

ГИДРОТЕХНИКА

Малые ГЭС. Промышленная гидротехника.
Строительство в криолитозоне. Континентальный шельф.
Берегозащита. Водохозяйственный комплекс

№1 2016

Февраль – Апрель



Шпунт Л4, Л5, Л7, Л5Д



ЕДИНСТВЕННЫЙ И НАДЕЖНЫЙ ПРЕДСТАВИТЕЛЬ
В РОССИИ И СНГ

ОАО «Алчевский металлургический комбинат»
ОАО «Днепропетровский трубный завод»
ОАО «Днепропетровский металлургический комбинат им. Ф.Э. Дзержинского»



Главный офис:
121087 г. Москва, ул. Барклайя, д. 6, стр. 3, оф. 401
телефон: +7 (495) 287-98-52, факс: +7 (495) 287-98-54
e-mail: info@rgmk.ru

Филиал в Москве:
144000 Московская область, г. Электросталь, ул. Красная, д. 13,
Телефон: +7 (496) 576-88-67, Факс: +7 (496) 577-72-02
e-mail: kommerc@rgmk.ru

Филиал в Санкт-Петербурге:
197022 г. Санкт-Петербург,
Аптекарский пр., 10 лит. Б, пом. 1Н
Тел/факс: +7 (812) 450-00-00
e-mail: info-spb@rgmk.ru

Филиал в Краснодаре:
350039 г. Краснодар, пр. Мирный, д. 10
Телефон: +7 (861) 228-18-64,
факс +7 (861) 228-18-64
e-mail: kuban@rgmk.ru

Филиал в Ростове-на-Дону:
346882 Ростовская обл., г. Батайск,
ул. Индустриальная, д. 2а,
Телефон: +7 (496) 576-88-67,
факс: +7 (496) 577-72-02
e-mail: kommerc@rgmk.ru



Вся продукция сертифицирована,
соответствует международным стандартам.

WWW.RGMK.RU

на правах рекламы



РусГидро
ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева

ВСЕРОССИЙСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ ГИДРОТЕХНИКИ ИМЕНИ Б.Е.ВЕДЕНЕЕВА

95 ЛЕТ

**НА СЛУЖБЕ ГИДРОЭНЕРГЕТИКИ,
ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО
И ГИДРОТЕХНИЧЕСКОГО
СТРОИТЕЛЬСТВА**



МЫ ПРЕДЛАГАЕМ:

научно-исследовательские,
опытно-конструкторские,
проектные работы,
научно-технические услуги
и инжиниринг

НАШИ ПРЕИМУЩЕСТВА:

- многолетний опыт работы на объектах, возводившихся в различных природно-климатических условиях: только в России это более 160 ГЭС, более 60 тепловых и атомных электростанций;
- высокий и разносторонний уровень компетенций, основывающийся на сочетании классической научной школы и уникальной лабораторно-экспериментальной базы;
- оперативность и мобильность персонала, позволяющая выполнять работы в любой точке нашей страны и за рубежом.



АО «ВНИИГ ИМ. Б.Е. ВЕДЕНЕЕВА»

195220, САНКТ-ПЕТЕРБУРГ, УЛ. ГЖАТСКАЯ, 21

ТЕЛ.: +7 812 535 54 45 ФАКС: +7 812 535 67 20

E-MAIL: VNIIG@VNIIG.RU

WWW.VNIIG.RUSHYDRO.RU



ШПУНТ Л5УМ

ЕВРАЗ – компания мирового уровня в области производства стали и угледобычи, лидер на рынке строительного и транспортного проката в России и СНГ.

ЕВРАЗ НТМК – единственный в России производитель шпунтовых свай корытного типа с замком типа Ларсен Л5УМ.

Производственный комплекс **ЕВРАЗ НТМК** способен производить до 100 тысяч тонн шпунтовых свай.

