

ОДЕССКИЙ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

На правах рукописи

СУХОДОЛОВ АЛЕКСАНДР НИКОЛАЕВИЧ

УДК 556.53.535.8

ПРОДОЛЬНАЯ ДИСПЕРСИЯ ПРИМЕСЕЙ В МАЛЫХ РЕКАХ  
И ЕЕ КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА  
(НА ПРИМЕРЕ МАЛЫХ РЕК МОЛДОВЫ)

11.00.07 - 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 1993

АВ 28.597

Диссертация представлена в виде рукописи.

Работа выполнена в Институте Геофизики и Геологии Академии Наук Республики Молдова.

Научный руководитель - кандидат технических наук  
Никора Владимир Иванович

Официальные оппоненты - доктор технических наук,  
профессор  
Соколов Юрий Николаевич,  
кандидат географических наук,  
доцент,  
Игосин Николай Иванович.

Ведущая организация - Научно - исследовательский  
институт водных проблем и  
мелиорации Молдовы,  
Госконцерн "Аква", г. Кишинев.

Защита диссертации состоится 23 декабря 1993 года в 13  
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 23 ноября 1993 г

Ученый секретарь  
специализированного  
совета

Лобода Н.С.

Ім. В. Стефаника  
АН України

ЛННБ України ім.В.Стефаника



00802638 (R)

ДВ - 28.597

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы.** Продольная дисперсия примесей в речных потоках, т.е. их перенос и рассеяние, обусловлена, главным образом, неоднородностью поля осредненных скоростей и турбулентной диффузией. Указанные факторы определяют гидродинамические аспекты процессов самоочищения речных вод, что позволяет рассматривать модель продольной дисперсии как основу при прогнозировании качества речных вод, при расчете и прогнозе последствий залповых аварийных сбросов, а также при обосновании размещения водозаборов и выпусков сточных вод. Таким образом, изучение закономерностей продольной дисперсии представляет несомненный научный и практический интерес. Однако, несмотря на то, что исследования в этом направлении интенсивно проводятся в последние десятилетия, окончательной ясности в данном вопросе нет. Ощущается острый недостаток натуральных данных, характеризующих процесс продольной дисперсии в широком диапазоне гидравлических и морфометрических условий рек.

**Цель работы** заключается в комплексном исследовании процесса продольной дисперсии на малых реках. Для этого поставлены и решены следующие задачи:

- разработка методики натуральных исследований и обработки получаемых данных;
- выявление особенностей процесса переноса и рассеяния примесей и определяющих их факторов;
- определение коэффициентов продольной дисперсии и их связей с гидравлическими и морфометрическими характеристиками потоков;
- разработка региональных зависимостей для расчета и прогноза величин коэффициентов продольной дисперсии.

**Методика исследований.** Основной метод исследований в данной работе — натуральный эксперимент. Решение частных задач выполнено с помощью компьютерных экспериментов.

**Научная новизна** работы заключается в следующем:

- (1) разработана и апробирована методика комплексных натуральных экспериментов по исследованию продольной дисперсии в условиях малых рек;
- (2) выполнено 16 комплексных натуральных экспериментов на репрезентативных участках рек Молдовы в диапазоне гидравлических

и морфометрических условий, характерных для равнинных малых рек;

(3) детально исследованы особенности трансформации облака примеси, выявлены случаи аномально низкой и аномально высокой дисперсий и дана их качественная интерпретация;

(4) предложены модифицированные способы определения величин коэффициентов продольной дисперсии по данным натуральных экспериментов;

(5) выполнен анализ основных факторов, определяющих продольную дисперсию в малых реках;

(6) на основе обобщения натуральных данных разработаны региональные зависимости для расчета величин коэффициента продольной дисперсии.

Практическое использование результатов работы. Отдельные результаты диссертационной работы переданы для использования Национальному Институту Экологии РМ, проектному институту "Молдгипроводхоз" и используются в научной работе лаборатории геофизики русловых процессов ИГиГ АН РМ.

Апробация работы и публикации. Основные положения и отдельные вопросы диссертации докладывались на научных конференциях Одесского Гидрометеорологического Института (Одесса, 1989, 1990), научной конференции "Grigore Cobalcescu" Университета Al.I.CUZA (Румыния, Яссы, 1991), республиканской научной конференции "Ecologia si protectia mediului inconjurator in Republica Moldova" (Молдова, Кишинев, 1992), международной конференции "Hydro-Science and Engineering" (США, Вашингтон, 1993). Основные результаты выполненных исследований опубликованы в 7 работах, принята к печати 1 статья.

