

ОДЕССКИЙ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

На правах рукописи

АРНАУТ НИКОЛАЙ АЛЕКСЕЕВИЧ

УДК 556.537

ФАКТОРЫ ФОРМИРОВАНИЯ РУСЕЛ МАЛЫХ РЕК, ИХ ТИПИЗАЦИЯ
И МОРФОМЕТРИЧЕСКИЕ ЗАВИСИМОСТИ
(НА ПРИМЕРЕ МАЛЫХ РЕК МОЛДОВЫ)

П.00.07 – гидрология суши, водные ресурсы, гидрохимия.

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание ученой степени
кандидата географических наук

ОДЕССА 1995

556

Диссертация представлена
Работа выполнена в Институте Географии
Академии Наук Республики



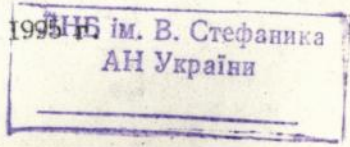
00360323 (H)

- Научный руководитель - кандидат технических наук,
Никора Владимир Иванович
- Официальные оппоненты - доктор географических наук,
профессор
Гопченко Евгений Дмитриевич
кандидат географических наук,
доцент
Игошин Николай Иванович
- Ведущая организация - Научно-исследовательский институт
водных проблем и мелиорации
Молдовы Госконцерна "Аква",
г.Кишинев, Молдова.

Защита диссертации состоится 22 июня 1995 года в 13⁰⁰
часов на заседании специализированного совета Д 05.02.01 при
Одесском гидрометеорологическом институте, в зале заседаний
по адресу: 270016 г.Одесса, ул. Львовская, 15, ОГМИ.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Одесского
гидрометеорологического института.

Автореферат разослан 22 мая 1995 г.



Ученый секретарь
специализированного
совета

Лобода Н.С.

Актуальность и степень исследованности тематики диссертации

В последние десятилетия все большее внимание во всех регионах уделяется исследованию проблем малых рек. Это связано не только с необходимостью проведения общей природосберегающей стратегии использования водных ресурсов, но и реальным осознанием роли этих водных объектов в функционировании средних и крупных рек, притоками которых они являются.

Кроме того, к этому вынуждает и существенно ухудшившееся в последние годы экологическое состояние малых водотоков, связанное с возросшей антропогенной нагрузкой на них. Наряду с этим, малые реки представляют большой научный интерес как недостаточно еще изученные объекты для гидрологических и русловых исследований. Все отмеченное в полной мере относится и к малым рекам Молдовы. Многочисленные антропогенные воздействия привели к изменениям в гидрологическом и русловом режиме этих рек - существенно уменьшилась их водность, в ряде случаев происходит заиление русел, коренным образом изменился режим увлажнения пойм, произошли изменения в характере протекания русловых процессов и т.д. В этих условиях первостепенное значение приобретает разработка долговременной стратегии восстановления, рационального использования и охраны малых рек. При решении этой проблемы важная роль принадлежит комплексным русловым исследованиям малых рек, направленным на выявление закономерностей формирования и развития русел в условиях воздействия различных антропогенных факторов.

Цель работы заключается в комплексном исследовании руслового процесса малых рек Молдовы. Для этого поставлены и решены следующие задачи:

- выполнен качественный и количественный анализ основных факторов формирования русел (жидкого, твердого стока и ограничивающих факторов);
- проведена типизация русел и руслового процесса малых рек для двух временных периодов (до массового спрямления русел и после него);
- выполнена количественная оценка морфометрии и динамики характерных для малых рек Молдовы русловых макро- и мезоформ;

– дана комплексная оценка состояния русел малых рек и рекомендации по учету выявленных закономерностей и морфометрических зависимостей при обосновании мероприятий по их восстановлению, использованию и охране.

Теоретическая и практическая ценность исследований.

Теоретическая ценность диссертации заключается в выявлении специфических особенностей руслового процесса малых рек на примере территории Молдовы. Их качественное и количественное описание, приведенное в работе, расширяет знания о формировании русел малых рек и, тем самым, представляет собой вклад в общую теорию руслового процесса.

Практическая ценность диссертации определяется возможностью использования полученных результатов при разработке мероприятий по восстановлению малых рек, их рациональному использованию и охране. Полученные в работе разновременные картосхемы типов руслового процесса малых рек, обладая достаточной информативностью, могут быть использованы как одно из средств контроля за их состоянием.

Научная новизна работы заключается в следующем:

1. Выполнен анализ основных факторов руслового процесса малых рек Молдовы и выявлены их качественные и количественные изменения под влиянием антропогенных воздействий.
2. Выполнен анализ антропогенных факторов руслового процесса малых рек.
3. Выделены два качественно различных периода в развитии русел малых рек Молдовы – до их массового спрямления и после него, выявлены современные тенденции в развитии русел. Выполнена типизация русел и руслового процесса для двух выделенных периодов.
4. Установлены и проанализированы морфометрические зависимости характерных для малых рек макроформ (врезанных и свободных излучин) и мезоформ (побочней).
5. Выполнены стационарные комплексные натурные наблюдения за динамикой русловых макро-, мезоформ и гидравлическими параметрами потока на участках рек Когильник и Большая Сальча. Выявлены особенности развития этих форм.
6. Дана комплексная оценка состояния русел малых рек Молдовы и рекомендации по учету руслового процесса при обосновании мероприятий по их восстановлению, рациональному использованию и охране

Уровень реализации, внедрение научных разработок. Диссертационная работа выполнена в рамках одной бюджетной и трех хозяйственных тем. Диссертант является соавтором соответствующих разделов в отчетах по этим темам. Результаты исследований переданы для использования Национальному Институту Экологии Республики Молдова, Государственному департаменту Республики Молдова по охране окружающей среды и природным ресурсам, проектному Институту "Молдгипроводхоз", Институту географии Академии Наук Республики Молдова (имеются акты о внедрении в перечисленные учреждения и организации), а также используются в научной работе Института геофизики и геологии Академии Наук Молдовы.