ЕВРАЗ ПРЕДЛАГАЕТ СВОИМ ПОКУПАТЕЛЯМ:

- Высокое качество продукции
- Возможность выполнения нестандартных заказов
- Оптимальные сроки поставки продукции за счет наличия продукции как на собственных складах ООО «ТК «ЕвразХолдинг» в Москве и Нижнем Тагиле, так и на складах розничной сети ОАО «ЕВРАЗ Металл Инпром»
- Максимальный срок отгрузки с проката – 30 дней с момента размещения заказа
- Постоянную поддержку менеджеров по сопровождению заказа

Контакты:

ООО «Торговая компания «ЕвразХолдинг»
ул. Беловежская, д. 4, г. Москва, Россия, 121353
тел/факс: (495) 363-19-63
www.tc-evraz.com
e-mail: Sales@evraz.com

 **ЕВРАЗ**

ГИДРОТЕХНИКА



Раздел 1

ДНЮ ГИДРОТЕХНИКА БЫТЬ!	4
ГИДРОЭНЕРГЕТИКА	5–24
Бляшко Я. И., Ванжа А. И., Пятаков В. Г. Малые ГЭС для отдаленных районов Сибири и Севера	6
Волков Д. Р., Анакин С. Ю., Коньков С. А., Кулагин А. Г. Опыт разработки и внедрения систем автоматического управления и дистанционного контроля малых ГЭС	10
Гатилло С. П., Смирнов А. И., Воробьев О. А. Строительство и модернизация малых ГЭС в Республике Беларусь	12
Из века в век по пути открытий. К 85-летию «Института Гидропроект»	18
В «Ракурсе» науки и инноваций: к 25-летию НПФ «РАКУРС»	22

Раздел 2

ГТС ПРОМЫШЛЕННОГО И ВОДОХОЗЯЙСТВЕННОГО КОМПЛЕКСА	25–46
Горюшкин В. В., Сарвин Г. Т. Технология строительства и эксплуатация хвостохранилищ. Опыт группы компаний «Петропавловск»	26
Истомин В. И. К нормам проектирования подпорных сооружений объектов промышленной гидротехники. Часть 5	31
Ксенофонтова Т. К., Засов С. В. Влияние учета образования трещин на расчет стен подземных прямоугольных резервуаров для питьевой воды	36
Бакиев М. Р., Каххаров У. А. Гидравлика потока, стесненного глухими поперечными дамбами, на реках с двусторонней поймой	40
Базаров Р. Д., Крутов А. Н. и др. Верификация математической модели, описывающей движение потока в сильно меандрирующих руслах	44



Раздел 3

МОРСКИЕ ГТС. КОНТИНЕНТАЛЬНЫЙ ШЕЛЬФ. БЕРЕГОЗАЩИТА.....	47–84
Горячкин Ю. Н. Берегозащитные сооружения Крыма: Западное побережье, часть 1	49
Чемоданов М. Н. IT и дноуглубление. Взгляд в будущее	55
Гуткин Ю. М. Расчетная жесткость ступенчатых железобетонных конструкций	59
Соколов В. П. Исследование безотказности Комплекса защитных сооружений Санкт-Петербурга от наводнений и эффективности затрат на реконструкцию его затворов	62
Шибакин С. И. Изготовление и установка корпусных гравитационных платформ	68
Кольченко Л. В., Благовидова И. Л. и др. Месторождения Северного Каспия: оптимизация формы сооружений с целью повышения их ледостойких качеств на основе расчетно-экспериментальных исследований	72
Гагаев Ю. К., Шаманаев В. Н., Большев А. С. и др. Оценка устойчивости СПБУ типа Le Tourneau Super 116E от воздействия ледовых нагрузок при бурении эксплуатационных скважин	79

Раздел 4

ТЕХНОЛОГИИ СТРОИТЕЛЬСТВА И РЕМОНТА ГТС.....	85–102
Судаков В. Б. О ремонте бетонных и железобетонных конструкций в зоне переменного горизонта воды	87
Иванков С. В., Гришин В. П., Эсаулов С. Л. Применение временных тепловых аккумуляторов для прогрева бетонных гидротехнических сооружений, возводимых в суровых климатических условиях	91
Вовк А. И. Предложения по использованию «холодного бетона» для устройства монолитных гидротехнических конструкций при отрицательных температурах.....	98
ПОДПИСКА НА ЖУРНАЛ 2016.....	103

ВЕРИФИКАЦИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ, ОПИСЫВАЮЩЕЙ ДВИЖЕНИЕ ПОТОКА В СИЛЬНО МЕАНДРИРУЮЩИХ РУСЛАХ

44

Базаров Д. Р.,
доктор техн. наук, профессор,
Ташкентский институт ирригации
и мелиорации (ТИИМ)

Крутов А. Н.,
доктор техн. наук, вед. науч. сотр.
лаборатории качества морских вод,
Государственный океанографический
институт имени Н. Н. Зубова
(ФГУ «ГОИН»)

Хидиров С. К.,
ст. науч. сотрудник —
исследователь, ТИИМ

Мавлянова Д. А.,
ассистент, ТИИМ

Тураев А. А.,
студент, ТИИМ

Аннотация. В статье обоснована необходимость учета антропогенного влияния, а именно строительства различных гидротехнических сооружений, в том числе на поймах и в руслах рек, существенно изменяющих естественную динамику водного потока. Любое изменение структуры потока неизбежно приводит к изменению русловых процессов, что требует специальных инструментов для составления их прогноза.