Объем и структура работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения и списка литературы из 82 наименований. Общий объем работы 110 страниц, из них 77 страниц машинописного текста. Работа содержит 7 таблиц и 10 рисунков.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Глава 1. Современное состояние исследований продольной дисперсии примесей в реках. В основе большинства теоретических и экспериментальных (Е.Еремѐнко, W.Czernuszchenko, Л.Пааль, В.Рогуневич и др.) исследований по продольной дисперсии консервативных примесей в реках лежит упрощение

$$\frac{\partial S}{\partial t} + U \frac{\partial S}{\partial x} = -K \frac{\partial S}{\partial x} \quad (1)$$

где  $x$  - продольная координата,  $t$  - время,  $U, S$  - средняя по сечению скорость потока и концентрация примеси,  $K$  - коэффициент продольной дисперсии. Решением уравнения (1) для неизменных по длине  $U$  и  $K$  при мгновенной инъекции индикатора является функция

$$S(x, t) = \frac{M}{2W\sqrt{\pi Kt}} \text{Exp}\left[-\frac{(x - Ut)^2}{4Kt}\right], \quad (2)$$

где  $M$  - общая масса примеси,  $W$  - площадь поперечного сечения потока,  $x$  - расстояние от створа впуска примеси и  $t$  - время от момента инъекции примеси.

Существующие способы расчета величин  $K$  по данным измерений основаны, как правило, на соотношении (2) (W.Czernuszewko, Л.Пааль). Кроме того, некоторыми исследователями (H.Fischer, Л.Пааль) используется соотношение, полученное Дж. Тэйлором

$$\sigma_x^2 = 2Kt_m, \quad (3)$$

где  $t_m$  - время наблюдения пика концентрации примеси  $S_m$  в измерительном створе. Для расчетов по формуле (3) применяется выражение

$$\sigma_x^2 = U^2 \sigma_t^2, \quad \sigma_t^2 = \frac{\sum t_i^2}{\sum t_i} - \left[ \frac{\sum t_i t_i}{\sum t_i} \right]^2, \quad (4)$$

где  $\sigma_t^2$  - дисперсия временных интервалов, соответствующих добегаанию частиц примеси от створа инъекции до данного створа. Однако, как отмечают многие исследователи, выполнимость соотношения (4), называемого гипотезой Фишера, требует обоснования и проверки.

В основу большинства параметризаций коэффициента продольной дисперсии положено соотношение

$$K / U_* = \beta, \quad (5)$$

где  $l$  - характерный размер потока (глубина или гидравлический радиус потока);  $\beta$  - некоторый безразмерный коэффициент и  $U_*$  - динамическая скорость ( $U_* = \sqrt{ghI}$ , где  $I$  - уклон водной поверхности). Как показал Х. Фишер, величина  $\beta$  непостоянна и изменяется в пределах 8,7 - 7500 для различных гидравлических условий.

Анализ теоретических и экспериментальных исследований процесса продольной дисперсии, выполненных в этой главе, позволяет сде-

дать следующие выводы: теоретическая модель (1) не всегда является адекватным описанием процесса продольной дисперсии в реках, поскольку результаты экспериментов в ряде случаев неудовлетворительно согласуются с теоретическими следствиями уравнения (1); при анализе экспериментальных данных сравнительно мало внимания уделяется анализу формы кривых распределения концентрации и трансформации облака примеси в процессе его перемещения; способы определения коэффициентов продольной дисперсии по данным измерений недостаточно надежны и требуют уточнений; расчет величин  $K$  по существующим формулам сопряжен с погрешностями:  $10^2\%$ – $10^3\%$ .

**Глава 2. Методика натуральных экспериментов и объекты исследования.** Принятая нами методика натуральных экспериментов предполагает мгновенный выпуск индикатора по всей ширине потока в начальном створе и наблюдения за трансформацией облака примеси по длине реки. Методика регламентирует следующие виды работ: выбор и рекогносцировочное обследование экспериментального участка реки; размещение измерительных створов; состав и очередность гидрометрических и топогеодезических измерений. В качестве индикатора нами использовался раствор поваренной соли ( $NaCl$ ), обладающий высокой степенью консервативности и экологически безопасный (Л. Павль, 1982). Для оценки качества натуральных экспериментов для каждой кривой  $S(t)$  рассчитывалась величина  $(M - \sum Q S_i \Delta t) / M$  ( $Q$  – расход воды), значения которой не превышали 0,12.