Апробация и публикации научных исследований. Основные положения и отдельные вопросы диссертации докладывались на научных конференциях молодых ученых Академии Наук Молдовы (Кишинев, 1981-1986 гг.), на III съезде Географического общества Молдовы (Кишинев, 1985 г.), на научных конференциях молодых ученых и специалистов Государственного гидрологического института (Санкт-Петербург, 1986, 1988 гг.), на Всесоюзных научных конференциях "Закономерности проявления эрозионных и русловых процессов в различных природных условиях" (Москва, МГУ, 1987 г.), "Динамика и термика рек, водохранилищ и окраинных морей (Москва, ИВП АН СССР, 1989 г.), на научных конференциях Одесского Гидрометеорологического института (Одесса, 1986, 1988-1990 гг.), научной конференции "Grigore Cobalcescu" Университета Al.I.Cuza (Румыния, Яссы, 1991 г.), научной конференции "Ecologia și protecția mediului inconjurător în Republica Moldova", (Молдова, Кишинев, 1992г.) По материалам исследований опубликовано 13 работ.

Объем и структура работы. Диссертация состоит из введения, шести глав, заключения и списка литературы из 161 наименования. Общий объем диссертации 197 страниц, из них 127 страниц машинописного текста. Работа содержит 12 таблиц и 41 рисунок.

Конкретный личный вклад диссертанта в разработку научных результатов, которые выносятся на защиту. Выносимые на защиту основные положения получены непосредственно диссертантом. Они состоят в следующем.

I. Качественная и количественная оценка основных факторов руслового процесса и их изменений под влиянием антропогенных воздействий.

2. Картограммы типов русел и руслового процесса малых рек Молдовы для двух временных периодов – до массового спрямления русел и после него. Характеристика выявленных русловых форм.
3. Результаты количественного описания морфометрии и динамики русловых форм, их физическая интерпретация.
4. Комплексная оценка состояния русел малых рек Молдовы и рекомендации по учету руслового процесса при обосновании мероприятий по их восстановлению, рациональному использованию и охране.

Методология и методы исследований. При решении вышеперечисленных задач были использованы методы гидроморфологической теории Государственного гидрологического института (ГГИ) (гидроморфологический анализ, типизация руслового процесса и др.), а также классификация русел, разработанная в Московском государственном университете (МГУ).

Для исследования современного состояния русел малых рек и динамики их форм выполнены маршрутные обследования этих рек и проведены долговременные натурные эксперименты на специально отобранных участках малых рек.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ.

Во введении обосновывается актуальность темы, излагаются цель и задачи работы, дается ее общая характеристика.

Глава I. Обзор существующих подходов в гидроморфологических исследованиях руслового процесса. Основные результаты диссертационной работы получены в рамках гидроморфологического направления исследования руслового процесса. Учитывая это, в первой главе дана краткая характеристика и анализ основных концепций формирования русел и их типизаций, на базе которых получило развитие указанное направление (В.М.Лохтина, М.А.Великанова, К.И.Росинского и И.А.Кузьмина, Н.А.Ржаницына, Н.И.Маккавеева, Н.Е.Кондратьева, И.В.Полова, В.Ф.Снищенко, Р.С.Чалова, Леопольда и Вольмана и других). Кроме того, выполнен анализ имеющихся в литературе гидроморфологических исследований малых рек, как специфических объектов теории руслового процесса.

Практически все исследователи отмечают, что характер протекания русловых процессов на малых реках различных регионов бывшего СССР и состояние их русел в настоящее время существенно отличается от естественных. Выявленные особенности проанализированы в основном, с качественных позиций и имеют региональный либо локальный характер. Приводимые в литературе немногочисленные количественные данные о русловом процессе малых рек также не могут претендовать на универсальность ввиду их ограниченности и региональности. Выполненные типизации русловых форм малых рек касаются отдельных видов макроформ либо разных макроформ отдельных рек и не охватывают все структурные уровни. Отсутствует и комплексная оценка основных факторов руслового процесса. Отмеченное в полной мере относится и к малым рекам Молдовы, что обуславливает необходимость их комплексных исследований для целей создания научных основ их восстановления, рационального использования и охраны.

Глава 2. Методика, использованные материалы и объекты исследования. При проведении русловых исследований малых рек Молдовы использован гидроморфологический анализ. Он включает: анализ основных факторов руслового процесса, установление типа руслового процесса на основе различных натуральных и картографических материалов, количественную оценку морфометрии и динамики русловых форм разных структурных уровней. Решение указанных задач предполагало проведение комплексных натуральных исследований русел малых рек и привлечение для выполнения работы различных гидрологических, геологических, топографических и аэрофотосъемочных материалов, а также использование результатов по смежным областям и архивных сведений. Тип русла и руслового процесса выявлялся для каждого участка либо реки в целом на основе анализа плановых очертаний русла на картах в соответствии с типизацией ГТИ или МГУ.

Натурные исследования проводились в рамках двух методических подходов. Первый включал маршрутные обследования малых рек на участках, расположенных, как правило, через 1-4 км по длине рек от истока до устья и предусматривал качественное описание русла, поймы, долины и инструментальные измерения на створах гидравлических и морфометрических характеристик русла. Общее число измерительных створов на исследованных реках составляет более 400. Второй подход предусматривал проведение долговременных (1986-1990 гг.) комплексных наблюдений за динамикой русловых макро-, мезо- и гидравлическими параметрами потока на двух характерных

участках рек Когильник и Большая Сальча. Выбранные участки русел развиваются по побочному типу руслового процесса.