В статье рассматривается вопрос верификации ранее разработанной трехмерной математической модели для описания движения водного потока в сильно меандрирующих руслах. Приведенное сравнение полей скоростей, полученных в результате расчетов с применением разработанной модели, с результатами экспериментальных исследований на физическом объекте показало хорошее совпадение.

Ключевые слова: русловые деформации, река Амударья, численное моделирование, меандрирующие русла.

D. R. Bazarov, Doctor of Engineering Science, professor, Tashkent Institute of Irrigation and Melioration;

A. N. Krutov, Doctor of Engineering Science, State oceanographic Institute named after N. N. Zubov and colleagues.

VERIFICATION OF THE MATHEMATICAL MODEL, DESCRIBING FLOW MOVEMENT IN INTENSIVE MEANDERING RIVERBEDS

Abstract. The need to take into consideration of human influence, namely the construction of various waterworks, including those on floodplains and in river beds, which could significantly change natural dynamics of water flows, was considered in the article. Any change of the water flow structure unavoidably leads to changes in fluviomorphological process in rivers and requires special tools for the development of forecast for river bed evolution.

Verification of the previously developed three-dimensional mathematical model to describe dynamic parameters of water flows in intensive meandering riverbeds is discussed in the article. The undertaken comparison of calculated velocity fields with the results of experimental studies demonstrated close agreement.

Keywords: channel deformations, Amu-Darya river, numerical simulation, meandering riverbeds.

Вся Центральная Азия, включая Узбекистан, находится в аридной зоне планеты, где без орошения возделывать сельскохозяйственные культуры и получать устойчивые урожаи невозможно. Поэтому во всех государствах региона с давних времен существует ирригация, которая требует большого количества водных ресурсов для обеспечения продовольственных нужд. Безвозвратное изъятие воды в регионе резко возросло с 60-х гг. прошлого века, в течение которых в СССР построили обширную сеть каналов и водохранилищ для увеличения в основном сельскохозяйственного производства.

Антропогенный фактор, а именно строительство различных гидротехнических сооружений (ГТС), в том числе водозаборных, на поймах и в руслах рек существенно изменяет естественную динамику водного потока, и русловые деформации, в свою очередь, оказывают значительное влияние на прилегающие территории. В настоящее время в мире сток большинства крупных рек зарегулирован с тем, чтобы наиболее эффективно быть использованным для целей ирригации, энергетики, промышленности и коммунально-бытового водоснабжения. Для целей регулирования стока построены водохранилища и водозаборы. Строительство гидротехнических сооружений существенно изменяет естественный ход руслового процесса, в связи с чем для предотвращения возможного негативного влияния русловых деформаций необходима разработка методики их прогноза [1].

Существует большое количество работ, посвященных решению различных проблем, связанных с русловыми деформациями, например [1, 7, 8, 10], но их решение еще далеко до практического завершения [2]. Причиной этого является

сложность и многофакторность протекания русловых процессов в пространстве и во времени.

Особенно большие сложности возникают при проектировании различных речных сооружений в реках, русло которых вследствие больших уклонов дна, высоких скоростей течения и легкой размываемости донных отложений (представленными мелкопесчаными слабыми грунтами) подвержено чрезвычайно сложным интенсивным плановым и глубинным деформациям [2, 3, 4]. Примером такой реки служит река Амударья, которая является одной из двух главных рек нашего региона.

Результаты многих исследований констатируют весьма сложную картину деформаций дна в легкоразмываемых грунтах, в том числе имеющих место в русле р. Амударьи [1, 5, 6]. Ввиду сложности и многофакторности взаимодействия водного потока с руслом, а также из-за отсутствия строгого аналитического решения исследователи прибегают к использованию методов физического и численного моделирования руслового процесса. Оба эти метода дополняют друг друга, что позволяет получить более достоверные решения поставленной задачи о деформации русла на конкретном его участке.

Для моделирования русловых потоков высокую эффективность и достаточную точность показали подходы, основанные на численном решении уравнений Сен-Венана. Вывод этих уравнений, алгоритмы численного интегрирования и примеры расчетов приведены во многих научных трудах, например в [1, 7, 8, 9]. Однако для деформируемых русел модель Сен-Венана требует дополнения уравнением для описания транспорта наносов и трансформации дна.