Типичный пример экспериментальных кривых изменения концентраций примеси во времени и по длине участка реки, а также фоновых условий при проведении экспериментальных измерений представлен на рис. 1. Основные характеристики экспериментальных участков на малых реках Молдовы представлены в табл. 1. Все участки рек характеризуются бесприточностью и малой извилистостью русел.

**Глава 3. Особенности трансформации облака примеси по длине реки.** В данной главе исследование закономерностей трансформации облака примеси выполнено как в рамках модели (1), так и по натурным данным.

В первом случае использован метод численных экспериментов. На их основе установлено, что коэффициент асимметрии  $Sk$  кривых  $S(t)$  согласно модели (1) изменяется по закону

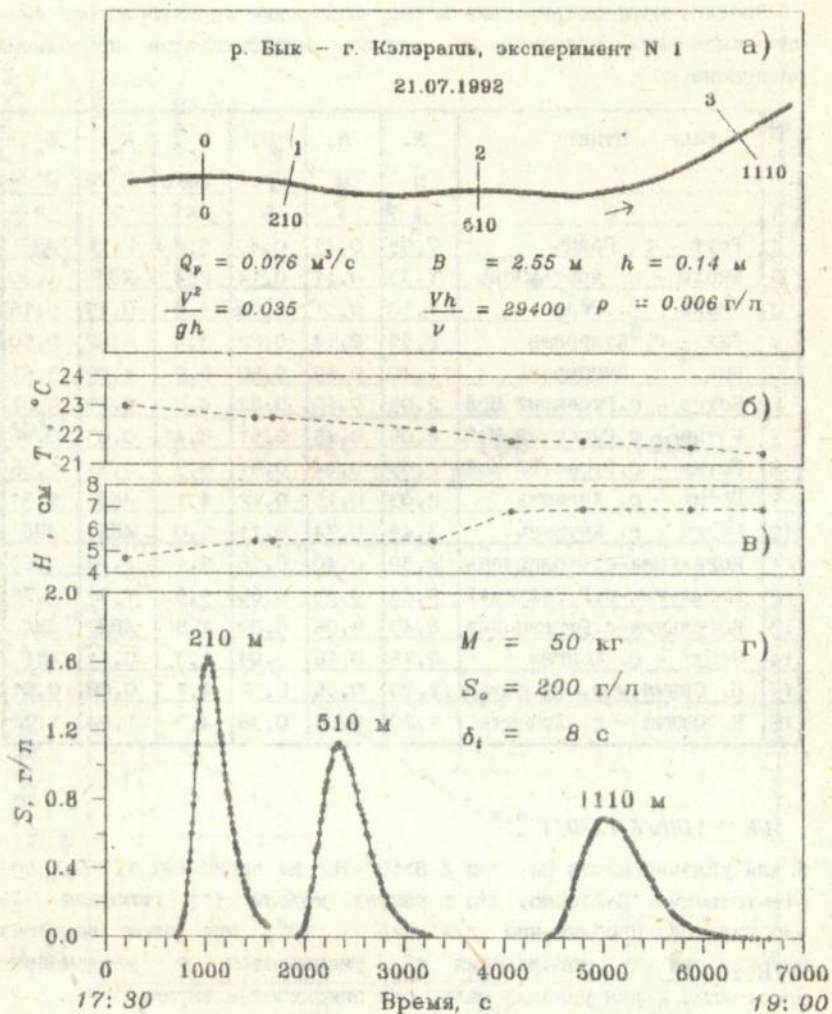


Рис. 1. Схема экспериментального участка (а), изменение во времени температуры (б), уровня воды (в) (в створе выпуска) и концентрации индикатора (г) в различных створах по длине потока.

Таблица 1

Средние морфометрические и гидравлические характеристики экспериментальных участков и величины коэффициентов продольной дисперсии.

