981 г.);

- Разработка технологий удаления и использования илистых отложений водохранилищ совместного пользования МССР. (Кишинев, 1985 г.);

- Совершенствование конструкций гидромелиоративных систем и сооружений и технологии их строительства. (Кишинев, 1987 г.);

- Разработка комплекса мероприятий по улучшению природопользования в бассейнах рек Бык и Ботна, направленных на предотвращение истощения и загрязнения ресурсов поверхностных вод. (Кишинев, 1995 г.).

Кроме того, разработанные методики получили внедрение в научных исследованиях НИИ водных проблем и мелиорации Молдовы по проблеме антропогенных преобразований речного стока Молдовы, а также в учебном процессе при чтении курсов "Мелиоративная гидрология" (ОГМИ) и "Инженерная гидрология и регулирование стока" (Агроуниверситет Молдовы).

**Апробация и публикация результатов.** Основные положения темы и отдельные научные результаты докладывались: на Республиканской научной конференции "Технический прогресс в механизации и гидромелиорации сельского хозяйства" (Кишинев, 1973 г.); на Республиканских научных конференциях "Интенсификация ведения отраслей сельского хозяйства Молдавии" (Кишинев, 1974, 1975, 1976, 1981 гг.); на Межреспубликанской научной конференции "Природные ресурсы Карпат и Приднестровья, вопросы их рационального использования и охраны" (Черновцы, 1978 г.); на Республиканской научно-технической конференции "Актуальные проблемы водохозяйственного строительства" (Ровно, 1980 г.); на Всесоюзной конференции по проблемам расчета и прогнозирования паводков" (Одесса, 1980 г.); на Всесоюзной научной конференции "Закономерности проявления эрозионных и русловых процессов в различных природных условиях" (Москва, 1981 г.); на научной конференции "Современное состояние и расчеты стока малых рек с учетом влияния антропогенных факторов" (Ровно, 1984 г.); на Всесоюзном совещании лимнологов "Круговорот вещества и энергии в водоемах" (Иркутск, 1985 г.); на научно-методическом семинаре "Твердый сток малых рек и расчеты заилиenia при проведении мелиоративных мероприятий" (Ровно, 1986 г.); на IV съезде географического общества Молдавии (Кишинев, 1990); на Международной научной конференции "Apele Moldovei. Seceta și măriile complexe de combatere" (Chișinău, 1995); на Международной конференции "Eroziunea solurilor și metodele de combatere" (Chișinău, 1995); на отчетных научных конференциях Государственного Аграрного университета Молдовы, Одесского гидрометеорологического института и Академии водного хозяйства Украины.

Основные результаты исследований опубликованы в трех монографиях и 32 статьях, приведенных ниже в перечне опубликованных работ.

**Структура и объем работы.** Диссертация состоит из введения, шести глав, заключения, списка литературы из 229 наименований и приложения. Общий объем работы - 377 страниц машинописного текста, включающего: 45 рисунков, 76 таблиц и приложения на 29 страницах.

**Конкретный вклад диссертанта в разработку научных результатов, которые выносятся на защиту.** В диссертационной работе на основе собственных теоретических исследований и использования обширных полевых экспериментальных материалов

автором разработаны новые математические модели, достаточно хорошо и надежно описывающие процессы притока вод и наносов применительно к расчетам заиления искусственных водоемов Молдовы.

На защиту выносятся:

- генетический метод расчета среднего притока вод в водоемы по составляющим питания рек - поверхностной и подземной, методики определения его параметров, отражающих влияние на приток комплекса природных и антропогенных факторов;
- методические основы проведения полевых обследований прудов и водохранилищ на заиление и способы обобщения натурных данных, необходимых для оценки реальных характеристик притока наносов в водоем;
- теоретические разработки по построению редуцированных моделей и принципы доведения их до практической кондиции - для расчета среднего притока наносов в искусственные водоемы Молдовы;
- теоретическое раскрытие и экспериментальное обоснование кинематических особенностей взвешенных склоновых потоков и предложения по их учету в расчетах стока дождевых вод;
- принципиальные основы построения и реализации региональных моделей для оценки бокового притока наносов в водоем с дождевыми и тальными водами.

Методология, методы исследования предмета и объекта. Методологическую основу исследования представляет концепция о единстве генетической теории, раскрывающей причинно-следственные связи, и статистического метода, отражающего случайные колебания стока вод и наносов. В этом аспекте рассматриваемая работа является дальнейшим развитием исследований обширной научной школы гидрологов, основанной более полувека тому назад профессором А.Н. Бефани, и к которой принадлежит автор.

Объектом исследований является водохозяйственный комплекс республики Молдова, состоящий из водохранилищного фонда и системы современного водопотребления и водопользования. Предмет исследований - режим притока вод и наносов в искусственные водоемы.

При решении комплекса задач по оценке притока вод и наносов в водоемы применялись методы водного и седиментационного балансов, приемы математического моделирования, многофакторного и статистического анализа.

Исходными материалами явились данные натурных обследований прудов и водохранилищ на заиление, экспериментальные исследования процессов стока, водной эрозии и гидравлических характеристик склоновых потоков (выполненные при участии и под руководством автора), фондовые материалы Госкомгидромета Молдовы, Украины, и архивные данные водохозяйственного концерна "Апеле Молдэвей".

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе дается анализ и оценка морфометрических характеристик речных водосборов, излагаются методики натурных обследований водоемов на заиление, оценивается современная степень их заиленности.

Процессы формирования основных морфологических форм рельефа Молдовы происходят в толще четвертичных отложений, механический состав которых представлен лессовидными суглинками Днестровско-Прутского междуречья. Долины притоков среднего Днестра и левых притоков Прута, расчленяющие поверхности равнин, презаилены в толще песчано-глинистых отложений среднего и верхнего сармата и в известняковые породы, являющиеся очагами развития карстовых процессов. В количественном выражении взаимодействие рельефообразующих факторов (экзогенных и эндогенных) проявляется в образовании на территории Молдовы определенной морфоструктуры речной сети речных водосборов. Исследования в этом аспекте проводились многими авторами (Р. Хортон, Н.А. Ржаницин, Л.Д. Курдюмов, Т. Шенк, Р.А. Нежиховский, а в Молдове В.Е. Прока А.Т. Леваднюк, М.Д. Волощук, В.В. Загорский и др.), что позволило в итоге сформулировать ряд общих теоретических положений о структуре гидрографической сети речных водосборов.

Это прежде всего относится к системе строения основных звеньев гидрографической сети и к связи их с морфометрическими характеристиками.

Основываясь на этом и используя топографические карты крупного масштаба (1:25000), было установлено что строение гидрографической сети водосборов Молдовы может быть представлено в виде ряда убывающей геометрической прогрессии, в которой коэффициент бифуркации в среднем равен 3,67, а средняя длина притоков первого порядка ( $L_1$ ) равна 1,16 км при средней площади ( $F_1$ ) - 1,06 км<sup>2</sup>. Соотношения между длинами и площадями водотоков смежных порядков соответственно составляют  $E_1 = 2,67$ .

$E_f = 4,30$ . Эти величины примерно в два раза больше аналогичных значений характеристик, полученных Н.А. Ржабциным и Р.А. Нежиховским для водотоков центральных районов Восточной Европы.

Для малых водосборов (при  $1,2 < F < 30 \text{ км}^2$ ) установлены параметры корреляционных связей  $F = K_L L^\beta$  ( $L$  - длина главного водотока,  $F$  - площадь водосбора). В итоге получено:  $K_L = 0,81$ ,  $\beta = 1,43$ . Этот результат согласуется с данными других авторов, исследовавших подобные связи в разных регионах СНГ, США и Китая (Р.А. Нежиховский, 1971).

Одновременно предлагаются зависимости оценивающие форму водосборной площади и изменения ширин (эквидистант) водосбора по длине реки. Установлено, что показатель формы кривых эквидистант, представленных в выборке от максимальной ширины водосбора, зависит от соотношения  $L/\sqrt{F}$ , то есть от коэффициента вытянутости водосбора. При возрастании последнего кривая эквидистант переходит от выпуклой параболической формы к вогнутой гиперболической.

Изучение морфометрии речных склонов позволило составить карту их средних уклонов и дать оценку формы склонов через показатель

$$\alpha_1 = (h_B / \bar{h}) - 1, \quad (1)$$

где  $h_B$  и  $\bar{h}$  - максимальная и средняя высоты склона над его подошвой. Из (1) следует, что при  $h_B / \bar{h} > 2$   $\alpha_1 > 1$ . Это соответствует выпуклой форме склона (при  $h_B / \bar{h} < 2$ , когда  $\alpha_1 < 1$ , - форма вогнутая, а при  $h_B / \bar{h} = 2$   $\alpha_1 = 1$  - профиль склона приобретает линейную конфигурацию).

Для оценки расчлененности речных водосборов дается анализ характеристик густоты гидрографической сети территории Молдовы. Предлагаются карты общего расчленения, густоты речной и овражно-балочной сети, составленные на основе использования топографических карт единого масштаба - 1:25000.

Анализ морфометрии речных долин и чаш водохранилищ позволил установить зависимость между показателем формы продольного профиля долины  $\alpha_2$ , характеризующего отношение максимальной отметки истока к средней высоте водотока над базисом эрозии, и обобщенным показателем чаши водоема  $\alpha$ , представляющего собой соотношение между средней и максимальной глубинами водоема.

В общем виде такая зависимость может быть представлена выражением

$$\alpha = K\alpha_2 \alpha_n . \quad (2)$$

Здесь  $K\alpha_2$  - коэффициент, учитывающий влияние формы продольного профиля (долины, суходола) на показатель формы водоема;  $\alpha_n$  - показатель формы поперечного сечения дна долины, зависящий от отношения средней глубины к максимальной в створе проектируемого водоема. В случае прямолинейного продольного профиля долины ( $\alpha_2 = 1$ ) показатель формы водоема  $\alpha$  зависит только от показателя поперечного профиля дна долины:  $\alpha = 1/2\alpha_n$ . Для сложных криволинейных очертаний продольных профилей дна, когда  $\alpha_2 \neq 1/2$ ,  $\alpha$  зависит от  $\alpha_2$ .

Натурные данные по искусственным водоемам Молдовы и Украины показывают, что  $\alpha$ , а, следовательно, произведение  $K\alpha_2\alpha_n$ , могут изменяться от 0,35 до 0,57.