Как правило, в инженерной практике для расчетов донных деформаций используются одномерные математические модели для русел произвольного сечения. Такие модели, даже в случае непризматичности русла, позволяют рассчитывать деформации дна, когда на рассматриваемый участок речного русла с границы поступает поток осветленной воды [14]. Тем не менее область применения таких моделей весьма ограничена, т. к. они, в своем большинстве, не учитывают реальную батиметрию русла и его очертания в плане, общие тенденции руслового процесса на рассматриваемом участке реки и т. п.

В последнее время, в связи с повышением мощности вычислительной техники, для определения скоростных полей течений и деформаций дна русел стали широко использоваться математические модели в двухмерной (в плане) и трехмерной постановках. Так, например, были созданы двухмерные математические модели для расчета русловых деформаций в плане, позволяющие учесть факт того, что во многих случаях вектор скорости течения не совпадает с вектором расхода наносов — как для донных, так и для взвешенных руслоформирующих наносов [8, 9, 12].

Разработка пространственной математической модели особенно важна для расчета сложных течений в сильно меандрирующих руслах для случаев, когда направления течений в бровках русла, на пойме и над бровками русла имеют существенные различные направления. Эти особенности течений важны при проведении прогнозных расчетов русловых процессов в реках, где забор воды осуществляется бесплотинным способом.

Экспериментальные исследования показали, что во многих случаях вектор скорости течения в потоке на различных глубинах имеет разное направление, так что направление вектора средней (по глубине) скорости потока может сильно отличаться от направления касательного напряжения на дне. Это особенно характерно для сильно меандрирующих русел.

Извилистость русла характерна для большинства рек мира, в том числе рек Центральной Азии. Однако извилистость речных русел еще не является признаком того, что все они меандрируют. В природе существуют извилистые реки, у которых излучины являются не определенной стадией циклического хода их развития, а результатом обтекания рекой местных препятствий. Название излучин термином «меандра» происходит по имени р. Меандр, отличающейся четко выраженными плавными поворотами русла. Таким образом, название «меандрирующая река» условно. В настоящей работе термин «меандрирование» понимается как процесс, отражающий формирование русел, а не их плановые очертания.

Относительно причин меандрирования общепризнанных объяснений нет, существует более 30 гипотез [11]. В большинстве случаев эти гипотезы могут быть сведены к следующим:

1. Гипотезы, в которых причиной меандрирования считаются внутренние свойства потока. В качестве примера можно привести наличие извилин у потоков, стекающих по ледникам, т. е. имеющих берега однородного строения (лед). В качестве причины называют воздействие ускорения Кориолиса.

2. Есть гипотезы, объясняющие извилистость обтеканием препятствий.

3. Часть гипотез относит образование излучин за счет того, что поток находится в состоянии неустойчивого равновесия, и, следовательно, достаточно ничтожной причины, чтобы он отклонился от первоначального направления. По этой гипотезе причина образования излучины случайна, но