№ п/п	Река - Пункт	B,	h,	U,	U <sub>*</sub> ,	K <sub>М</sub> ,	K <sub>в</sub> ,
		м	м	м/с	см/с	м <sup>2</sup> /с	м <sup>2</sup> /с
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Реут - г. Белць	7,05	0,41	0,40	5,2	2,16	АВД
2	Икель - с. Дресличень	7,33	0,11	0,14	2,4	АВД	1,30
3	Укель - с. Гоан	7,10	0,31	0,04	1,4	0,19	0,16
4	Бык - г. Келерашь	2,55	0,14	0,22	3,4	0,62	0,50
5	Бык - с. Цинцарень	11,40	0,69	0,60	5,9	2,85	3,67
6	Ботна - с. Русештий Ной	2,05	0,10	0,22	4,8	0,29	0,27
7	Ботна - с. Русештий Ной	2,05	0,45	0,51	8,4	0,83	0,96
8	Ботна - с. Русештий Ной	2,05	0,44	0,51	8,3	0,71	1,06
9	Ботна - с. Хорешть	2,03	0,15	0,12	4,1	АНД	0,31
10	Ботна - г. Каушень	3,49	0,34	0,11	2,0	АВД	АВД
11	Когильник - с. Столичень	2,30	0,40	0,56	9,1	1,10	1,60
12	Когильник - с. Г. Галбоней	5,21	0,29	0,66	5,6	1,91	2,76
13	Когильник - с. Богдановка	6,43	0,06	0,09	1,9	АВД	АВД
14	Ялпуг - с. Конгэз	2,75	0,16	0,03	1,3	0,11	АНД
15	Б. Салча - с. Лучешть	2,20	0,06	0,32	4,7	0,88	0,81
16	Б. Салча - с. Лучешть	2,20	0,05	0,38	4,3	1,04	1,22

$$Sk \sim [(U\tau/K)(X/B)]^{-0,5} \quad (6)$$

и для условий малых рек при  $X/B > 10^2 - 10^3$  не превышает 1,0-0,2 соответственно. Показано, что в рамках модели (1) гипотеза (4) выполняется приблизительно для  $X/B > 10^2$ , при этом величина погрешности  $E_r$  определения  $\sigma_x^2$  уменьшается с увеличением расстояния и для условий малых рек описывается выражением

$$E_r = 100(\sigma_x^2 - U^2\sigma_t^2)/\sigma_x^2 = 17[(U\tau/K)(X/B)]^{-1}. \quad (7)$$

Изменение величин  $Sk$  и  $E_r$  в численных экспериментах показано на рис. 2.

На основе анализа натурных экспериментов установлено

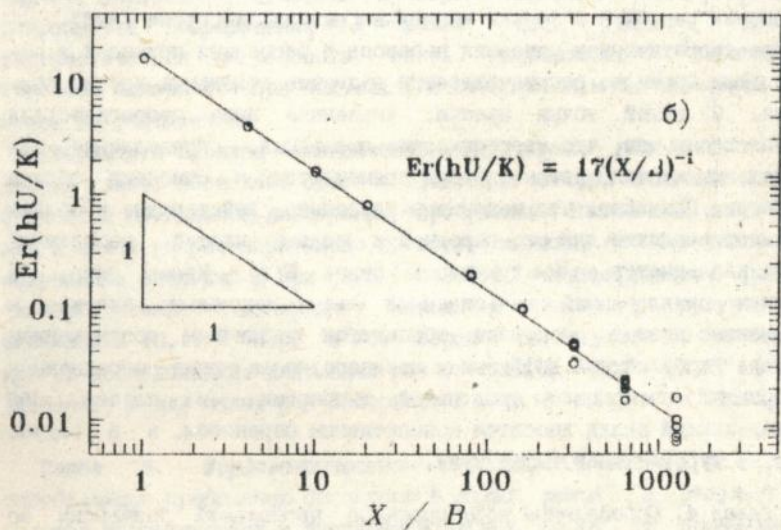
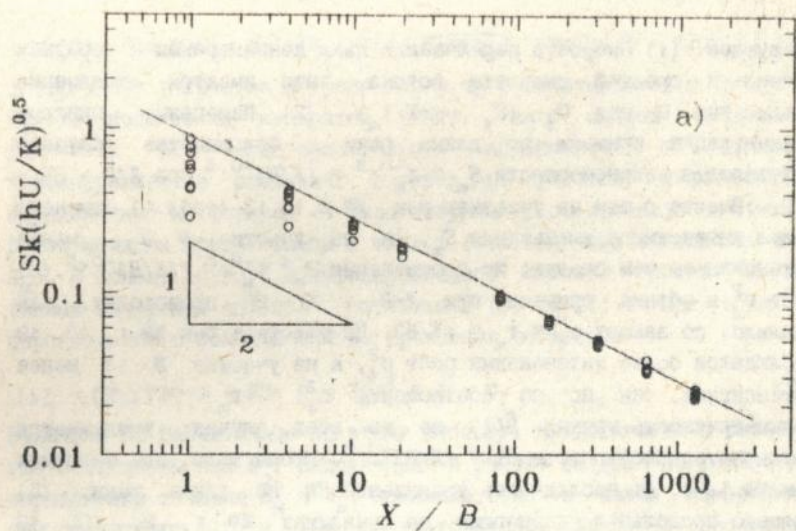