Относительная устойчивость коэффициента формы  $\alpha$  позволяет решать ряд практических задач и, в частности, определять первоначальную емкость водоема при отсутствии проектных данных и оценить тело заиления при сокращенной программе обследования водоемов на заиление.

В современной практике полевых измерений объема иловых отложений искусственных водоемов применяются упрощенные и детальные методы. Упрощенные методы основаны на измерении мощности илов только в одной точке - у плотины. Детальные методы позволяют оценить не только общий объем тела заиления водоемов, но и выявить картину пространственного распределения отложений наносов. Их составляют: метод промера глубин и метод бурения (зондирования) иловой толщи.

Для повышения производительности промерных работ автором предложен и использован новый способ планового координирования измеренных глубин - с помощью гидрометрической вертушки, смонтированной в плиту вибраторного устройства эхолота "Кубань".

При движении судна погруженная в воду лопасть вертушки через контактное устройство подает сигналы. Сигналы поступают на дополнительно пристроенный шаговый искатель, который подключается к электросистеме эхолота с токосъемным устройством планки перодержателя. Шаговый искатель вызывает электрический импульс на планке перодержателя, который осуществляет засечку на

эхограмме через каждые 10 сигналов, т.е. через 200 оборотов вращения лопастного винта вертушки.

Тарировка показала, что за это число оборотов судно, не зависимо от скорости его движения, проходит путь равный 48 м. и, следовательно, через это расстояние делается засечка на эхограмме, фиксирующая местоположение промерной точки по выбранному маршруту судна (продольно или поперечнику).

Для измерения мощности илов автором сконструирован буровой комплекс, представленный плавающей платформой (катамаранного типа), на которой установлена вышка с буром-желонкой ударного типа, обеспечивающей извлечение илового керна из забоя скважины.

Натурные обследования 260 водоемов, выполнялись различными организациями республик (Госкомгидрометом, Молдгипроводхозом, Аграрным университетом, Академией наук и ОГМИ, НИИ водных проблем и мелiorации Молдовы).

Согласно существующим требованиям, мертвые объемы водоемов сельскохозяйственного назначения должны служить 20-30 лет. Однако обследования показали, что многие водоемы лишаются мертвого объема за 5-10 лет, а некоторые - за 2-3 года эксплуатации.

В прудах и водохранилищах заилению подвергается не только мертвый объем, но и полезная емкость. Так, при заиленности полного объема на 25% и больше, мертвый объем сокращается на 47-100%, а полезный на 4-47,5%. При общей заиленности на 10-25% снижение заилением мертвого объема водохранилищ колеблется от 16 до 97%, а полезного от 4 до 17%. Причины столь интенсивного заиления водоемов нами отмечены выше.

Вторая глава посвящена исследованию и расчетам среднелетнего притока вод в водохранилище.

Вводятся два понятия о норме годового притока (стока) - климатической и проектной. Климатическая норма - это среднее многолетнее значение стока, характеризующее современные климатические условия и являющееся ступенью в ходе непрерывного, но очень медленного процесса изменения климата. Для ее определения требуется очень длительный период наблюдений за стоком, насчитывающий сотни, а может быть и более лет. Под проектной нормой, которой придерживается автор, понимается средняя величина стока, определяемая на ограниченную перспективу - на период службы проектируемого водохозяйственного объекта, составляющего обычно 30-50 лет.

При наличии наблюдений расчетам притока вод предшествовали исследования циклических колебаний годового-стока, однородности

стоковых рядов, разработки по определению ошибки расчета нормы годового стока с учетом его цикличности и установлению периодов приведения коротких рядов наблюдений к многолетию.

Построения разностных интегральных кривых годового стока малых рек Молдовы, а также промежуточного стока р. Днестр между створами Залешики и Бендеры, ход которого в целом хорошо репрезентирует многолетний режим стока малых рек Молдовы, показали наличие 90-100 летнего (векового) цикла, который, при осреднении по фазам водности, можно считать несимметричным. Имея в виду плавность перехода через минимумы и максимумы цикла можно аппроксимировать его простыми уравнениями отдельно для фаз водности (А.Н. Шефани, С.Н. Мельничук. 1969):

- фаза спада (при отсчете времени  $t$  от максимума до минимума цикла)

$$K_t = 1 + A_k \sin(\pi/2 + \pi t/T_1); \quad (2)$$

- фаза подъема (при отсчете времени от минимума до максимума цикла)

$$K_t = 1 + A_k \sin(\pi t/T_2 - \pi/2). \quad (3)$$

Для симметричного цикла можно записать:

$$K_t = 1 + A_k \sin 2(\pi t/T). \quad (4)$$

З этих формул:  $K_t$  - средний модульный коэффициент  $t$ -го года (считая от средней точки подъема циклической кривой), в которой  $K_t = 1$ ;  $T_1$ ,  $T_2$ , и  $T$  - продолжительности фаз подъема, спада и всего цикла;  $A_k$  - нормированная средняя полуамплитуда цикла. Для определения  $A_k$  лучше всего использовать разностную интегральную кривую годового стока, с которой нужно снять разность ординат между максимумами и минимумами цикла  $\Delta_k$ , а затем определить  $A_k$  по формуле

$$A_k = \pi \Delta_k / T. \quad (5)$$

При хорошо выраженной цикличности можно довольно точно установить фазу, в которой находится очередной цикл, а также ближайший из прошедших ранее экстремумов. В таких случаях, используя уравнение (4), а внутри периода спада или подъема - уравнение (2) или (3), можно определить ожидаемую водность за  $N$  расчетный период  $N$  лет:

$$K_N = 1 + (A_k / 2\pi N) \{ \cos(2\pi t_0/T) - \cos[2\pi(t_0 + N)/T] \}. \quad (6)$$

Здесь  $K_n$  модульный коэффициент ожидаемого расчетного (прогнозируемого) стока или, иными словами, средняя за  $N$  лет проектная (фазовая) норма, отнесенная к зональной норме;  $t_0$  - начало  $N$ -летнего периода, считая от средней точки подъема в данном цикле.

В фазе начавшегося подъема или спада прогноз более точен и особенно потому, что в этом случае можно подобрать продолжительность фазы ( $T_1$  или  $T_2$ ) и амплитуду ( $\Delta_k$ ) по уже образовавшейся тенденции изменения ординат цикличности. Для промежуточного стока р.Днестр эти характеристики равны:  $T_1 = 60$  лет;  $T_2 = 30$  лет;  $\Delta_k = 11,0$ .

Прогноз средней водности в таких случаях может оказаться надежным на 10 - 20 лет, но возможен прогноз и на несколько десятилетий, т. е. на срок службы создаваемого гидротехнического сооружения.

Если цикличность не выявлена достаточно четко и установить современную фазу цикла становится невозможным то расчет нормы приходится вести без учета цикличности. Ошибка расчета в данном случае складывается из случайной погрешности равной  $\epsilon = 100C_v/\sqrt{N}$  и ошибки, возникающей от пренебрежения цикличности (фазовой ошибки  $\epsilon_{\phi}$ ).

Фазовая ошибка, зависящая от современной фазы цикла и величины  $N$ , изменяется от 0 до 100  $A_k\%$ .  $\epsilon_{\phi}$  можно определить после некоторого преобразования выражения (4):

$$\epsilon_{\phi} = (64A_k T / \pi N) \sin(\pi N / T) \% \quad (7)$$

Оценка  $\epsilon_{\phi}$  по формуле (7) показывает, что при хорошо выраженной цикличности ( $A_k > 0,3$ ) и сравнительно невысокой вариации годового стока ( $C_v$  до 0,3 - 0,4) расчет нормы целесообразно вести для периодов, равных полной продолжительности цикла, не принимая в учет воды, относящиеся к следующему циклу. При малой амплитуде цикличности ( $A_k$  до 0,05) и высокой вариации стока ( $C_v > 0,7$ ) целесообразно вычислять сток для всего периода наблюдений  $N$ , даже если он превышает продолжительность цикла.

Кроме того, частота и продолжительность внутривековых циклов по малым рекам установлены с помощью известных уравнений спектральной плотности - преобразований Фурье и Эйлера в комплексной форме, и автокорреляционной функции.

Ряды наблюдений за годовым стоком малых рек сравнительно ограничены - 20-40 лет. Поэтому произведено приведение среднего стока к многолетию - к упомянутому ранее 90-летнему периоду. За

репрезентативные приняты периоды, включающие в себя несколько законченных внутривековых циклов. Для обоснованного подбора репрезентативного периода произведено районирование территории по параметрам рангового критерия однородности Вилкоксона. Этот же критерий принят для проверки стоковых рядов на однородность по малым рекам, сток которых подвержен значительному воздействию антропогенных факторов.

Расчет нормы годового стока сводится, в основе своей, к восстановлению его естественного значения. Для этого использована формула

$$Y_{0.e} = Y_{0.б} + \sum \Delta Y_0, \quad (8)$$

где

$$\sum \Delta Y_0 = \Delta Y_{0.op} + \Delta Y_{0.al} + \Delta Y_{0.iv} + \Delta Y_{0.pk}, \quad (9)$$

$\Delta Y_{0.op}$ ,  $\Delta Y_{0.al}$ ,  $\Delta Y_{0.iv}$  и  $\Delta Y_{0.pk}$  - изменения стока орошением земель, агролесомелиоративными мероприятиями, искусственными водоемами и промышленно-коммунальным водоснабжением, методики расчета которых изложены ниже. Средняя ошибка восстановления нормы стока - + 7-9%.

Расчеты при отсутствии наблюдений. Для обобщения и определения нормы полного годового стока до настоящего времени применяется в основном метод ее картирования. Карты среднего стока были построены К.П. Воскресенским (1962), И.А. Железняком (1961), Л.Г. Опущенко (1966), Г.Н. Ассовским и В.П. Топором (1967), В.В. Сластихиным (1972). Они представляют зональные (климатические) значения стока и не могут быть использованы для малых рек и временных водотоков, средний сток которых в значительной степени обусловлен местными факторами. Неучет последних приводит к значительным погрешностям. Ошибки нередко превышают 20% и особенно в южных районах республики. Многие карты уже устарели.