При выполнении исследования использованы топографические карты М 1 : 25000, выполненные по съемкам 1949, 1957-1958 гг. Для корректировки гидрологической и русловой ситуации на указанных картах были использованы аэрофотоснимки различных масштабов и топографические карты М 1:10000, составленные по съемкам последних лет. Кроме того, для качественного сравнения и анализа изменения морфологии русел во времени привлекались топографические карты М 1:100000, составленные по разновременным съемкам (1870-1915 гг. и 1957 г.).

Основными объектами диссертационного исследования являются малые реки бассейнов рек Днестр, Прут и Дунай, расположенные в пределах территории Республики Молдова. Общее число исследованных рек составляет 40. Площади водосборов абсолютного большинства указанных водотоков составляют диапазон от 100 км² до 4000 км², длины рек от 29 км до 160 км. Среднегодовые значения расходов воды и среднегодовые величины мутности изменяются соответственно от 0,083 м³/с до 12 м³/с и от 0,1 г/л до 5 г/л. При этом диапазон изменения средней ширины русел в бровках пойменных берегов обследованных малых рек составляет 3 м - 40 м. Наиболее крупной из рассмотренных является река Реут, имеющая длину 304 км и площадь водосбора 7760 км².

Глава 3. Факторы формирования русел малых рек Молдовы. В данной главе на основе собственных исследований и результатов, полученных другими авторами, выполнен качественный и количественный анализ стока воды, наносов, ограничивающих факторов и их изменений под влиянием некоторых антропогенных факторов.

Сток воды. Согласно данным Гопченко Е.Д., Лободы Н.С., Сластихина В.В., Лалыкина Н.В. и некоторых других авторов малые реки Молдовы характеризуются низкой водностью и высокой изменчивостью основных характеристик стока (\bar{Q}_0 , \bar{Q}_{max} , C_v) по территории. Обобщение собственных результатов автора по анализу изменения во времени суммарной площади водных зеркал водоемов и зарегулированности годового стока и опубликованных данных (Е.Д.Гопченко, Н.С.Лобода, Н.В.Лалыкин и др.) позволил сделать вывод об уменьшении среднегодового годового стока большинства малых рек Молдовы в современных условиях в среднем на 30-50% относительно

начала массового строительства водоемов (≈ 1945 г.). Однако оценить влияние изменения водности малых рек на характер, темпы русловых деформаций и параметры русловых форм не представляется возможным, так как в результате проведенных в 1960-1970 гг. спрямлений и обвалований русел большинства малых рек качественно изменилась морфология русел и условия их развития. В настоящее время следует рассматривать влияние трансформированного стока на русловые процессы в новых условиях, связанных с массовым спрямлением русел.

Сток наносов. Формирование русел малых рек Молдовы в современных условиях происходит при увеличенных (\approx в 2 раза) относительно прошлых естественных условий (до ≈ 1800 г. - начала интенсивного сельскохозяйственного освоения территории Молдовы) объемах наносов и измененном гранулометрическом составе донных и взвешенных наносов. Последнее проявляется в увеличении в составе указанных наносов процентного содержания пылевато-илистых фракций. Отмеченные качественные и количественные изменения взвешенных и донных наносов обусловлены возросшим смывом грунтов в результате изменения характера использования сельскохозяйственных угодий и значительного роста площадей распаханых земель ($s=5\%$ в 1810 г. до $\approx 70\%$ в 1980 г.). Анализ современного состава взвешенных наносов по данным наблюдений УГКС и результатам обследования малых рек Молдовы выявил преобладание в нем частиц с размерами от 0,1 до 0,001 мм и менее, что соответствует пылевато-илистым и глинистым наносам. В составе донных отложений большинства малых рек чаще всего встречаются частицы с $d = 0,1 \pm 0,01$ мм. Вместе с тем на участках врезанных русел в составе донных отложений преобладает смесь песка, гравия и мелкой гальки. Отмеченный выше характер изменения донных и взвешенных наносов обусловил заиление русел малых рек и снижение темпов русловых деформаций. В условиях спрямленных и обвалованных русел это приводит к формированию заиленных участков русел с невыраженными русловыми формами, что не характерно для естественных условий.

Ограничивающие факторы характеризуют естественные и искусственные условия, определяющие степени свободы в развитии русла реки. Ограниченные условия планового развития русел характерны для малых рек северной зоны, а также отдельных участков рек центральной части региона. При этом, степень ограничения развития русел

в долинах этих рек различна и изменяется от $Bo \approx B$ до $Bo \approx 5B$ для участков с врезанными руслами и от $Bo \approx B_{пр}$ до $Bo \approx 2B_{пр}$ для участков с ограниченным меандрированием (Bo - ширина дна долины, $B_{пр}$ - ширина пояса руслоформирования). Участки врезания соответствуют областям пересечения долинами рек гряд рифов, сложенных преимущественно известняками. Для многих участков долин малых рек северной зоны Молдовы ограниченные условия развития русел перемежаются со свободными условиями. На остальных реках территории Молдовы преобладают условия для свободного развития русел. Для таких участков установлено соотношение $Bo = 3,94 Q_{max}^{1\%} \Gamma - 20,6$, $\Gamma = 0,83$, $F_{кр} = 3,20$, связывающее ширину дна долины и максимальный расход 1% обеспеченности ($F_{кр}$ - критерий Фишера).

Из антропогенных ограничивающих факторов наибольшее распространение и значение для условий малых рек Молдовы имеют дамбы обвалования спрямленных русел, затрудняющие их плановые деформации, а также водоемы, создающие местные базисы эрозии.