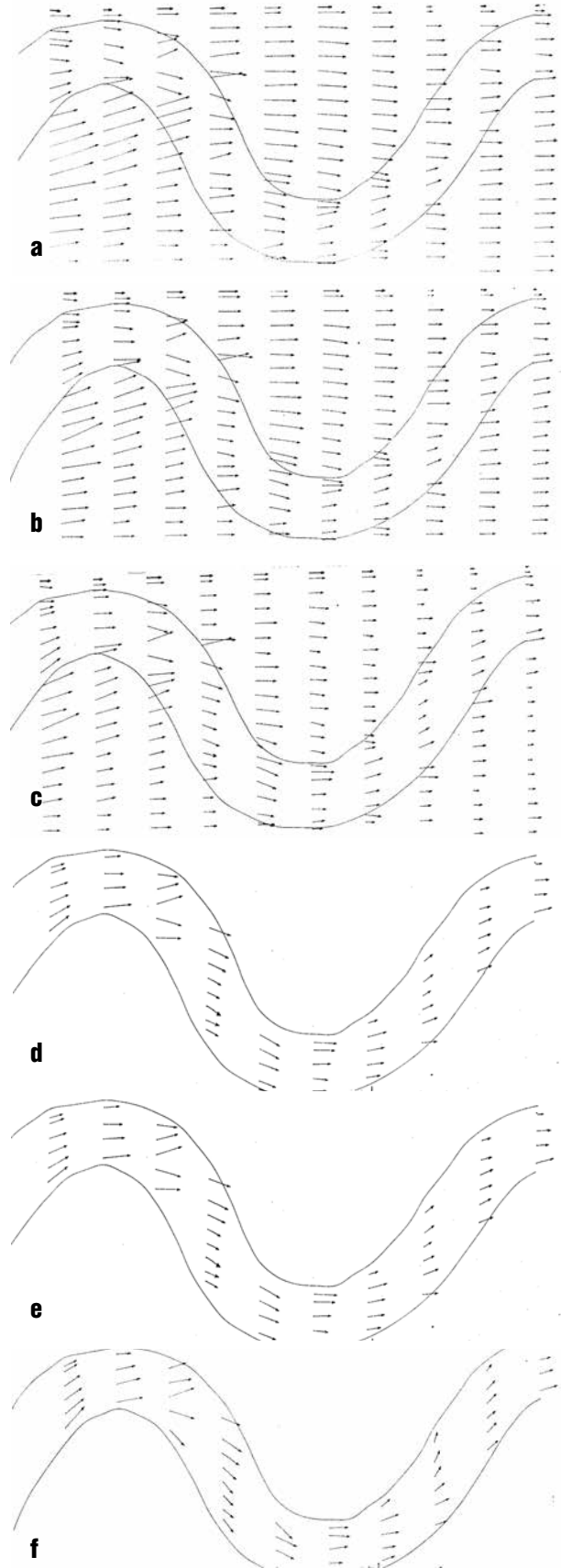


Рис. 1. Результаты численного гидравлического эксперимента. Поле скоростей водного потока на различных глубинах, соответственно:

a) $\frac{1}{6}h$, b) $\frac{2}{6}h$, c) $\frac{3}{6}h$, d) $\frac{4}{6}h$, e) $\frac{5}{6}h$, f) — возле дна русла

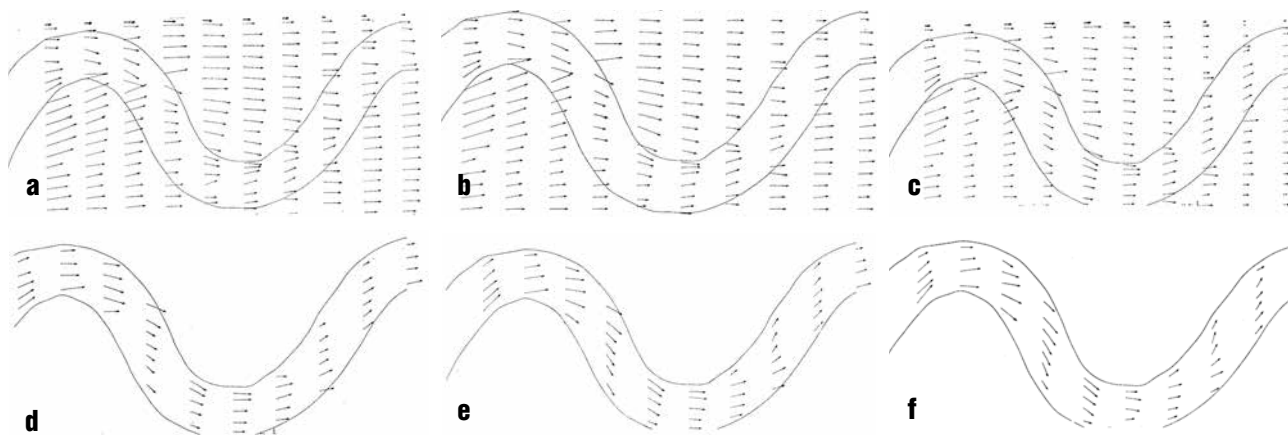


Рис. 2. Результаты лабораторного гидравлического эксперимента. Поле скоростей водного потока на различных глубинах, соответственно:

a) $\frac{1}{6}h$, b) $\frac{2}{6}h$, c) $\frac{3}{6}h$, d) $\frac{4}{6}h$, e) $\frac{5}{6}h$, f) – возле дна русла

серии нижерасположенных излучин развиваются закономер-но в результате возмущений, возникающих под влиянием им-пульса отражений потока.

В настоящей работе за основу трехмерной модели при-няты уравнения движения и граничные условия для потока, уравнения для транспорта наносов и деформаций ложа пото-ка, уравнения осредненных скоростей потока и уравнение для деформаций дна, детально описанные в [15, 18, 19].