Автором совместно с А.Н. Бефани разработан новый генетический метод расчета полной нормы годового стока, в основу которого положен дифференцированный расчет стока по двум составляющим - подземной и поверхностной, т.е. расчет по формуле

$$Y_{0.e} = Y_{0.гp} + Y_{0.пов} \quad (10)$$

где  $Y_{0.e}$ ,  $Y_{0.гp}$  и  $Y_{0.пов}$  - соответственно нормы общего естественного, грунтового и поверхностного стока. Грунтовый сток определяется по формуле, аппроксимирующей уравнение многоярусного грунтового питания в таком виде:

$$Y_{0.гр} = \varphi_n U'_0 \quad (11)$$

где

$$\varphi_n = \text{th} \{ \text{ar} [(F/F_{1кр}) - 1]^n \}; \quad (12)$$

$U'_0$  - норма просачивания атмосферных осадков в грунтовые воды, мм.;  $\varphi_n$  - коэффициент полноты грунтового питания;  $\text{ar}$  - параметр, равный отношению мощности всех потоков грунтовых вод зоны дренирования по вертикали к максимальной глубине дренирования (теоретически  $\text{ar}$  может изменяться от 0 до 1);  $F_{1кр}$  - первая критическая площадь, при которой зарождается грунтовое питание реки, км<sup>2</sup>.;  $F$  - площадь водосбора до расчетного створа, км<sup>2</sup>.;  $\text{th}$  - символ гиперболического тангенса. Значение  $U'_0$  равно:

$$U'_0 = U_0 \delta_l \delta_k \quad (13)$$

где  $U_0$  - закартированная (зональная) величина нормы просачивания осадков в грунтовые воды (рис.1), мм.;  $\delta_l$  и  $\delta_k$  - коэффициенты влияния лесистости и закарстованности бассейна, находимые по формулам:

$$\delta_l = 1 + k_l \beta_l \quad (14)$$

$$\delta_k = f(Y_{0.гр.ф}/U_0) \quad (15)$$

Здесь  $k_l$  - коэффициент, учитывающий характер лесного покрова (для лиственных и смешанных лесов, преобладающих в Молдове,  $k_l=0.7$ , для хвойных лесов  $k_l=1$ );  $\beta_l$  - лесистость водосбора в долях от единицы;  $Y_{0.гр.ф}$  - среднее значение фактического грунтового стока (мм), определяемое по расходам воды, измеренным в реке в устойчивую часть летне-осенней и зимней межени, а при отсутствии их - принимается по реке-аналогу. Функция (15) табулируется.

Площадь  $F_{1кр}$  точнее всего находится по крупномасштабным картам как площадь водосбора от места зарождения грунтового питания до истока реки, приближенно - по связи с густотой гидрографической сети ( $\alpha$ ):

$$F_{1.кр} = 1/\alpha^2 c \quad (16)$$

Показатель степени  $n$  определен по графику зависимости

$$\lg(\text{Arth}\varphi_n) = f[\lg(F/F_{1.кр}) - 1],$$

где  $\text{Arth}\varphi_n$  - функция аретангенса, существующая при  $|\varphi_n| < 1$ .

Получено его значение - 0.25.

Поверхностный сток определяется по формуле

$$Y_{0.пов} = Y'_{0.пов} \delta'_{л} \delta_{б} \delta_{г}, \quad (17)$$

где  $Y'_{0.пов}$  - зональная (закартированная) норма поверхностной составляющей годового стока, приведенная к естественным условиям его формирования (рис.1);  $\delta'_{л}$  и  $\delta_{б}$  - коэффициенты, учитывающие влияние интразональных (вн.тритональных) факторов - лесистости и заболоченности речного бассейна;  $\delta_{г}$  - поправочный коэффициент на влияние азональных факторов - площади и уклона водосбора.

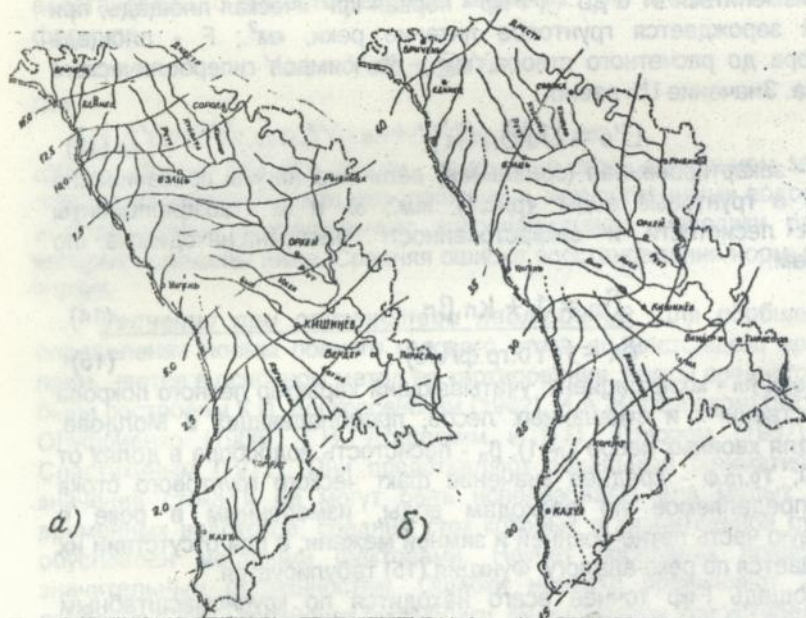


Рис.1 Карты норм годовых значений фильтрационного (а) и поверхностного (б) питания рек, мм.

Для определения коэффициентов  $\delta'_{л}$  и  $\delta_{б}$  - получены формулы:

$$\delta'_{л} = 1 - 0.78\beta_{л} + 0.5\beta^2_{л}, \quad (18)$$

$$\delta_{б} = 1 - \alpha_{б}K_{е}\beta_{б}. \quad (19)$$

Здесь  $K_{е}$  - избыточный (над испарением с суши) расход влаги с водной поверхности, выраженный в долях от поверхностного стока;  $\alpha_{б}$  - отношение избыточного испарения с болот к такому же испарению с

водной поверхности;  $\beta_6$  - заболоченность водосбора в долях от единицы.

Значение коэффициента  $\alpha_6$  можно принять в зависимости от категории болот: верховые болота - 1,25; низинные болота - 0,95; плавни - 1,5. Коэффициент  $\delta F$  - для водосборов при  $F < 200 \text{ км}^2$ , находится по специальной таблице.

Антропогенно измененная норма полного годового стока вычисляется по формуле:

$$Y_0 = Y_{0.\text{ест}} \Psi_{\text{ор}} \Psi_{\text{п.к}} \Psi_{\text{вд}} \Psi_{\text{ал}} \Psi_{\text{урб}}, \quad (20)$$

где  $Y_{0.\text{ест}}$  - среднееголетнее значение естественного стока, мм.;  $\Psi_{\text{ор}}, \Psi_{\text{п.к}}, \Psi_{\text{вд}}, \Psi_{\text{ал}}$  и  $\Psi_{\text{урб}}$  - коэффициенты, учитывающие влияние орошения земель, промышленно-коммунального водоснабжения, искусственных водоемов, агролесомелиоративных мероприятий и урбанизации речных водосборов.

Оценка антропогенных коэффициентов производится по формулам:

$$\Psi_{\text{ор}} = 10 F_{\text{ор}} \{ \epsilon_n [M_{\text{бр}}(1 - \eta_{\text{кпд}}) + \varphi \nu \epsilon_n M] + \gamma_{\text{ор}} [Y_{0.\text{ест}}(\beta_{\text{ор.т}} - 1) + Y_{\text{ор.х}}(\beta_{\text{ор.х}} - 1)] \} / W_{0.\text{ест}} = (W_{\text{взв}} + W_{\text{д}}) / W_{0.\text{ест}}, \quad (21)$$

$$\Psi_{\text{вд}} = \Delta E_{\text{д.к}} K_1 K_2 / Y_{0.\text{ест}}, \quad (22)$$

$$\Psi_{\text{п.к}} = (\sum_1 Q_{\text{с}} - \sum_1 Q_{\text{з}} + \sum_1 Q_{\text{ч}}) / Q_{\text{с.ест}}, \quad (23)$$

$$\Psi_{\text{ал}} = 10^3 \Delta E_{\text{ал}} F / W_{0.\text{ест}}, \quad (24)$$

$$\Psi_{\text{урб}} = \Psi_{\eta} f_{\text{урб}}. \quad (25)$$

Здесь.  $W_{\text{взв}}$  - возвратный годовой сток, образующийся за счет фильтрационных потерь из водоподводящей и водораспределительной сети оросительных систем и избыточной водоподачи на карту,  $\text{м}^3$ ;  $W_{\text{д}}$  - дополнительный сток от естественных дождей и при снеготаянии, обусловленный ирригационно повышенной влажностью почвы,  $\text{м}^3$ ;  $M_{\text{бр}}$  - водозабор ( $\text{м}^3$ ) и оросительная норма (мм) брутто;  $W_{0.\text{ест}}, Y_{0.\text{ест}}$  и  $Q_{0.\text{ест}}$  - нормы объема ( $\text{м}^3$ ), слоя (мм) и расхода ( $\text{м}^3/\text{с}$ ) годового естественного стока;  $\eta_{\text{кпд}}$  - коэффициент полезного действия оросительной системы;  $\varphi$  - коэффициент инфильтрационно-питания грунтовых вод;  $\nu$  - коэффициент, зависящий от литологического строения пород;  $\epsilon$  - доля возвратного стока, достигающего водоприемника;  $M$  - норма водоподачи на карту, мм;  $\gamma_{\text{ор}}$  - площадь

Срошаемых земель, выраженная в долях от площади речного водосбора;  $Y_{0.в.т}$  и  $Y_{0.в.х}$  - средние слои естественного стока за теплый (апрель-октябрь) и холодный (ноябрь-март) сезоны, мм.;  $\beta_{ор.т}$  и  $\beta_{ор.х}$  - коэффициенты инфильтрационного увеличения стока за те же сезоны, учитывающие соответственно влияние вегетационных и осенних влагозарядковых поливов;  $E_{дк}$  - среднее дополнительное (заквартированное) испарение, возникающее в связи с созданием искусственных водоемов, мм.;  $K_1$  и  $K_2$  - коэффициенты, зависящие от вида водоема и продолжительности регулирования стока;  $Q_с$  и  $Q_з$  - соответственно расходы собственной воды реки, отводимой в нее сбросами и забираемой из водозаборами, м<sup>3</sup>/с;  $Q_ч$  - расход "чужих" вод - подземных недrenируемых рекой и других бассейнов, отводимых после хозяйственного использования в рассматриваемый водоток, м<sup>3</sup>/с;  $\Psi_{\eta}$  - коэффициент, зависящий от доли непроницаемых урбанизированных площадей на водосборе;  $f_{урб}$  - доля урбанизированной территории;  $\Delta \bar{E}_{ан}$  - изменение среднего суммарного испарения за счет сельскохозяйственного освоения земель и создания лесных полос, мм.