Рис. 2. Изменение величин  $Sk$  и  $Er$  по длине реки в вычислительных экспериментах.

следующее. (1) Скорость перемещения пика концентрации в среднем близка к средней скорости потока, хотя имеется тенденция превышения  $U$  над  $U_t$  ( $U_t = X/t_m$ ). (2) Изменение пиковых концентраций примеси по длине реки в большинстве случаев подчиняется закономерности  $S_m \sim t_m^{-0,5} \sim (X/B)^{-0,5}$  при  $X/B > 80 - 100$ . Вместе с тем на участках рек № 2, 10, 13 (табл. 1) отмечено более интенсивное уменьшение  $S_m$ , а на участке № 9 - менее интенсивное, чем следует из соотношения  $S_m \sim t_m^{-0,5} \sim (X/B)^{-0,5}$ . (3) Рост  $\sigma_t^2$  в облаке примеси при  $X/B > 80-100$  происходит, как правило, по закону  $\sigma_t^2 \sim t_m \sim (X/B)$ . На участках рек № 1, 10, 13 наблюдался более интенсивный рост  $\sigma_t^2$ , а на участке № 14 менее интенсивный, чем по соотношению  $\sigma_t^2 \sim t_m \sim (X/B)$ . (4) Асимметричность кривых  $S(t)$  не во всех случаях уменьшается согласно закономерности  $Sk \sim (X/B)^{-0,5}$ . Кроме того, на участках рек № 1, 4, 11 наблюдалось увеличение  $Sk$  по длине реки. (5) Процесс продольной дисперсии на участках № 1, 2, 10, 13 классифицируется как аномально высокая дисперсия (АВД), а на участках рек № 9 и 14 как аномально низкая дисперсия (АНД).

При теоретическом описании переноса и рассеяния примесей в реках, как правило, рассматривается движение отдельных частиц примеси. С нашей точки зрения, указанные выше несоответствия обусловлены тем, что теоретические положения, справедливые для отдельных частиц, автоматически применяются к описанию облака примеси. Показано, что механизмы рассеяния, действующие в облаке примеси различны для его передней и задней частей, вследствие чего наблюдается асимметричность кривых  $S(t)$ . Кроме того, в рамках предлагаемой качественной схемы аномально высокая и аномально низкая дисперсии объясняются различным соотношением вклада турбулентной диффузии и неоднородности поля осредненных скоростей в процессе продольной дисперсии (в случае АВД определяющий вклад вносится конвективным переносом, а в случае АНД - турбулентной диффузией).

**Глава 4. Определение коэффициентов продольной дисперсии по данным натурных экспериментов.** Для определения величин коэффициентов продольной дисперсии по данным натурных экспериментов предложены модифицированные способы расчета.

Из уравнения (2) следует расчетное выражение для  $K$  в виде

$$y = \alpha x, \text{ где } y = S_m, \alpha = 1/\sqrt{K} \text{ и } x = M/(W\sqrt{4\pi t_m}), \text{ откуда } K = 1/\alpha^2. \quad (3)$$