Антропогенные факторы. Наиболее существенное влияние на русловый процесс малых рек оказали спрямление и обвалование русел, выполненные в 60-70 годы и по своим масштабам, охватившие практически все широкопойменные малые реки южной, центральной и многих участков рек северной частей Молдовы. В результате этих мероприятий произошла смена естественных типов руслового процесса (меандрирования и пойменной многорукавности) на спрямленные русла с побочным типом руслового процесса, и спрямленные, заиленные русла с невыраженными мезоформами. Влияние остальных антропогенных факторов локальное и, как правило, проявляется в виде сложных и неоднозначных изменений руслового процесса на участках малых рек. Преобладающими среди них являются процессы заиления. В целом следует подчеркнуть, что антропогенные воздействия на малые реки в современных условиях являются одним из основных факторов руслоформирования наряду с общепринятыми естественными факторами. Их совместное влияние создает новые условия для развития руслового процесса малых рек.

Глава 4. Типизация русел малых рек Молдовы. Смена типов руслового процесса и новые начальные условия развития русел, созданные после массового спрямления и обвалования малых рек Молдовы, дали основание выделить в русловом режиме этих рек два качественно отличных периода - до спрямления русел и после него. В работе

выполнена типизация русел и руслового процесса для обоих периодов
Типизация русел малых рек до массового спрямления.

Геолого-геоморфологические условия северной зоны Молдовы обусловили для малых рек этого региона разные типы русел - от относительно прямолинейных, до извилистых, вследствие широкой распространенности вынужденных и врезанных излучин (по типизации МГУ), а также излучин, развивающихся по схеме ограниченного и свободного меандрирования (по типизации ГГИ). Преобладающим является сочетание (перемежаемость) вынужденных и ограниченных излучин. Наряду с ними на локальных участках расширений долин наблюдаются и свободномеандрирующие излучины. Параметры этих излучин соизмеримы с шириной реки и колеблются в пределах : $S = (4 - 10)B$, $\lambda = (3 - 7)B$. Подобные свободные излучины встречаются и на крыльях вынужденных излучин. Вынужденные излучины, средние размеры которых составляют $S = (60 - 80)B$, $\lambda = (45 - 50)B$, обусловлены, главным образом, плановой извилистостью долин, склоны которых сложены трудноразмываемыми породами. Параметры ограниченно меандрирующих излучин лежат в пределах: $S = (6 - 12)B$, $\lambda = (5 - 10)B$, а их плановая форма близка к синусоидальной. Врезанные излучины характерны для участков долин, пересекающих грады либо отдельные скопления известняковых рифов. Параметры их изменяются в широком диапазоне, а русла имеют разнообразные плановые очертания.

Малые реки центральной и южной зон характеризуются условиями свободного развития русел. Для рек этих зон выявлена наибольшая распространенность меандрирующих русел, развивающихся преимущественно по схеме свободного меандрирования. В ряде случаев на отдельных участках имели место незавершенное меандрирование и пойменная многорукавность с развитием руслового процесса отдельных рукавов по типу свободного либо незавершенного меандрирования. При этом необходимо отметить, что особенностью планового рисунка малых рек юга и центра Молдовы до массового спрямления было наложение разномасштабных излучин, сформированных, возможно, при разной водности. Средние размеры свободных излучин варьировали в пределах : $S = (10 - 30)B$, $\lambda = (5 - 10)B$, а крупных излучин русел - $S = (40 - 120)B$, $\lambda = (30 - 100)B$. Обобщенная информация по типам руслового процесса малых рек Молдовы до их массового спрямления представлена на картосхеме (рис. 1). Ее

анализ выявляет отчетливую дифференциацию типов русел и руслового процесса с севера на юг - врезанные русла сменяются свободномеандрирующими руслами в широких долинах. При этом характер распространения типов руслового процесса тесно коррелирует с геоморфологическими и геологическими условиями.

Типизация русел малых рек на современном этапе представлена на рис.2. Приведенные в ней типы руслового процесса наблюдаются в различных сочетаниях для разных рек. При этом наиболее распространенным сочетанием для спрямленных русел малых рек (центральной и южной частей Молдовы) является перемежаемость побочного типа и спрямленных русел со связными грунтами и невыраженными мезоформами. Последние не имеют типичных схем русловых деформаций. На таких участках внутрирусловые формы не выражены, имеет место безрядовая форма транспорта наносов и наблюдается тенденция заиления по всему участку. Если перечисленные выше типы так или иначе встречаются в природе, то данный тип русла является антропогенным. В целом для современных условий характерна замена свободномеандрирующих русел южной и центральной зон Молдовы спрямленными руслами. На реках северной зоны коренных изменений в типах руслового процесса за последние десятилетия не произошло. Имеются лишь локальные спрямления участков отдельных рек и появление в долинах этих рек многочисленных русловых водоемов.

Закономерности развития свободных излучин на спрямленных участках малых рек исследованы на примере двух слабовыраженных излучин на стационарном участке р.Когильник, с.Гура-Галбенай. Для выявления динамики этих излучин были сопоставлены топопланы русла за 1986-1990 гг. а также определены основные измерители этих излучин и их эволюция во времени. Анализ данных показывает, что величина роста параметров λ , S и χ_m колеблется от 0,5% до 15% от их первоначальных значений. Более существенное увеличение (до $\approx 100\%$ и более) наблюдалось в значениях U_m , $d_{\text{вык.}}$.
 $d_{\text{вык.}}$ Выявлен также небольшой сдвиг линии наибольших глубин вниз по течению относительно осевой линии, величина которого составляет (0,05 - 0,11) λ и свидетельствует о смещении излучин.

Осредненные по длине участка величины деформаций берегов за 1986-1987, 1987-1988, 1988-1989 и 1989-1990 гг. были равны: намыв - 11 см, 23 см, 45 см и 51 см, размыв - 14 см, 29 см,

15 см и 29 см, соответственно. В относительных величинах скорости деформаций берегов в среднем составляют 3-6% ширины меженного русла в год, что хорошо согласуется с данными по средним и большим рекам. При этом преимущественный механизм размыва вогнутых берегов заключается в постепенном размыве нижней части берегового откоса (сложенного суглинками и песками) и затем обрушении либо медленном сползании отдельных блоков во время прохождения ливневых паводков.