Для оценки значений антропогенных коэффициентов используются собственные и других авторов способы расчета параметров формул (21) - (25).

Средняя погрешность расчета нормы полного годового стока по формулам (10) и (20): естественной -  $\pm 7-10\%$ , антропогенно измененной -  $\pm 8-12\%$ .

В третьей главе рассматриваются расчеты притока (стока) наносов в искусственные водоемы при наличии данных наблюдений.

По рядам гидрометрических наблюдений 20 и больше лет определяются основные параметры стока взвешенных наносов - норма, коэффициент вариации и асимметрии, с помощью известных методов математической статистики, основанных на теории вероятностей.

При ограниченных гидрометрических данных рекомендуется использовать способ построения связи между средними значениями жидкого и твердого стока, а также метод аналогии.

Поскольку точность гидрометрического измерения стока взвешенных наносов является весьма низкой, то в качестве надежной его оценки принято определение наносов по материалам о заиленности прудов и водохранилищ и прежде всего по верховым водоемам, выше

которых речной сток не регулируется. Для этого может быть использовано уравнение седиментационного баланса в виде

$$W'_R + W_6 = (W_3 + W_{сб}) - (W_a + W_э + W_b + W_x \pm W_{вз} \pm \Delta W), \quad (26)$$

где  $W'_R$  и  $W_6$  - масса наносов (взвешенных и влекомых), поступающих в водоем по основному водотоку и боковая приточность наносов по его периметру;  $W_{сб}$  - сброс наносов в нижний бьеф;  $W_э$  - масса аккумулярованных наносов (отложений) формирующих тело заиления водоема;  $W_a$  - поступление продуктов размыва от абразии берегов и верхового откоса земляной плотины;  $W_э$  - масса продуктов эолового происхождения;  $W_b$  - продукты, образующиеся от внутриводоемных процессов;  $W_x$  - изъятие наносов с хозяйственным водозабором из водоема;  $W_{вз}$  - изменение количества взвесей за расчетный период;  $\Delta W$  - невязка баланса.

Из-за отсутствия в Молдове данных по численным значениям компонентов баланса расчет по уравнению (26) возможен только в отдельных случаях, когда они устанавливаются по аналогии с детально обследованными водоемами других регионов СНГ заиление и формирование твердого стока которых происходит в условиях, аналогичных территории Молдовы. В связи с этим принято более упрощенное, но достаточно надежное, определение твердого стока по формуле

$$M_R = (V_3 - V_B) \gamma_{от} / (T_3 F P_a), \quad (27)$$

где  $M_R$  - средний за годы эксплуатации водоема ( $T_3$ ) модуль стока наносов, т/км<sup>2</sup>;  $V_3$  - объем речных наносов и боковой приточности наносов, отложившихся за это время, м<sup>3</sup>;  $\gamma_{от}$  - средний объемный вес (плотность) отложений т/м<sup>3</sup>;  $P_a$  - относительная наносоудерживающая способность водоема, осредненная за время  $T_3$ ;  $V_B$  - объем отложений (м<sup>3</sup>, образовавшихся в результате внутриводоемных процессов, равный

$$V_B = (D_{Ra} + D_{Op}) V_3. \quad (28)$$

Здесь  $D_{Ra}$  - доля отложений за счет размыва берегов;  $D_{Op}$  - доля органических веществ автохтонного происхождения.

Плотность отложений  $\gamma_{от}$  может быть определена по формуле М.Я. Прытковой (1981) или по нашей шкале в зависимости от среднего диаметра частиц отложений (табл. 1).

Таблица 1

Значения  $\gamma_{от}$ .

|                            |        |             |            |           |          |         |
|----------------------------|--------|-------------|------------|-----------|----------|---------|
| Средний диаметр частиц, мм | <0,001 | 0,001-0,005 | 0,005-0,01 | 0,01-0,05 | 0,05-0,1 | 0,1-0,2 |
| $\gamma_{от}$              | 0,70   | 0,90        | 1,15       | 1,30      | 1,40     | 1,55    |

Относительная наносоудерживающая способность водоемов, по которой оценивается величина  $W_{сб}$ , устанавливалась по соотношению:

$$P_a = Mz(\beta)/Mz_{пред}, \quad (29)$$

где  $Mz_{пред}$  - предельное (наибольшее) значение среднего годового модуля заиления ( $t/км^2$ ), установленное по графику  $Mz(\beta)$  в зависимости от относительной емкости водоема  $\beta$ , при  $\beta \geq 1$ ;  $Mz(\beta)$  - осредненный модуль заиления, снятый с того же графика при  $\beta < 1$ . Для определения  $P$  предлагается шкала его значений (таблица 2).

Таблица 2

Величины  $P_a$ .

| Страна, регион,<br>Город водосбора (F)  | Значения $\beta = V_{нпу}/W_0$ |      |      |      |      |      |      |      |
|---|--------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|
|   | 0,025                          | 0,05 | 0,10 | 0,20 | 0,40 | 0,60 | 0,80 | 1,0  |
| Республика Молдова:<br>F=2-80км. кв.  | 0,03                           | 0,05 | 0,12 | 0,24 | 0,53 | 0,75 | 0,92 | 1,00 |
| СНГ: Северный Казахстан,<br>Южный Урал, Курская обл.,<br>степная часть Северного Кавказа,<br>при:<br>F=5-8км. кв;<br>F=30-40км. кв; | 0,03                           | 0,06 | 0,17 | 0,21 | 0,45 | 0,64 | 0,87 | 1,00 |
|   | 0,04                           | 0,06 | 0,12 | 0,26 | 0,52 | 0,75 | 0,95 | 1,00 |

Параметр  $DR_a$  находится по формуле

$$DR_a = 15,8 \sqrt{(V_{нпу} T_3)} / (V_3 \gamma_{от}), \quad (30)$$

где  $V_{нпу}$  - объем водоема при нормальном подпорном уровне (НПУ),  $м^3$ .

Величину  $Por$  приближенно можно принять равной 0,1-0,15. Точнее она определяется по аналогии с водохранилищами, обследованными на содержание органических веществ в отложениях илов.

Для определения коэффициента вариации годового стока взвешенных наносов получены формулы:

$$\begin{array}{l} \text{при} \quad M_0 \geq 2,0 \text{ 'с.км.кв.} \\ C_{VR} = 6,25 C_{VQ} - 0,75; \end{array} \quad (31)$$

$$\begin{array}{l} \text{при} \quad 1 < M_0 < 2,0 \text{ / км.кв.} \\ C_{VR} = 3,0 C_{VQ} - 0,5; \end{array} \quad (32)$$

$$\begin{array}{l} \text{при} \quad M_0 < 1 \text{ л/с.км.кв.} \\ C_{VR} = 1,85 C_{VQ} - 0,3. \end{array} \quad (33)$$

Здесь  $M_0$  и  $C_{VQ}$  - норма и коэффициент вариации годового жидкого стока.

Коэффициент асимметрии  $C_{SR}$  годового стока взвешенных наносов можно принять равным удвоенному значению  $C_{VR}$ .

Расход влекомых (донных) наносов, обычно не учитываемый в проектных разработках, может достигать довольно значительных величин при больших придонных скоростях течения. В связи с отсутствием непосредственных измерений стока влекомых наносов его значение вычислялось по формуле В.И. Гончарова (1962) при известных величинах основных гидравлических характеристик речного русла и водного потока.

Оказалось, что в практических расчетах для территории Молдовы расход влекомых наносов можно принять равным 10-12% от расхода взвешенных наносов.

Четвертая глава посвящена исследованию и расчету притока речных наносов в пруды и водохранилища при отсутствии гидрометрических наблюдений.

Разработанные к настоящему времени методики определения стока наносов можно разделить на четыре группы.

К первой группе относятся методы, основанные на географической интерполяции между картируемыми значениями средней годовой мутности воды. Карты мутности для территории бывшего СССР были построены Г.В. Лопатиным (1952), Г.И. Шамовым (1959), К.Н. Лисициной (1972) и другими авторами. Для территории Молдовы такие карты построены В.В. Сластихиным (1964), Н.И. Дроздом и З.А. Горецкой (1966).

Карты отражают пространственное изменение средней мутности воды, обусловленное зональными факторами твердого стока. В бассейнах малых и временных водотоков азональные, интразональные и антропогенные факторы значительно трансформируют твердый сток и снятые для них с карты значения мутности воды, даже при введении поправочных коэффициентов в зависимости от размера площади водосбора, могут в десятки раз отличаться от фактических величин.

Вторую группу составляют эмпирические региональные формулы, связывающие сток наносов с расходами воды, средним уклоном водосбора, глубиной эрозионного вреза реки и т.д. Такого рода предложения сделаны в работах К.Н. Лисициной (1972, 1974, 1977) и Л.Г. Ткачевой (1974), Н.Н. Бобровицкой (1967, 1977), З.А. Горечкой (1972, 1974), Г.И. Швевса и С.А. Антоновой (1988) и других авторов, получивших отражение в действующем ныне Руководстве по гидрологическим расчетам.

К третьей группе можно отнести разработки, основанные на теории транспорта наносов - модели и методы: Е.А. Замарина (1951), А.Н. Гостунского (1954), С.Х. Абальянца (1954), У.И. Леви (1957), К.И. Россинского и И.А. Кузьмина (1958), А.В. Караушева (1960), Ц.Е. Мирцхулавы (1970) и другие. По ним скорее всего могут быть оценены средняя единичная мутность речной воды или профиль изменения ее мгновенного значения по глубине потока, а не среднеегодулетняя величина стока наносов.