Коэффициент регрессии  $\alpha$  уравнения  $y = \alpha x$  рассчитывается с помощью метода наименьших квадратов (МНК). Такой подход позволяет учитывать всю экспериментальную информацию о пиковых концентрациях в различных створах на участке. Величины  $K$ , определенные по формуле (3) для натуральных экспериментов на малых реках Молдовы представлены в табл.1 (эти величины обозначены как  $K_M'$ ). В основу другого модифицированного способа расчета  $K$  по данным измерений положены соотношения (3) и (4). При этом  $K$  определяется с помощью МНК из уравнения регрессии

$$y = \alpha x, \text{ где } x = 2X, y = U_t^3 \sigma_t^2 \text{ и } K = \alpha. \quad (9)$$

Величины  $K$ , рассчитанные по этому способу, представлены в табл.1, где обозначены как  $K_{\sigma}'$ . Выполненная в работе оценка погрешностей определения величин  $K_M'$  и  $K_{\sigma}'$ , показала, что в наших измерениях они составляют 12% и 10% соответственно. Хотя, в последнем случае, учитывая результаты проверки гипотезы (4), реальная погрешность определения  $K$  может быть выше. Однако систематическая погрешность из-за приближенного характера гипотезы Фишера (4) при больших  $X/V$  становится незначительной и может не учитываться.

Результаты анализа экспериментальных данных, выполненного в данной главе, позволяют сделать следующие выводы: величины коэффициентов продольной дисперсии, определенные описанными способами, в целом удовлетворительно согласуются между собой; надежность полученных значений  $K$  при  $X/V > 80-100$  подтверждается рис.3 (который также подтверждает выводы 3 главы); полученные значения  $K$  ( $0,11 - 3,67 \text{ м}^2/\text{с}$ ) хорошо согласуются с данными других исследований: для малых рек Эстонии  $K \approx 0,17 - 4,77 \text{ м}^2/\text{с}$  (Л.Пааль) и для малых рек Австралии  $K \approx 0,15 - 4,0 \text{ м}^2/\text{с}$  (Т.Дэй).

**Глава 5. Морфометрические и гидравлические факторы, определяющие продольную дисперсию в малых реках.** В результате анализа теоретических и экспериментальных работ по продольной дисперсии в этой главе выделены основные факторы, определяющие этот процесс в реках. Выбрав в качестве искомой переменной коэффициент продольной дисперсии, запишем

$$K = f(h, B, U, \nu, U_*), \quad (10)$$

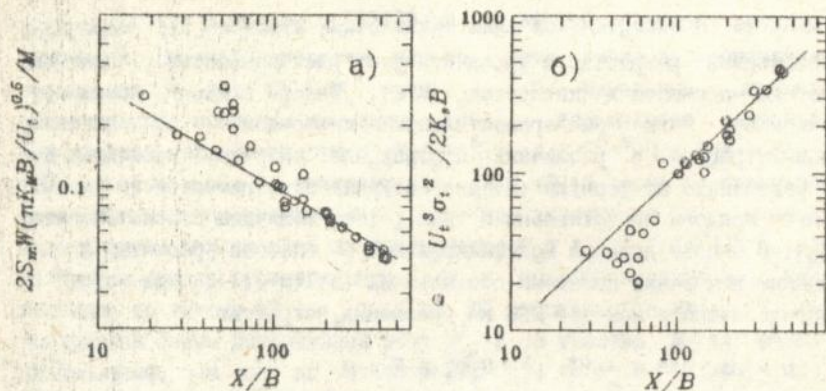


Рис. 3. Изменение нормированных величин  $S_m$  (а) и  $\sigma_t^2$  (б) по длине экспериментальных участков рек.

где обозначения общепринятые. Используя анализ размерностей и соображения подобия, можно от (10) перейти к формуле

$$K/ul = f(B/h, \sqrt{\lambda}h/B, Fr, Re, Re_*, U/U_*), \quad (11)$$

где  $u$  и  $l$  - характерные скорость и размер потока,  $Fr = U^2/gh$ ,  $Re = Uh/\nu$ ,  $Re_* = U_*h/\nu$  и  $\lambda = 2U_*^2/U^2$ . В качестве  $u$  нами были использованы  $U$  и  $U_*$ , а в качестве  $l$ :  $h$ ,  $B$  и  $h^2/B$ . Поскольку априорные предположения для условий малых рек о полной или неполной автомодельности по входящим в правую часть соотношения (11) параметрам затруднительны, в работе был проведен анализ попарных связей между  $K/ul$  и определяющими их параметрами. Обобщение экспериментальных данных с помощью МНК позволило получить наиболее оптимальные (в смысле МНК) зависимости для  $K$

$$K_M' = 0,55(B/h)^{2,14}Uh^2/B, \quad (12.a)$$

$$K_*' = 0,83 UB, \quad (12.б)$$

Различие в структуре этих формул обусловлено, по-видимому, неполной адекватностью модели (1) условиям исследованных нами рек. Формулу (12.а) целесообразно использовать при расчетах уменьшения пика концентрации по длине рек, а (12.б) - при расчетах рассеяния облака примеси. Предлагаемые региональные