Для верификации математической модели поля течений использовались результаты опытов [9, 17]. В лотке шири-ной 4 м и длиной 25 м воспроизводилось жесткое извили-стое русло шириной 1 м и глубиной до бровок 8 см. Повы-шенная шероховатость на пойме создавалась размещением в шахматном порядке гравия диаметром 2,5 см. Коэффи-циент шероховатости при этом определялся непосредственным измерением уклона свободной поверхности. Для измерений скорости применялся реверсивный измеритель скорости (ИСПР), имеющий диаметр ротора 12 см.

На рис. 1, a-f представлены результаты расчетов в виде векторов скорости на различных горизонтах. На рис. 2, a-f показаны аналогичные векторы, полученные в результате изме-рений. Сопоставление соответствующих рисунков показыва-ет, что данная модель хорошо описывает трехмерные течения в сильно меандрирующих руслах.

Литература:

1. Базаров Д. Р. Научное обоснование новых численных методов расчета деформации русел рек сложенных легкораз-мываемыми грунтами. Диссертация на соискание ученой сте-пени д. т. н. 05.23.16 — Гидравлика инженерная гидрология. Москва. МГУП, 209 с.
2. Великанов М. А. Русловой процесс (Основы теории). М.: Госиздат. физ-мат. литературы, 1958. 395 с.
3. Дебольский В. К. К вопросу об устойчивости форм перемещения донных наносов // Движение наносов в откры-тых руслах. М.: Наука, 1970.
4. Мухамедов А. М., Уркинбаев Р. К. Результаты иссле-дований по спрямлению излучин в условиях реки Амударья // Доклады всесоюзного совещания по водозаборным сооруже-ниям и русловым процессам. Ташкент, 1974. С. 327–380.
5. Мухамедов А. М. Основные направления исследова-ний по русловым процессам реки Амударья // Доклады все-

союзного совещания по водозаборным сооружениям и рус-ловым процессам. Ташкент, 1974. С. 11–27.

6. Сбор, систематизация и анализ материалов исследо-вания дейгиша и методов борьбы с этим явлением на реке Амударье: научно-технический отчет отдела русел САНИИРИ за 1969–1970 гг. Ташкент, 1970.

7. Беликов В. В., Зайцев А. А., Милитеев А. Н. Численное моделирование кинематики потока на участке неразмываемого русла // Водные ресурсы. 2001. Том 28. № 6. С. 701–710.

8. Беликов В. В., Зайцев А. А., Милитеев А. Н. Математи-ческое моделирование сложных участков русел крупных рек // Водные ресурсы. 2002. Том 29. № 6. С. 698–705.

9. Милитеев А. Н., Базаров Д. Р. Двумерные (в плане) уравнения для размываемых русел // Сообщения по приклад-ной математике. М.: ВЦ РАН, 1997. 18 с.

10. Знаменская Н. С. Донные наносы и русловые про-цессы. Л.: Гидрометеоздат, 1976. 190 с.

11. Ляхтер В. М., Прудовский А. М. Гидравлическое мо-делирование. М.: Энергоатомиздат, 1984.

12. Милитеев А. Н., Базаров Д. Р. Математическая мо-дель для расчета двумерных (в плане) деформаций русел // Водные ресурсы. 1999. Т. 26. № 1. С. 22–26.

13. Милитеев А. Н., Крутов А. Н. Численный способ рас-чета деформаций русла // Численные методы в гидравлике: симпозиум. М., 1980.

14. Базаров Д. Р. Одномерная математическая модель де-формируемых русел рек // Аграрная наука. Москва. 2000. № 6.

15. Милитеев А. Н., Базаров Д. Р., Крутов А. Н. Трех-мерная математическая модель для потоков с размываемым дном. Сообщения по прикладной математике. М., ВЦ РАН, 1997. 45 с.

16. Барышников Н. Б., Исаев Д. И. Русловые процессы, Санкт-Петербург, МГГМУ, 2014

17. Рекомендации по гидравлическому расчету от-верстий пойменных мостов. // НТО ВНИИ Транспортно-го строительства, № гос. регистрации СССР 01.8700715.36. Инв № ВНИИЦ 02.90.0042533. М., 1989.

18. Базаров Д. Р., Каримов Р. М., Хидиров С. К. Гидрав-лика II. Ташкент, ТИМИ, 2015.

19. Милитеев А. Н., Овинова Н. В. Методика расче-та стратифицированных течений. Депонировано в ВИНТИ, 2.11.93 2744-В93.