Четвертую группу представляют модели, отражающие гидродинамическую концепцию формирования жидкого и твердого стока рек. Наиболее полные исследования в этом направлении выполнены Г.И. Швевсом (1974). Для практических расчетов им предложена логико-математическая модель. Проверенная нами, она дала значительно лучшие результаты расчета нормы годового расхода взвешенных наносов, чем методика известного нормативного документа. Но это получилось благодаря надежной оценке нормы жидкого годового стока, рассчитанного по нашей методике и уточненному нами значению фактора  $\phi(m_0)$ , отражающего влияние внутригодовой неравномерности жидкого стока на сток наносов.

Основным недостатком всех отмеченных методов расчета стока наносов является отсутствие в них таких аргументов, которые в достаточной степени представляют существо пространственно-временной закономерности процесса формирования стока наносов в реках и временных водотоках.

Процесс формирования стока наносов, трансформация его средних годовых (зональных) значений в значительной степени определяются пространственной и временной редукцией атмосферных осадков и жидкого стока, воздействием русло-пойменного регулирования дождевых и талых вод и ряда местных факторов. Следует учитывать и то обстоятельство, что рассматриваемая территория относится к зоне активного проявления ливневой деятельности, когда нередко только за один-два паводка формируется сток наносов, практически весь

полной годовой его массе. Принимая во внимание импульсивную, дискретную природу формирования годовой массы наносов и следуя по аналогии с жидким паводочным стоком, пространственную редукцию годового стока наносов можно выразить так:

$$M_R/B_R = 1/(F+1)^{n_1} \quad (34)$$

Здесь  $M_R$  - модуль стока наносов, т/км<sup>2</sup> за год;  $B_R$  - сбывный эрозионный параметр склонового притока наносов, поступающих в русловую сеть, той же размерности;  $n_1$  - показатель степени.

Логически вполне возможно принятие выражения (Е.Д. Голченко, 1980):

$$1/(F+1)^{n_1} = K_m K_n / [1 + (t_{p(s)}/T_{o(s)})], \quad (35)$$

где  $T_{o(s)}$  и  $t_{p(s)}$  - соответственно продолжительность склонового и руслового притока наносов взвесенесущего водного потока;

$$K_m = [(m_R+1)/m_R] / [(n_R+1)/n_R], \quad (36)$$

$K_n$  - коэффициент, зависящий от соотношения:

$$K_n = (T_{o(s)} + t_{p(s)}) / T_n(s);$$

$m_R$  и  $n_R$  - показатели формы графиков руслового и склонового притока наносов;  $T_n(s)$  - время формирования руслового гидрографа стока наносов.

Соотношение между максимальной ординатой склонового притока ( $B_R$ ) и средним расходом наносов ( $R_C$ ) можно представить в виде:

$$B_R/R_C = (n_R+1)/n_R. \quad (37)$$

Из выражений (35) и (37), после несложных преобразований, получается:

$$B_R = [(n_R+1)/(n_R T_{o(s)})] W_R. \quad (38)$$

Здесь  $W_R$  - нередуцируемая (зональная) масса стока наносов в расчетном створе реки. Дробь в скобках этого выражения можно выразить как функцию временной редукции осадков за время склонового добегающего  $t_{c,s}$  взвесенесущего потока:

$$\Psi(t_{c,s}) = (n_R+1)/(n_R T_{o(s)}). \quad (39)$$

Для определения  $M_R$  или  $W_R$  Н.Н. Бобровицкой (1977) предложено вполне приемлемое выражение:

$$M_R = F^{-1} W_R = A_R M_o^{\alpha_1}, \quad (40)$$

где  $A_R$  - параметр, условно характеризующий мутность речного потока и комплекс азональных факторов;  $M_o$  - средний многолетний модуль жидкого стока. Из выражений (34) и (38-40) получена общая

редукционная модель, оценивающая средний модуль стока наносов через главные аргументы:

$$M_R = \Psi(\tau_{c,s}) A_R M^{\alpha_1} \alpha / (F+1)^{n_1} \quad (41)$$

На основании обработки натуральных материалов по стоку вод и наносов путем построения системы графических связей установлено:  $n_1=0,8$ ;  $\alpha_1=1,35$ .

Принимая, что вполне допустимо, произведение  $\bar{\Psi}(\tau_{c,s}) A_R$  за функцию  $\Phi(J_c)$ , характеризующую воздействие на твердый сток кинематики взвешенного потока, можно записать

$$\Phi(J_c) = [M_R (F+1)^{0,8}] / M_\alpha^{1,35}$$

С практической точки зрения эту функцию удобнее представить в показателем виде:

$$\Phi(J_c) = \exp(J_c / J_0) \quad (42)$$

где  $J_0$  - по своему аналитическому смыслу характеризует приведенное значение уклона склона, при котором его воздействие на смыв почвы замедляется (нейтрализуется) влиянием других факторов, так как функция  $\Phi(J_c)$  при  $J_c = J_0$  стремится к единице.

Анализ опытного материала показал, что величина  $J_0$  зависит от механического состава почво-грунтов склонов водосбора. При преобладании глинистых и тяжелосуглинистых почв  $J_0=35-40^\circ/\infty$ , а для суглинистых и супесчаных -  $30^\circ/\infty$ .

С учетом выражений (41) и (42) в итоге получены расчетные редукционные модели для оценки модуля стока наносов и их массы в окончательном виде:

$$M_R = M_\alpha^{1,35} / (F+1)^{0,8} \exp(J_c / J_0) \quad (43)$$

$$W_R = [M_\alpha^{1,35} F (F+1)^{-0,8}] \exp(J_c / J_0) \quad (44)$$

Формула (43) применима для водосборов с площадями от 2 до 1000 км<sup>2</sup>.

В пятой главе представлены исследования и расчеты бокового притока вод и наносов к акватории водоемов. Из-за отсутствия непосредственных измерений исходные значения наносов определены расчетным путем. Для этого использована формула, в основу которой положен седиментационный баланс:

$$W_{R,6} = [(V_3 - V_V) / (T_3 F_a) - W'_{R1}] (1 - P_6) / (1 - P_n) \quad (45)$$

Здесь  $W'_{R1}$  - масса наносов, поступающих в водоем по основному водотоку к входному створу водоема (в тоннах за год);  $P_n$  и  $P_6$  - доли органических веществ, содержащихся в почвах прилегающего склона и в иловых отложениях водоема. Величины  $W_{R,6}$  определены по данным

о заилении верховых водоемов и приняты в качестве исходных для получения расчетной модели.

Модули годового притока наносов до входного створа водоема (М<sub>Р.в</sub>) и с прилегающей к нему части водосбора (М<sub>Р.б</sub>) можно выразить так:

$$M_{Р.в} = M_R [(F+1)/(F_B+1)]^{n_1}, \quad (46)$$

$$M_{Р.б} = M_R [(F+1)/(F_B+1)]^{n_2}. \quad (47)$$

Здесь М<sub>Р</sub> - модуль годового притока наносов до створа плотины, т/км<sup>2</sup> год; F, F<sub>в</sub> и F<sub>б</sub> - площади водосбора до створа плотины, входного створа и площадь, формирующая боковой приток наносов, км<sup>2</sup>.

За М<sub>Р</sub> лучше всего принять средневзвешенную величину:

$$M_R = (F_B M_{Р.в} + F_B M_{Р.б}) / (F_B \alpha_B + F_B \alpha_B), \quad (48)$$

где α<sub>в</sub> и α<sub>б</sub> - коэффициенты, представляющие собой множители в скобках формул (46) и (47).

При этом общая масса наносов, поступающих в водоем, будет равна

$$W_R = F M_R = K_{ред} (F_B M_{Р.в} + F_B M_{Р.б}), \quad (49)$$

где K<sub>ред</sub> - коэффициент, характеризующий переход редуцированной части наносов к ее фактическому значению.

Изложенное позволило получить расчетную формулу для определения общей массы бокового притока наносов:

$$W_{Р.б} = M_R F_B \alpha_B K_{ред}. \quad (50)$$

Расчеты по формуле (50) показали, что доля бокового притока наносов в подавляющем числе случаев составляет 20-30% от общей массы наносов, поступающих в водоем. В отдельных прудах (очень малых водотоках) эта доля может быть значительно больше.

Существующие методы количественной оценки водной эрсии почво-грунтов условно делятся на четыре группы: балльной и сравнительной оценки, эмпирические формулы и гидродинамические модели.

Первые две группы методов, по сути своей, непригодны для решения нашей задачи. Из эмпирических следует отметить: формально-статистические модели, разработанные на базе чисто эмпирической информации и представляющие собой уравнения парной или множественной корреляции - формулы А.У. Цинга, Г.У. Махгрейва, В.С. Федотовя, Д.Д. Германюка, И.С. Константинова и др.; модели, основывающиеся на более полном учете априорных знаний о склоновом эрозионно-аккумулятивном процессе, - графо-аналитические

модели Государственного гидрологического института (ГГИ), вошедшие в нормативный документ ВСН-04-77; методические рекомендации по применению материалов аэро- и наземной фотосъемки для определения характеристик водной эрозии (1979).

Гидродинамические модели, получившие применение в последние годы, основаны на дифференциальных уравнениях гидродинамики, описывающих движение монофазных и бифазных потоков. Это модели: в СНГ - Л.С. Кучмента, Ю.Б. Виноградова, А.Г. Иваненко, С.А. Кондратьева, В.Ю. Смахина, А.А. Светличного и др.; в странах дальнего зарубежья - Wischmeier, Woolhiser, Foster, Meyer, Michand, Sorooshien и др.

Такие модели, глубоко и разносторонне описывающие процесс формирования жидкого и твердого стока, в практическом применении встречают значительные трудности и нередко приходится сложный процесс представлять в весьма упрощенном (схематизированном) виде, прибегая к эмпирическому отражению отдельных его сторон, и многофакторность процесса заменять на учет небольшого числа факторов, оценка которых производится по доступной исходной информации.

Кроме описанных, имеются модели, занимающие промежуточное положение между эмпирическими и гидродинамическими: уравнения Уишмейера-Смита, логико-математическая модель Г.И. Швевса, модель смыва И.К. Срибного, формула Г.П. Сурмача, А.В. Караушева и И.В. Боголюбовой, модель единого эрозионно-аккумулятивного процесса Е.А. Гаршинова, и некоторые другие. Из них особого внимания заслуживает логико-математическая модель Г.И. Швевса, хорошо описывающая процессы формирования склонового и овражно-балочного стока наносов при выпадении дождей и таянии снега. К сожалению, она не доведена до кондиции практического применения для расчета заиления прудов и водохранилищ.