зависимости для оценки величин  $K$  позволяют выполнять расчеты с погрешностью 30%. Для сравнения укажем, что формулы других авторов для условий малых рек Молдовы в большинстве случаев дают погрешности порядка  $10^3\%$  –  $10^6\%$ . Сопоставление соотношений (12.в) и (12.б) с данными других авторов (Л.Павль, Л.Фохусаар, R.Godfrey, B.Frederick, I.Thomas, Y.Iwasa и S. Aya), представленное на рис. 4, также указывает на их достоверность.

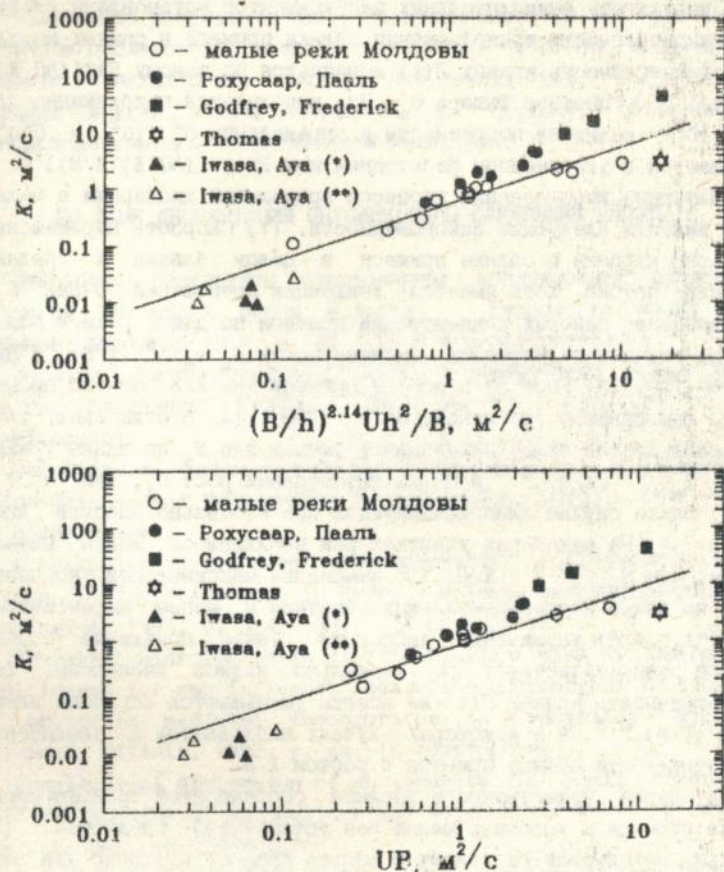


Рис. 4. Сравнение результатов, полученных автором с данными других исследований (\* — прямолинейный лоток, \*\* — извилистый лоток).

В заключении приведены основные выводы и положения работы.

I. Разработана методика натуральных исследований процесса продольной дисперсии на малых реках. Особенностью методики является комплексный подход, достоверность получаемой информации, а также автоматизация обработки результатов измерений. Предложены модифицированные способы определения величин коэффициентов продольной дисперсии по результатам натуральных измерений.

II. В результате вычислительных экспериментов установлены следующие закономерности трансформации облака примеси в рамках модели (1). Асимметричность кривых  $S(t)$  изменяется по закону  $Sk \sim [(hU/K) * (X/B)]^{-0.5}$ . Гипотеза Фишера  $\sigma_x = U\sigma_t$  выполняется приближенно для  $X/B > 10^2$ ; величина погрешности в определении  $\sigma_x^2$  ( $\sigma_x^2 = U^2\sigma_t^2$ ) уменьшается с увеличением расстояния как  $Er \sim [(hU/K)(X/B)]^{-1}$ .