Глава 5. Количественное описание морфометрии и динамики русловых макроформ. Морфометрические зависимости для свободных излучин исследованы двумя способами. Первый из них заключается в выявлении общих морфометрических связей между измерителями излучин по системе ГТИ и сравнении их с аналогичными теоретическими и эмпирическими зависимостями для средних и крупных рек других регионов. В соответствии со вторым способом, предложенным В.И.Замышляевым, геометрия излучин описывается при помощи параметров вписанного треугольника, что позволяет описывать плановую форму правильных (регулярных) излучин с использованием трех основных параметров (шага излучин λ и углов входа $\alpha_{вх}$ и выхода $\alpha_{вых}$) вместо семи, обычно используемых в гидроморфологических исследованиях. Остальные измерители излучин могут быть с достаточной точностью получены через них. Для реализации первого способа были выделены 143 выборочные излучины разных рек, развивающиеся по схеме свободного меандрирования. Анализ результатов статистической обработки тринадцати связей между различными измерителями излучин, позволил выделить в качестве основных следующие: $S/\lambda = 0,096\alpha^{2,3} + 1$, $Y_m/\lambda = 0,19\alpha^{1,32}$, $X_m/Y_m = 3,4\alpha^{-1,7}$, $\bar{R}/\lambda = f(\alpha)$, $\bar{R}/\lambda = f(S/\lambda)$, $Y_m/S = f(\alpha)$. Последние три из них ввиду отсутствия либо недостатка эмпирических точек на краях графиков не были аппроксимированы аналитическими. Графики полученных связей сопоставлены с теоретическими кривыми, полученными В.И.Замышляевым, В.Лангбейном и Л.Леопольдом, а также эмпирическими кривыми М.М.Гендельмана для р.Иртыш и И.В.Попова для р.Обь, Ока и Иртыш. В целом, полученные морфометрические зависимости для малых рек Молдовы лучше всего совпадают с эмпирическими формулами М.М.Гендельмана и теоретическими соотношениями В.И.Замышляева, полученным в рамках его тематической модели свободного меандрирования. Следует также

добавить, что наилучшее совпадение кривых наблюдается при углах разворота α до 200° . Для реализации второго способа были отобраны 113 правильных (регулярных) излучин свободноеандрирующих малых рек. В основу этого способа положено предположение о том, что между элементами вписанного в излучину треугольника (углами и сторонами треугольника) и соответствующими измерителями излучин должны существовать тесные корреляционные связи. Полученные таким способом морфометрические зависимости для излучин малых рек Молдовы имеют следующий вид:

$$S_0/\lambda = 1,34 \frac{\sin(0,68\alpha_{\text{внх}})}{\sin(0,68\alpha)} - 0,11, \quad S_1/\lambda = 1,96 \frac{\sin(0,68\alpha_{\text{внх}})}{\sin(0,68\alpha)} - 0,14,$$

$$S/\lambda = \frac{[\sin(0,68\alpha_{\text{внх}}) + \sin(0,68\alpha_{\text{внх}})]}{\sin(0,68\alpha)} - 0,60, \quad y_m/\lambda = 1,19 \frac{\sin(0,68\alpha_{\text{внх}}) \sin(0,68\alpha_{\text{внх}})}{\sin(0,68\alpha)}$$

$$- 0,01, \quad x_m/y_m = 1,10 \frac{\cos(0,68\alpha_{\text{внх}}) \sin(0,68\alpha_{\text{внх}})}{\sin(0,68\alpha)} - 0,06.$$

Исследование морфометрических зависимостей врезанных излучин выполнено на основе 100 излучин малых рек северной и центральной частей Молдовы и р.Днестр. Учитывая существующую в литературе неоднозначность выделения врезанных излучин и значительный разброс величины Vo/B для малых рек Молдовы, статистический анализ морфометрических зависимостей выполнен при разных соотношениях Vo/B , а также с учетом и без учета врезанных излучин р.Днестр. Анализ полученных статистических параметров эмпирических связей для разных групп врезанных излучин выявил, что наиболее статистически значимыми являются эмпирические зависимости для излучин с $Vo/B \leq 4$. Аналитические выражения этих зависимостей следующие: $S/\lambda = 0,05\alpha^{2,82} + 1$, $y_m/\lambda = 0,14\alpha^{1,55}$, $x_m/y_m = 3,70\alpha^{-1,73}$, $y_m/S = 0,46 - 0,31\alpha$.

По форме и параметрам они близки к эмпирическим соотношениям для свободных излучин малых рек Молдовы, средних и крупных рек других регионов и к теоретическим зависимостям. Для врезанных излучин исследуемого региона с $Vo/B \leq 4$ получена также эмпирическая связь между шагом λ_0 и шириной дна долины Vo , имеющая вид $\lambda_0 = 9,6B - 239$. Это уравнение качественно согласуется с аналогичными для свободноеандрирующих рек Молдовы и других регионов. Примеры графиков полученных морфометрических зависимостей для малых рек Молдовы представлены на рис.3,4. На них же приведены кривые, полученные другими авторами.