Не менее интересна модель А.В. Караушева и И.В. Боголюбовой - гидравлическая, оценивающая сток наносов по транспортирующей способности потока. Она также не доведена до уровня практического использования для расчета склоновых и овражно-балочных потоков и особенно в случае, когда речь идет об оценке бокового притока наносов в искусственные водоемы.

Наилучшим образом процесс формирования склоновой эрозии почв может быть исследован с помощью полевых экспериментов и особенно при моделировании линейных размывов на распаханных склонах.

Такие эксперименты выполнены автором на склоне бассейна руч. Галбенки - левом притоке реки Когильник, на специально оборудованном полигоне с тремя стоковыми площадками. Была поставлена серия экспериментов при концентрированном напуске воды, образующем установившийся режим водоподачи. Почвенный покров полигона представлен обыкновенными тяглыми суглинками черноземами средней мощности.

Опыты преследовали три основные цели: апробирование гидрометрического способа измерения стока наносов в линейном склоновом потоке с высокой концентрацией наносов; выявление динамики стока наносов в процессе размыва склона; транспорта и аккумуляции наносов по длине склона; оценку воздействия твердой фазы на кинематику взвешенного потока.

Анализ экспериментальных данных по натурному моделированию линейных размывов на склоне позволяет сделать следующие основные выводы:

1. При высококонцентрированных склоновых потоках (более  $100 \text{ кг/м}^3$ ) гидрометрический способ отбора проб воды с помощью батометров длительного наполнения дает заниженные значения стока взвешенных наносов.
2. В процессе формирования размоины по длине склона градиенты мутности увеличиваются и достигают максимального значения в конце размоины.
3. Временной сдвиг максимумов мутности и стока воды при вслновом движении потока в основном определяются гидравлическими особенностями потока, проявляющимися в опережающем росте дополнительного уклона, скорости и степени концентрации потока наносами.
4. При установившемся режиме движения взвешенного склонового потока и повторных напусках воды временной транспорт наносов (мутность воды) убывает по мере углубления размоины.
5. При высокой концентрации в потоке взвешенных частиц (более  $100 \text{ кг/м}^3$ ) изменяется его кинематическое свойство.

Кинематическая особенность нанососодержащего потока состоит в том, что, согласно Г.И. Баренблатту, К.В. Гришанину и Н.И. Грийшину, взвешивание значительного количества наносов в потоке приводит к ослаблению энергии пульсации и, как следствие этого, к снижению уровня его турбулентности.

Экспериментальные исследования в области кинематики склоновых потоков значительно отличаются от установленных К.И. Россинским, Л.И. Якуловой и С.Х. Абальцевым режимов и критериев. Значительная разница

Степень ослабления пульсационной скорости  $\sigma_{us}$  хорошо выявляется по соотношению Г.И. Баренблатта:

$$\sigma_{us} / \sigma_u = (1 - K_0)^{1/2}, \quad (51)$$

где  $\sigma_{us}$  и  $\sigma_u$  - соответственно среднеквадратические значения пульсационных скоростей жидкости, несущей взвесь, и чистого потока;  $K_0$  - безразмерная кинематическая характеристика (число А.Н. Колмогорова), равное отношению работы взвешивания к полной энергии турбулентности.

При малом содержании взвешенных частиц величина  $K_0 \ll 1$  и соотношение в формуле (51) стремится к единице. При высоких концентрациях, что характерно для склоновых ливневых потоков,  $K_0 \rightarrow 1$ , а  $\sigma_{us} \rightarrow 0$ .

По данным экспериментальных исследований М.А. Дементьева и М.В. Печенкина заметное снижение турбулентности наступает при объемной концентрации (мутности) взвеси  $S_0$ , превышающей 0,1 объема среды. В опытах других авторов (R. A. Bagnold, Н.Н. Гришин) существенное снижение турбулентности обнаружено при  $S_0 = 0,3$ , а ее полное угасание при  $S_0 = 0,35$ .

Снижение турбулентности потока приводит к уменьшению коэффициента переноса количества движения, который прямо пропорционален универсальной постоянной  $\lambda$ , именуемой числом Прандтля-Кармана. Чтобы компенсировать уменьшение коэффициента переноса количества движения при постоянной глубине, продольная скорость взвесенесущего потока будет возрастать. Таким образом, благодаря присутствию значительного количества взвешенных частиц, двухфазный поток, при той же глубине и уклоне, будет двигаться быстрее потока "чистой воды".

Спервые это было обнаружено в опытах Ванони (1963), доказавшего правомерность логарифмического закона распределения скоростей как для взвесенесущего, так и для потока с "чистой водой". При увеличении концентрации наносов и их гидравлической крупности опытные данные приводят к появлению неравенства  $\lambda_s < \lambda$ , где  $\lambda_s$  и  $\lambda$  - универсальная постоянная Кармана для двухфазного и чистого потока.

Для потока, несущего взвешенные наносы, величина универсального параметра  $\lambda_s$  зависит от степени концентрации (мутности) наносов  $S_0$  и их гидравлической крупности  $\omega_0$ . Наиболее удачный вариант такой связи получен в работе А. и К. Загустинных (1964):

$$\lambda_s = \lambda / [1 + 60 S_0 \omega_0 / (\gamma_s V_*)]^{1/2} \quad (52)$$

Здесь  $\gamma_s$  - плотность наносов;  $V_*$  - динамическая скорость потока, равная  $V_* = \sqrt{ghJ}$ , где  $h$  - глубина;  $J$  - уклон;  $g$  - ускорение силы тяжести.

Несмотря на некоторый эмпиризм, модель (52) все же соответствует основным теоретическим требованиям турбулентного потока. Так, при  $S_0=0$  и  $\omega_0=0$ , из (52) следует логическое равенство  $\lambda_s = \lambda$ .

Это означает, что поток характеризуется однофазной структурой. Поэтому выражение (52) можно использовать для анализа и оценки влияния твердой фазы взвесенесущего потока на его скоростные характеристики. Решая уравнение (52) относительно  $S_0$  получим:

$$S_0 = V_*^2 \gamma_s / 60 \omega_0 [(\lambda^2 / \lambda_s^2) - 1]. \quad (53)$$

Исследования по транспорту наносов (К.И. Россинский и И.А. Кузьмин) показали наличие устойчивой линейной связи между средней мутностью  $S_0$  и безразмерным критерием  $V_*^3 / gh \omega_0$ :

$$S_0 = \beta V_*^3 / (g h \omega_0). \quad (54)$$

Здесь  $V_*$  - скорость взвесенесущего потока;  $\beta$  - безразмерный параметр, характеризующий степень загромождения потока наносами.

Приравнявая последние два выражения и решив относительно средней скорости  $V_*$  (при  $V_*^2 = ghJ$ ), получим:

$$V_* = [\gamma_s \omega_0 / (60 \beta) (\lambda^2 / \lambda_s^2) - 1]^{1/3} h^{2/3} J^{1/3}. \quad (55)$$

Сомножитель в квадратных скобках представляет кинематическую компоненту взвесенесущего потока, которая, с одной стороны, является параметром сопротивления, а с другой, характеристикой гашения турбулентности бифазного потока. Для упрощения можно записать:

$$V_* = m_s h^{2/3} J_c^{1/3}. \quad (56)$$

Это есть уравнение динамического равновесия взвесенесущего потока, учитывающее через параметр  $m_s$  воздействие твердой фазы на его кинематику.

Величина безразмерного параметра  $\beta$  в формулах (54) и (55) может изменяться в определенных пределах. Его оценка произведена по зависимости между средней мутностью склонового потока  $\rho_s = S_0 \gamma_s$  и соотношением  $V_* / hc^3$ , построенной по опытным данным.

По зависимости получены значения  $\beta$ , изменяющиеся от 0,011 до 0,6. Этот диапазон изменения величины  $\beta$  для склоновых потоков значительно больше, чем установленный К.И. Россинским, Л.И. Викуловой и С.Х. Абальянц по рекам и каналам. Значительная разница

между экстремумами коэффициента  $\beta$  связана с более широкой зоной транспорта наносов на склонах, обусловленной, в свою очередь, легкой размываемостью и несвязностью почво-грунтов, слагающих ложе склоновых микроручейков.

Формулы (55) и (56) могут быть использованы для расчета средней скорости взвесенесущих склоновых потоков, Пример его в кратком виде приведен в таблице 3.

Таблица 3.

Определение средней скорости течения бифазного склонового потока ( $J_c=0,2$ ;  $h=0,019$  м;  $\omega_0=0,005$  м/с;  $\beta=0,31$ ;  $\lambda=0,4$ ; средняя скорость чистого потока  $V=0,39$  м/с).

| Фиксированн. в опыте объемная мутность, $S_0$ | Число Кармана, $\lambda_s$ | Параметр, $m_s$ | Средняя скорость бифазного потока, $V_s$ (м/с) | $V_s/V$ |
|---|----------------------------|-----------------|--|---------|
| 0,007   | 0,395                      | 11,8            | 0,47   | 1,22    |
| 0,10  | 0,390                      | 17,0            | 0,68   | 1,74    |
| 0,20  | 0,30                       | 21,5            | 0,86   | 2,20    |
| 0,30  | 0,27                       | 24,7            | 0,99   | 2,50    |
| 0,50  | 0,23                       | 29,5            | 1,18   | 3,02    |

Процессы формирования микрорусел на склонах, также как и эрозионно-аккумулятивные процессы в границах речного водосбора, имеют вполне определенные черты. Это позволяет рассматривать единый комплекс водозрозионных процессов суши и применять к ним некоторые общие подходы к исследованию. Поэтому для разработки модели стоко-эрозионного аккумулятивного процессов на склоне следует принять ряд допущений и ограничений:

- движение бифазного потока происходит по однородной поперечности при осредненном уклоне, постоянной шероховатости и определенном микрорельефе;
- водообразование и концентрация наносов принимаются как функция времени;
- движение взвесенесущего потока описывается моделью, оценивающей воздействие твердой фазы на среднюю скорость стекания.