III. Натурные исследования процесса продольной дисперсии в малых реках выявили следующие закономерности. (1) Скорость перемещения тика концентрации в облаке примеси в целом близка к средней скорости потока, хотя имеется тенденция превышения  $U$  над  $U_t$ . (2) Изменение пиковых концентраций примеси по длине реки в большинстве случаев подчиняется закономерности  $S_m \sim t_m^{-0.5} \sim (X/B)^{-0.5}$  при  $X/B > 80-100$ . (3) Рост  $\sigma_t^2$  в облаке примеси при  $X/B > 80-100$  происходит, как правило, по закону  $\sigma_t^2 \sim t_m^2 \sim (X/B)$ . (4) В отдельных случаях наблюдается более интенсивное уменьшение  $S_m$  по длине реки, чем  $S_m \sim t_m^{-0.5} \sim (X/B)^{-0.5}$  и более интенсивный рост  $\sigma_t^2$ , чем  $\sigma_t^2 \sim t_m^2 \sim (X/B)$ . Такие случаи классифицируются как аномально высокая дисперсия. (5) На некоторых участках рек наблюдалось менее интенсивное, чем  $S_m \sim t_m^{-0.5} \sim (X/B)^{-0.5}$  изменение максимальной концентрации по длине экспериментальных участков и менее интенсивное, чем  $\sigma_t^2 \sim t_m^2 \sim (X/B)$  увеличение дисперсии. Такое поведение облака примеси свидетельствует об аномально низкой дисперсии. (6) Асимметричность кривых  $S(t)$  не всегда уменьшается согласно закону  $Sk \sim (X/B)^{-0.5}$ , а в некоторых случаях наблюдается и увеличение асимметричности облака примеси с ростом  $X/B$ .

IV. На основе качественного анализа особенностей трансформации облака примеси в условиях малых рек установлено следующее. (1) Действие механизмов рассеяния в облаке примеси различно для его передней и задней частей, вследствие чего наблюдается асимметричность кривых  $S(t)$ . (2) Аномально высокая и аномально низкая дисперсии объясняются различным соотношением вкладов турбулентной диффузии и неоднородности поля осредненных скоростей.

V. Диапазон изменчивости величин  $K$  для репрезентативных участков малых рек Молдовы составляет 0,11-3,67 м<sup>2</sup>/с. Полученные коэффициенты хорошо согласуются с данными исследований на малых реках Эстонии и Австралии (Л.Пааль, Т.Дэй).

VI. Установленные в результате натурных исследований региональные формулы для определения величин  $K$  позволяют выполнять расчеты с погрешностью 30%.

Полученные результаты могут быть использованы при расчете и прогнозе последствий залповых аварийных сбросов загрязняющих веществ на малых реках, самоочищения речных вод, а также при решении других задач, связанных с охраной, рациональным использованием и восстановлением малых рек.

#### ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ ОПУБЛИКОВАНЫ СЛЕДУЮЩИЕ РАБОТЫ :

1. Некоторые результаты стационарных исследований руслового процесса на малых реках Молдовы // Гидрология малых рек, Кишинев, Штиинца, 1991, с. 44 - 61 ( в соавторстве).
2. Эколого - гидравлические расчеты регулирования русел малых рек при обводнении. Кишинев, ИГиГ АН РМ, 1991, 49 с. ( в соавторстве).
3. Structure of turbulence in small rivers // In: "Advances in Hydro-Science and Engineering ", Washington, 1993, p.1110 - 1115 ( в соавторстве).
4. Longitudinal dispersion of conservative pollutants in small rivers // In: " Advances in Hydro - Science and Engineering ", Washington, 1993, p. 379 - 384 ( в соавторстве).
5. Procesele hidrologice in albiile riurilor mici din Moldova si modificarea lor sub influenta factorilor antropogeni // Ecologia si protectia mediului inconjurator in republica Moldova. Chisinau, Stiinta, 1992, p. 44, ( в соавторстве).
6. Longitudinal dispersion of an impurity in small rivers // Moldova: Opening of its culture and science for West, Kishinev, 1993, p. 261. ( в соавторстве).
7. Peculiarities of a conservative pollutants propagation in small rivers // Rencontres Hydrologiques Franco-Roumaines, Tulcea, 1993, p. 80 - 82. ( в соавторстве).

TONER S.R.L. TIRAZ-50

ІНБ ім. В. Стефани  
АН України

463159

AB 28.597

**AB 28.597**