Особенности развития побочной и их морфометрические зависимости исследованы на основе данных маршрутных обследований ма-

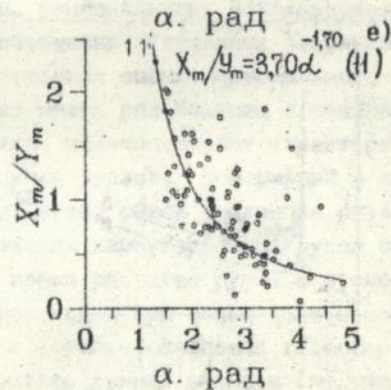
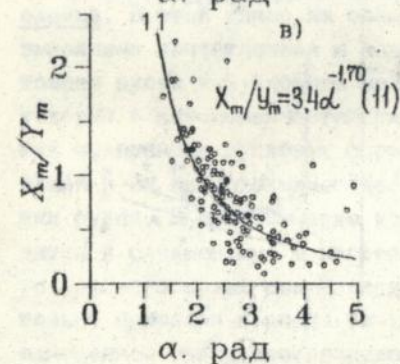
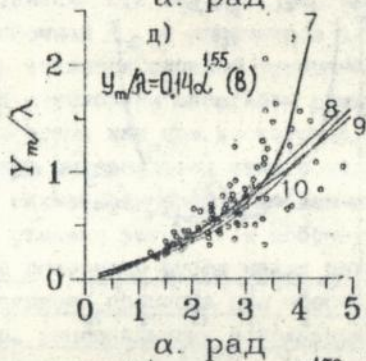
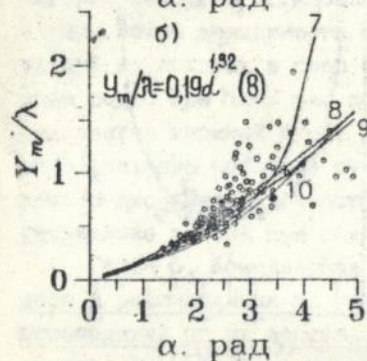
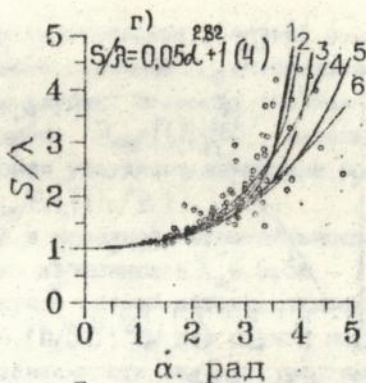
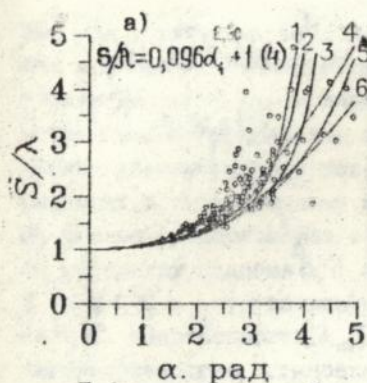


Рис. 3. Связи относительных характеристик излучин (S/λ , Y_m/λ , X_m/Y_m) с углом разворота α : а, б, в – свободные излучины; г, д, е – врезанные излучины; номера соответствуют кривым Лангбейна и Леопольда (1), Замшляева (2, 5, 7, 10), Попова (3), Гендельмана (6, 9), зависимости для малых рек Молдовы (4, 8, 11).

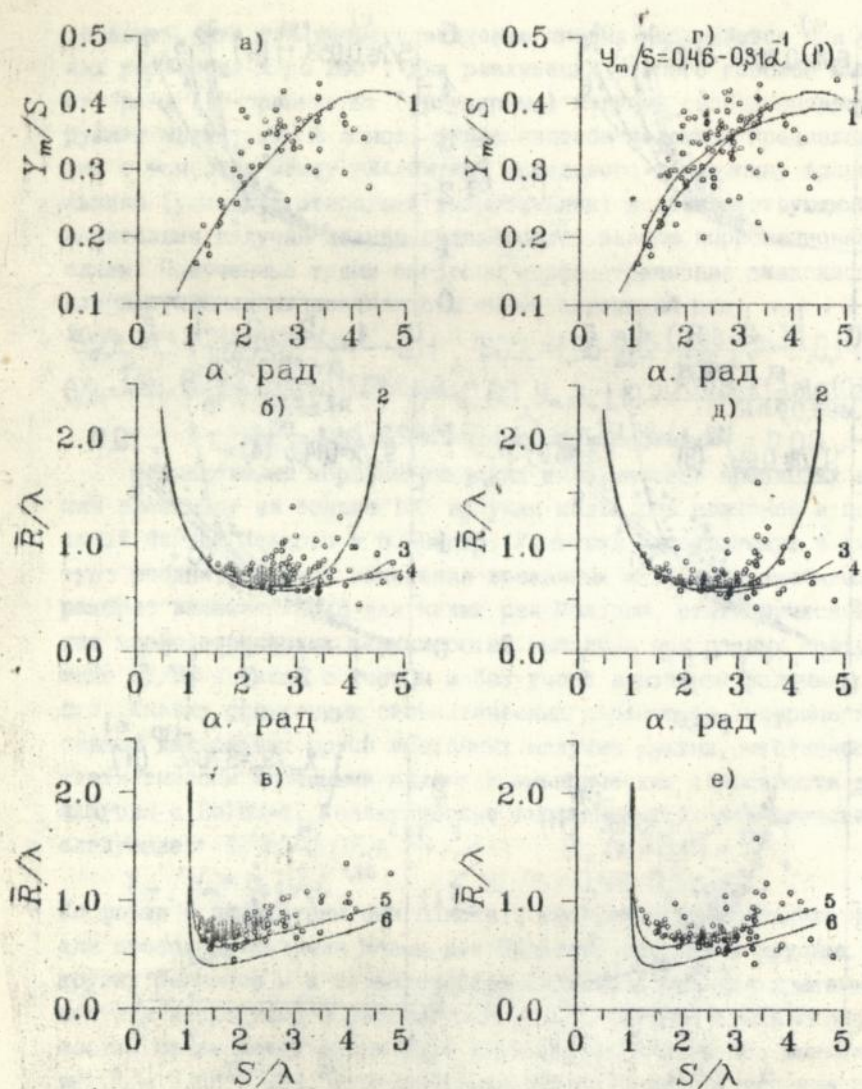


Рис. 4. Связи относительных характеристик излучин (Y_m/S , \bar{R}/λ) с углом разворота α и относительного радиуса кривизны (\bar{R}/λ) с относительной длиной (S/λ): а, б, в - свободные излучины; г, д, е врезанные излучины; номера соответствуют кривым Замышляева (1, 2, 3, 5), Гендельмана (4), Лангбейна и Леопольда (6), зависимостям для малых рек Молдовы (1).