Современный уровень моделирования эрозионных процессов исходит из условия нестационарности склонового стока и водной эрозии. При этом движение рассматривается как неустановившееся, которое описывается системой уравнений кинематической волны для взвесенесущего потока. Для фазы ливневого водообразования эта система уравнений имеет вид:

$$V_s = m_s \cdot h^{n_2} \cdot J_c^{n_1}$$

$$(n_s + 1) V_s (\partial h / \partial x) + (\partial h / \partial t) = a_s \quad (57)$$

Здесь  $h$  - глубина стекающего бифазного потока, мм;  $J_c$  - уклон склона;  $m_s$  - кинематический коэффициент, оценивающий шероховатость и механизм гашения турбулентности потока;  $a_s$  - интенсивность водообразования за период стокообразования, начиная с момента  $t$ ;  $n_1$  и  $n_2$  - показатели степени воздействия уклона и глубины бифазного потока на его скоростной режим.

Решение системы уравнений (57) позволяет получить формулы для оценки основных компонентов гидрографа взвешенного склонового потока и, прежде всего, для времени склонового добега  $T_c(s)$ :

$$T_c(s) = L_c^{n_3} / (m_s(c) J_c^{n_1} a_s^{n_2}) \quad (58)$$

Здесь  $L_c$  - средняя длина склона, м.

Значения параметров этой формулы чаше и другими авторами (по материалам многочисленных экспериментов) получены такими:  $n_1 = 0,25-0,33$ ;  $n_2 = 0,33-0,50$  и  $n_3 = 0,5-0,67$ .

Для определения интенсивности водообразования за период склонового добега применяется формула:

$$a_s = h_d (n_s - 1) / (n_s T_{o(s)}) \quad (59)$$

где  $T_{o(s)}$  - продолжительность склонового притока;  $n_s$  - показатель степени при соотношении  $(T_c(s)/T_{o(s)})$  в случае моделирования графика склонового притока наносов в выборке от его максимальной ординаты. Для треугольной формы такого графика  $n_s = 1$ , для параболического -  $n_s = 0,5$ .

В конкретном или расчетном варианте выражение для определения  $T_c(s)$  представляется в виде:

$$T_c(s) = L_c^{2/3} / \{m_s(c) J_c^{1/3} h_d^{2/3} [(n_s + 1) / (n_s T_{o(s)})]^{2/3}\} \quad (60)$$

или

$$T_c(s) = L_c^{2/3} / \{m_s(c) J_c^{1/3} h_d^{2/3} [\bar{\Psi}(T_c(s))]\}^{2/3} \quad (61)$$

Здесь  $\bar{\Psi}(T_c(s)) = (n_s + 1) / n_s T_{o(s)}$  - функция временной редукции стокообразующих осадков (водообразования).

Реализация этих уравнений возможна методом последовательных приближений с введением новых функций:

$$T_c(s) [\bar{\Psi}(T_c(s))]^{2/3} = L_c^{2/3} / [m_s(c) J_c^{1/3} h_d^{2/3}] = \Phi_s \quad (62)$$

Величина  $\Phi_s$ , как видно, связана с морфологическими характеристиками склона (длиной, уклоном), кинематическим параметром  $m_{s(c)}$  и глубиной взвесенесущего потока  $h_d$ . Оценка двух последних параметров также производится методом последовательного приближения. Чтобы избежать такого решения и упростить расчет было принято:

$$m_{s(c)} = 12,2 [s_0 \omega_0 / (h_d J_c \beta)]^{1/3}, \quad (63)$$

$$So' = (10^{-3} / \gamma_s) [h_d^{0,35} \exp(J_c / J_0)], \quad (64)$$

$$h_d = 0,25 N_{1\%} \varphi_1 \lambda_p \quad (65)$$

Здесь  $So'$  - объемная мутность склонового потока, значение которой оценивается по формуле (64), основанной на выражении (41) для случая, когда параметр пространственной редукции  $1/(F+1)^{0,8} \rightarrow 1$ ;  $N_{1\%}$  - суточный суммарный осадков вероятностью превышения 1%, мм;  $\varphi_1$  - сборный коэффициент паводочного стока;  $\lambda_p$  - переходный коэффициент от вероятности превышения  $P=1\%$  к другой вероятности. При  $P=25\%$  величину  $\lambda_p$  рекомендуется принимать равной 0,45.

С учетом выражений (63), (64) расчетная формула для  $\Phi_s$  не требующая применения метода итерации, имеет вид:

$$\Phi_s = L_c^{2/3} / \{14,4 (\omega_0 / \gamma_s)^{1/3} [\exp(J_c / J_0)]^{1/3} h_d^{0,47}\}. \quad (66)$$

По известной величине гидроморфологического параметра  $\Phi$  и функции временной редукции осадков устанавливается искомая продолжительность склонового притока наносов с дождевыми водами  $T_{0,s}$ , а через нее определяется расчетная глубина бифазного потока:

$$h_{d,s} = \Psi(T_{0,s}) N_{1\%} \varphi_1 \lambda_p \quad (67)$$

где  $\Psi(T_{0,s})$  - ордината кривой редукции осадков, отвечающая расчетному времени  $T_{0,s}$ .

Расчет массы бокового притока наносов от дождевых вод предлагается производить по выражению

$$WR_d = F_6 h_{d,s}^{1,35} \exp(J_c / J_0) \quad (68)$$

Процессы формирования стока наносов от талых и дождевых вод, как показал тщательный анализ, практически можно считать идентичными. Поэтому для расчета стока наносов талого происхождения может быть применена формула такой же структуры, что и для наносов дождевого происхождения. Предлагается формула

$$WR_t = F_6 h_t^{1,35} \exp(J_c / J_0) \quad (69)$$

Здесь  $h_t$  - средний многолетний слой талого стока (весеннего половодья), оцениваемый по региональным формулам, мм.

Общая масса годового стокового притока наносов, поступающая с дождевыми и тальными водами в пруды и водохранилища, представляется суммой:

$$W_{R0} = W_{RD} + W_{RT} \quad (70)$$

Предлагаемые автором формулы (68) и (69), подчеркиваем еще раз, могут применяться при площадях склонов или обрабно-балочных водосборов, образующих стоковой приток, до 2,0 км<sup>2</sup>. При больших площадях используется формула (43).

В шестой главе дается оценка надежности формул автора и других, наиболее используемых в практике, по различным критериям: по средней ошибке расчета; по коэффициенту расхождения или несоответствия Г. Тейла

$$U = \sqrt{\sum (M_R - M'_R)^2} / \sqrt{\sum M'^2_R} \quad (71)$$

(где  $M_R$  и  $M'_R$  - соответственно вычисленное и фактическое значения модуля притока наносов) по критерию точности и применимости методики, выраженному отношению  $\bar{S}/\sigma$  ( $\bar{S}$  и  $\sigma$  - средняя квадратическая ошибка расчета и среднее квадратическое отклонение от нормы). Результаты оценки надежности формул приведены в таблице 4.

Таблица 4

### Оценка надежности расчета нормы годового притока наносов в искусственные водоемы.

| Характер материала | Вид эталонных или материалов   | Показатели надежности  |                  |                    |
|--------------------|--|------------------------|------------------|--------------------|
|                    |  | U<br>[по формуле (71)] | $\bar{S}/\sigma$ | средняя ошибка (%) |
| 1                  | 2  | 3                      | 4                | 5                  |
| Независимый        | 1. Расчет нормы годового притока речных наносов:<br>а) формула автора (43)<br>Данные по объемам заиления водоемов (42 объекта) | 0,49                   | 0,17             | ±27-47             |
| Зависимый          | Данные наблюдений гидротехнической сети (19 объектов)  | 0,17                   | 0,18             | ±20-43             |
| Зависимый          | Материалы обследований верхних водоемов на заиление (63 объекта)   | 0,35                   | 0,62             | ±18-25             |

| 1           | 2   | 3    | 4    | 5      |
|-------------|---|------|------|--------|
|             | б) Формула Указания по расчету стока наносов  |      |      |        |
| Независимый | Данные наблюдений гидрометрической сети (19 объектов)   | 0,85 | 0,97 |        |
| Независимый | Материалы обследований водоемов на заиление (105 объектов)                                      | 0,64 | 1,32 |        |
| Независимый | в) Формула Г.И. Швевса<br>Данные наблюдений гидрометрической сети (19 объектов)                 | 0,23 | 0,64 |        |
|             | 2. Расчет боковой точности наносов к акватории водоема по методике автора [формулы (68) и (69)] |      |      |        |
| Независимый | Материалы по заилению водоемов (26 объектов)  | 0,34 | 0,55 | ±20-30 |

Отметим, что в практических расчетах твердого стока сейчас обычно молчаливо обходится вопрос о точности его расчета, хотя, общеизвестно, что эта точность весьма низкая и нередко составляет 100-200%.

### ВЫВОДЫ

1. Теоретическая концепция о генетическом подходе при расчетах нормы годового притока (стока) вод в искусственные водоемы, да и сам метод ее оценки, реализованный автором на территории Молдовы и в Украинских Карпатах, а также исследования других авторов, использовавших этот метод в различных регионах СНГ (Белорусское Полесье, Юг Украины и др.), подтверждают научную и практическую значимость такого направления в региональной гидрологии.

2. Нестационарность процесса наносообразования, связанная с эпизодическим характером притока наносов в водоем, определяют механизм такого процесса, который проявляется через пространственно-временную редукцию модулей стока наносов, зависящую, в свою очередь, от редукции дождевых осадков и паводочного стока.

3. Теоретические и эмпирические обобщения пространственной редукции модулей стока наносов, основанные на анализе процесса трансформации склонового притока наносов в русловой сети, позволили разработать редукционную модель притока наносов в водоем, исходящую из учета годового притока вод, размера площади

водосбора до входного створа водсема и функции среднего уклона. Предлагаемая модель (43) может быть рекомендована для водосборов с площадью в диапазоне от 2 до 1000 км.кв..

4. Годовой модуль стока наносов с прилегающей к водоему части речного водосбора (с  $F_6 < 2,0$  км.кв.) определяется обычно по наносам поступающим с дождевыми и талыми водами. Полученные для этого формулы (68) и (69) исходят из учета параметров графика склонового притока вод и наносов, кинематических особенностей взвесенесущего потока.

5. Довольно высокая надежность разработанных моделей расчета жидкого и твердого стока дает основание рекомендовать их для использования в гидрологических расчетах, выполняемых для проектирования искусственных водоемов. Они могут быть применены не только для территории Молдовы, но и в других странах СНГ, имеющих сходные с Молдовой природные условия формирования жидкого и твердого стока.

Разработки могут быть приняты за основу для подготовки нового нормативного документа по расчету жидкого и твердого стока при проектировании прудов и водохранилищ.