рых рек и натурных наблюдений на стационарных участках р. Когиль-
ник и Большая Цальча, Величина шага побочной $\lambda_{пб}$ оценивалась по
точкам перегиба линии наибольших глубин. В основу анализа гео-
метрии побочной положено соотношение $\lambda_{пб} = f(V, h)$. Используя
анализ размерностей и метод подобия указанное выражение преоб-
разовано к безразмерному виду $\lambda_{пб}/B = f(h/B)$.

На основе предположения о полной и неполной автомодельности $\lambda_{пб}/B$
по параметру подобия h/B получена зависимость $\lambda_{пб} = 6,5B - 12$,
 $3 \text{ м} < B < 40 \text{ м}$, соответствующая случаю полной автомодельности $\lambda_{пб}/B$
по h/B , и зависимость $\lambda_{пб} = 13,65 (h/B)^{0,27} B$ для случая неполной
автомодельности. Установленные зависимости выражают частные
случаи общей зависимости шага побочной $\lambda_{пб}$ от параметров h/B и B ,
каждый из которых в свою очередь является сложной функцией рас-
хода воды. При $h \ll B$ шаг побочной обусловлен масштабом реки и оп-
ределяется шириной русла B , в то время как при достаточно боль-
ших h/B размеры побочной существенно определяются этим показате-
лем. В диссертации представлены также количественные данные по
гидравлике потока при различной степени затопления побочной.

Глава 6. Комплексная оценка состояния русел малых рек Мол-
довы и рекомендации по учету руслового процесса при обосновании
мероприятий по их восстановлению, рациональному использованию и
охране. В этой главе на основе обобщения полученных результатов
выполнена качественная и количественная оценка современного сос-
тояния русел и руслового процесса малых рек Молдовы с позиций
условий и закономерностей развития, количественных характерис-
тик выявленных русловых форм, оценки русловых деформаций и их
влияния на гидротехнические сооружения, общей тенденции разви-
тия русел. В кратком виде комплексная характеристика русел свод-
ится к следующему. В настоящее время развитие русел и руслово-
го процесса малых рек Молдовы происходит при повышенном относи-
тельно прошлого периода (≈ 1800 г.) стоке наносов с водосборов,
измененном гранулометрическом составе донных наносов (на участ-
ках с илистыми отложениями), существенно уменьшенной водности
малых рек и измененной в результате спрямления морфологии русел.
Эти изменения были обусловлены различными видами хозяйственной
деятельности. В результате сформировались новые типы русел и
руслового процесса, в том числе и звиленные русла с невыражен-
ными мезоформами, не характерные для естественных условий. При
этом выявленные региональные особенности проявления руслового

процесса связаны с вышеперечисленными новыми условиями развития и геоморфологическими особенностями территории. Пределы изменения средних значений параметров современных русловых форм (побочной, излучин) обусловлены изменчивостью морфометрических характеристик русел (ширины и глубины) и согласуются с аналогичными данными по другим регионам. Величина плановых деформаций не превышает в среднем по водности год 6% от ширины меженного русла, а размеры деформаций дна соизмеримы с высотой побочной либо других видов мезоформ. Оценочные расчеты, выполненные на основе полученных в натуральных условиях средних значений угловой ($\approx 4^{\text{град}}/\text{год}$) и линейной ($\approx 0,2 \text{ м/год}$) скоростей развития отдельных излучин показали, что полное развитие излучин на спрямленных участках малых рек наиболее вероятно в течении примерно 150–200 лет. Время же восстановления полностью меандрирующего русла ($S/\lambda > 1,6$) с момента его спрямления составит не менее 300 лет. Данное обстоятельство, а также крайне неблагоприятное экологическое состояние малых рек дают основание рекомендовать восстановление меандрирующей формы малых рек Молдовы путем расчета и строительства искусственных излучин. Для этого могут быть использованы полученные результаты морфометрических исследований излучин малых рек, а также расчетная схема, разработанная в Институте геофизики и геологии АН Молдовы В.И.Никорой. В качестве одного из факторов при оптимизации использования малых рек могут быть использованы полученные в данной работе картосхемы типов руслового процесса. Предложен также ряд организационно-технических мероприятий (облесение берегов и прибрежных зон, периодическая механическая очистка заиленных русел, гидравлическая промывка и т.д.) направленных на улучшение состояния русел.

В заключении приведены основные выводы и положения работы.

I. Выявлены качественные и количественные изменения основных факторов руслового процесса под влиянием антропогенных воздействий. Эти изменения выражаются в уменьшении общей водности малых рек за последние 40–50 лет примерно на 30–50% вследствие зарегулированности стока искусственными водоемами и интенсивного испарения с их поверхностей, в увеличении стока наносов с водосборов относительно прошлых периодов ($\approx 1800 \text{ г.}$) приблизительно в 2 раза, увеличении (\approx на 50% и более) в составе донных наносов процентного содержания пылевато-илистых фракций, появлении искусственных локальных ограничивающих факторов. Отмеченные процессы соз-

дали новые условия для развития современных русел и руслового процесса.

2. Из антропогенных факторов наиболее существенное влияние на русловой процесс оказали спрямления и обвалования русел, приведшие к смене типов руслового процесса.

3. По условиям развития руслового процесса в русловом режиме малых рек Молдовы выделены два качественно отличных периода - до спрямления и обвалования русел и после него. Выполнена типизация руслового процесса для обоих периодов.