Основные положения диссертации изложены в следующих работах:

#### МОНОГРАФИИ

1. Вопросы мелиоративной гидрологии. Методические указания для научно-исследовательской работы студентов по специальности "Гидромелиорация". - Кишинев: изд. Кишиневского с/х ин-та, 1987. - 50 с. /соавтор А.Н. Бефани/.
2. Очистка водохранилищ и использование илов для восстановления плодородия малопродуктивных почв Молдовы. - Кишинев, МолдНИИТЭИ, 1991. - 66 с. /соавторы: М.Д. Волощук, В.С. Снеговой, А.И. Филиппенков/.
3. Искусственные водоемы Молдовы. (Состояние, использование, охрана, гидрологические расчеты) - Кишинев: Штиинца, 1992, - 210 с. /соавторы: Н.В. Лалыкин, А.И. Филиппенков/.

#### НАУЧНЫЕ СТАТЬИ

4. Расчет нормы стока временных водотоков и горных рек Украинских Карпат. - Труды УкрНИГМИ, 1967, вып. 69, с. 106-137, /соавтор А.Н. Бефани/.
5. Метод расчета вероятных максимальных расходов ливневых и дождевых вод для рек и временных водотоков Украинских Карпат /с

- применением номограмм/ - Метеорология, климатология и гидрология, 1989, т. 1, кн. 5, с. 154-164.
- 6 К методике определения расчетной продолжительности осадков. В сб. Проблемы географии Молдавии, 1971, вып.6, с.37-43.
7. Взаимосвязь пространственно-временной вариации расчетных слоев ливневых осадков. - Метеорология и гидрология, 1972, №8, с. 98-100
- 8 Учет динамики уклона склона в зависимости от его формы - В сб.: Научный прогресс и вопросы мелиорации. Кишинев, 1972, с. 47-48 /соавтор Е.С. Спиридонов/.
- 9 Расчет ливневых осадков на территории Молдавии для гидро-мелиоративных целей. - Труды Кишиневского с/х ин-та, 1972, с. 35-42.
- 10 Расчетные формулы инфильтрационной способности черноземных почв Молд. ли. - Труды Кишиневского с/х ин-та, 1972, т.90, с. 27-34. /соавтор Г.С. Спиридонов/.
- 11 Современное состояние изученности ресурсов поверхностных вод Молдавской ССР и задачи их дальнейшего исследования с учетом перспектив развития производительных сил республики - В сб.: Технический прогресс в механизации и гидромелиорации с/х производства. - Кишинев, 1973, с. 85-86.
- 12 Упрощение генетической формулы стока для расчета максимальных модулей дождевых паводков. - Труды Кишиневского с/х ин-та 1974, с. 113-119. /соавтор Е.Д. Голченко/.
- 13 Анализ процессов формирования ливневого стока на экспериментальных водосборах Молдавской стоковой станции. - В сб.: Гидравлика и гидротехника. Труды Кишиневского с/х ин-та, т.122, Кишинев, 1974, с. 156-162.
- 14 Исследование морфометрических показателей малых водосборов и их роль в процессе формирования ливневого стока. - В сб. Гидравлика и гидротехника, Труды Кишиневского с/х ин-та, т.122, Кишинев, 1974, с. 163-170.
- 15 Об учете параметров кривых эквидистант при расчетах ливневого стока на малых водосборах. - В сб.: Гидравлика и гидротехника. Труды Кишиневского с/х ин-та, т. 122. Кишинев, 1974, с. 170-174 /соавтор Е.Д. Голченко/.
- 16 О выборе оптимальной порозности опытов при определении инфильтрационной способности почво-грунтов инфильтрометрами. - В сб.: Мелиорация и орошаемое земледелие. Труды Кишиневского с/х ин-та, т. 116 Кишинев, 1974, с. 92-96.
- 17 Об учете циклических колебаний и внутрiryрядной связи стока малых рек Молдавии. Труды Кишиневского с/х ин-та, 1975, т. 150 с. 116-123.

18. К вопросу о применении автокорреляционных функции для исследования стока зарегулированных рек Молдовы - Труды Кишиневского с/х ин-та, 1975, т. 150, с. 110-114.
19. Влияние морфометрических характеристик склона на активизацию процессов стока и смыва почв. - Труды Львовского гос. унив-та, 1976, вып. 18, с. 38-41 /соавтор М. Д. Волощук/.
20. Оценка пространственных корреляционных функций годового стока малых рек МССР. - Труды Кишиневского с-х института, 1977, т. 158, с. 119-122 (соавтор Н.И. Петрова).
21. Анализ однородности пространственной корреляционной функции и оценка погрешностей пространственной интерполяции годового стока рек Молдавии. - Труды Кишиневского с/х ин-та, 1978, с. 81-86 /соавторы Н.В. Лалыкин, Н.Е. Петрова/.
22. Исследование коэффициента стока применительно к определению потерь воды на испарение с водной поверхности водохранилищ и прудов Молдавии. - Труды Кишиневского с/х ин-та, 1978, с. 80-83 /соавтор Н. В. Лалыкин/.
23. Определение суммарной емкости искусственных водоемов Молдавии. - Труды Кишиневского с/х ин-та 1979, с. 28-33 /соавторы Н. В. Лалыкин, Л.Н. Посошин/.
24. Статистический анализ проверки гипотезы однородности данных по годовому стоку с целью гидрологического районирования территории Молдовы. - Труды Кишиневского с/х ин-та, 1979, с. 36-41. /соавтор Н.Е. Петрова/.
25. Некоторые вопросы методики экспериментального моделирования линейных размывов. - В кн.: Современные аспекты изучения эрозионных процессов. - Новосибирск: Наука, 1980, с. 197-210 /соавтор М.Д. Волощук/.
26. Усовершенствованная модель расчета параметров склонового притока ливневых вод. - В сб.: Актуальные проблемы водохозяйственного строительства. Ровно, 1980, с. 24-25.
27. Результаты полевых исследований прудов Молдавии на заиление. - Труды Кишиневского с/х ин-та, 1981, с. 54-58 /соавтор Н.В. Лалыкин/.
28. Водно-физические свойства техногенно преобразованных почв на мелиорируемых овражных землях. - В сб.: Физика и мелиорация почв Молдавии. Кишинев, 1982, с. 74-89 (соавторы М.Д. Волощук, В.В. Загоровский).
29. К учету климатических особенностей взвесенесущих склоновых потоков в расчетах ливневого стока. - Труды УкрНИИ Госкомгидромета, 1982, вып. 220 с. 25-28 /соавтор Н.В. Лалыкин/.

30. Аналитическая модель впитывания воды в почву при переменной интенсивности дождя. - В кн.: Эродированные почвы и повышение их плодородия. Новосибирск: Наука, 1985, с. 72-78. /соавтор М.Д. Волощук/.
31. Биогенный и механический состав иловых отложений Молдавии. - вып. 5; Иркутск, 1986, с. 113-114. /соавторы Н.В.Лалыкин, А.Г. Гушля/.
32. Оценка заиления Гидигичского водохранилища для повышения эксплуатационной эффективности. - Труды Кишиневского с/х ин-та, 1986, с. 72-78 /соавтор М.З. Кубарь/
33. Динамика заиления малых водоемов. - В сб.: Вопросы мелиорации земель в Молдавии. Кишинев, 1989, с. 39-47.
34. Местные ресурсы поверхностных вод Молдавии в связи с антропогенными изменениями годового стока. В кн.: Тезисы Докладов IV съезда геогр. общества Молдавии. Кишинев, 1990, с.49-50 /соавтор Н.В. Лалыкин/.
35. О причинах возникновения дополнительной водоотдачи из искусственных водоемов при оценке оросительных норм засушливых лет. Rezumatele comunicărilor celei de a doua confrințe științifice "Apele Moldovei, seceta și măsurile complexe de combatere". Chișinău, 1995, p. 97-98.
36. Оценка характеристик склоновой эрозии по материалам о заилении искусственных водоемов Молдовы. Rezumatele comunicărilor conferinței practico-științifice "Eroziunea solurilor și metode de combatere", Chișinău, 1995, p. 65-66.

## АННОТАЦИИ

Мельничук О.Н. Приток вод и наносов в искусственные водоемы Молдовы (вопросы теории и практические расчеты).

Диссертация на соискание ученой степени доктора географических наук по специальности 11.00.07 - гидрология суши, водные ресурсы, гидрохимия. Одесский Гидрометеорологический институт. Одесса, 1997.

Предлагаются новые методы расчета притока вод и наносов, применительно к оценке параметров заиления искусственных водоемов. Рассматриваются модели определения притока речных вод в искусственные водоемы, в основе которых лежит принцип раздельного расчета нормы стока малых рек по ее основным генетическим составляющим - поверхностной и подземной. Обосновываются закономерности пространственной редукции стока наносов и на этой основе предлагается новая региональная редукционная модель для оценки притока наносов в водоемы с водосборной площадью от 2 до 1000 км<sup>2</sup>.

Разработаны модели определения бокового притока наносов с дождевыми и талыми водами со смежных к акватории водоема склонов с учетом кинематических свойств взвешенных потоков.

Melnyciuk O.N. Water Influx and Sediment into the Artificial Water Reservoirs of Moldova (theoretical problems and practical estimations)

Dissertation on scientific grade for doctor of geographical sciences on specialty 11.00.07 - Land hydrology, water resources, hydrochemistry. Odessa Hydro-meteorological institute. Odessa 1997.

The new estimating methods of water influx and sediment are suggested referring to estimate the silting parameters of the artificial basins.

The models of water influx assumption into the artificial basins are elaborated. In the basis of these models is the principle of separate estimation of annual small rivers runoff rate according to its two genetic components: ground and surface waters.

There are grounded conformities of spatial reduction of module sediment influx and on this basis is elaborated regional reduction model of sediment estimation influx into the basins from the river watershed with an area from 2 to 1000 км<sup>2</sup>.

There are designed estimate models of the side inflow of the sediment from the rain and melted waters from the slopes bordering the basin's aquatorium with surface less than 2 км<sup>2</sup>. These models take into account cinematic peculiarities of the suspended carrying flows.

Ключові слова: замулення водоймищ, стік води, стік наносів, кінематика потоку, боковий приплив води.





Chişinău

Universitatea Tehnică a Moldovei

Departamentul editorial - poligrafic al U.T.M.



AB 37.204