4. Получены и проанализированы морфометрические зависимости для свободных, врезанных излучин и побочней. Выявлена полная аналогия их с теоретическими и эмпирическими зависимостями других авторов для средних и крупных рек, что может свидетельствовать об универсальности некоторых морфометрических соотношений излучин независимо от масштаба излучин, условий возникновения, видов и географического положения. Для побочней установлена эмпирическая зависимость между их шагом и шириной реки, которая аппроксимируется выражением $\lambda_{пб} = 6,6B - 12$ и соответствует условию $h \ll B$. При достаточно больших значениях h/B размеры побочней определяются показателем h/B и определяются зависимостью $\lambda_{пб} = 13,65(h/B)^{0,27} B$.

5. Установлены качественные и количественные особенности развития излучин на спрямленных участках малых рек. Они касаются условий зарождения, количественных параметров и их изменений во времени, морфологии излучин, характера и величины плановых и донных деформаций, определяющих факторов. В целом, эти особенности имеют региональный характер.

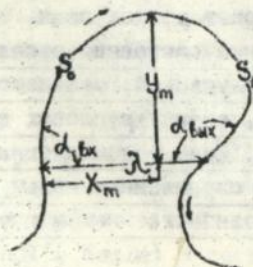
6. Выявлены гидравлические особенности потока и некоторые закономерности формирования и развития побочней на спрямленных малых реках. Установлено, что в формировании их средних размеров и морфологии определяющую роль играет расход воды.

7. Выполнена комплексная оценка состояния русел малых рек, включающая краткую характеристику условий, закономерностей, параметров выявленных русловых форм, оценку русловых деформаций и общей тенденции развития русел. Даны рекомендации по восстановлению плановой формы, охране русел спрямленных малых рек на основе полученных в данной работе количественных и качественных результатов.

ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ :

1. Оценка стокорегулирующих возможностей искусственных водоемов Молдавии (на примере бассейнов р.Ялпуг, Когильник, Вотна, Икель и Нырнова) //Природные ресурсы Молдавии и их рациональное использование. Кишинев: Штиинца, 1985. С.73-88. -
2. О расчете зарегулированности стока наливными водоемами (на примере бассейна р.Когильник) //Географические аспекты исследования АПК Молдавии. Кишинев: Штиинца, 1986. С.132-141.
3. Особенности руслового процесса и гидравлического режима основных малых рек Молдавии //Закономерности проявления эрозионных и русловых процессов в различных природных условиях. М. : Издательство МГУ. 1987. С.275-276. (в соавторстве).
4. Морфометрические зависимости излучин малых рек Молдовы //Гидрология малых рек. Кишинев: Штиинца, 1991. С. 62-74. (в соавторстве).
5. Факторы формирования русел малых рек Молдовы и их типизация. Препринт Института геофизики и геологии АН ССРМ. Кишинев, 1991. 51 с. (в соавторстве).
6. Некоторые результаты стационарных исследований руслового процесса на малых реках Молдавии //Гидрология малых рек. Кишинев: Штиинца, 1991. С.44-61. (в соавторстве).
7. Морфометрические зависимости для излучин малых рек. //Динамика и термика рек, водохранилищ и окраинных морей. М. : АН СССР, Институт водных проблем, 1989. С.213-215. (в соавторстве).

Примечание. Условные обозначения (измерители излучин по системе ГГИ), использованные в работе.



λ - шаг излучины

$S = S_0 + S_1$ - длина излучины

$\alpha = \alpha_{bx} + \alpha_{byx}$ - угол разворота излучины

Y_m - высота излучины

X_m - основание излучины

$\bar{R} = S/\alpha$ - средний радиус кривизны

А н н о т а ц и я
Арнаут Николай Алексеевич

Факторы формирования русел малых рек, их типизация и морфометрические зависимости (на примере малых рек Молдовы). Диссертация в виде рукописи на соискание ученой степени кандидата географических наук. Специальность II.00.07 – гидрология суши, водные ресурсы, гидрохимия. Одесский гидрометеорологический институт, Одесса, 1995.

На примере территории Молдовы исследованы факторы и особенности проявления руслового процесса малых рек. Выполнена типизация русел для двух временных периодов – до их массового спрямления и после него. Установлены морфометрические зависимости для русловых макро- и мезоформ. Дана комплексная оценка состояния русел малых рек Молдовы и сформулированы рекомендации по учету руслового процесса при обосновании мероприятий по их восстановлению, рациональному использованию и охране.

Abstract

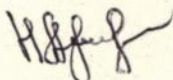
Arnaut N.A. Factors of small rivers' channels formation, their typification and morphometric dependences (on the example of Moldova's small rivers).

The dissertation is presented in the form of manuscript to claim the academic degree of a candidate of geographical sciences.

Speciality II.00.07 – land hydrology, water resources, hydrochemistry. Odessa Hydrometeorological institute, Odessa, 1995.

On the example of the territory of Moldova we have investigated the factors and peculiarities of the manifestation of small rivers channel process. Typification of channel process for two time periods – before their mass straightening and after it, has been carried out. Morphometric dependences for channel macro- and mezoforms have been established. Complex evaluation of the condition of Moldova's small rivers' channels is given and recommendations for their rehabilitation, rational utilization and protection have been formulated.

Ключові слова: русла малих річок, руслові процеси, типизація русел та руслового процесу, деформації русел, морфометрія руслових форм, заворот (закрут) русла, побочинь.



Николай Алексеевич АРНАУТ

ФАКТОРЫ ФОРМИРОВАНИЯ РУСЕЛ МАЛЫХ РЕК, ИХ ТИПИЗАЦИЯ
И МОРФОМЕТРИЧЕСКИЕ ЗАВИСИМОСТИ

(На примере малых рек Молдовы)

А в т о р е ф е р а т

Подписано в печать 18.05.1995. Формат 60x84 1/16. Ротапринт.

Печ. л. 1,0. Заказ 77. Тираж 100. Бесплатно.

Отдел оперативной полиграфии Госуниверситета Молдовы.
277009. Кишинев, ул. М.Когэлничану, 65.

282927

AB 32.510

AB 32.510