

173 04  
23.07.98  
Новосибирская государственная академия  
«водного транспорта»

На правах рукописи

*В.М.Мих*

**МИХАЙЛОВ ВАЛЕНТИН СЕМЕНОВИЧ**

**УВЕЛИЧЕНИЕ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ ВОД-  
НОГО ПУТИ ПО р.АЛДАН, ВЫЗВАННОЕ ВЫХОДОМ  
НА ТОММОТ АМУРО-ЯКУТСКОЙ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖ-  
НОЙ МАГИСТРАЛИ**

Специальность 05.22.17 - «Водные пути сообщения и  
гидрография»

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Новосибирск  
1998

Работа выполнена в Новосибирской государственной академии водного транспорта.

Научный руководитель - заслуженный деятель науки РФ, доктор технических наук, профессор Дегтярев В.В.

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор Попов Ю.А., кандидат технических наук Пронин В.И.

Ведущая организация - Департамент внутренних водных путей Росречфлота Министерства транспорта РФ.

Защита диссертации состоится «9» декабря 1998 г. в 14<sup>30</sup> час. на заседании диссертационного совета Д.116.05.01 при Новосибирской государственной академии водного транспорта по адресу: 630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33.

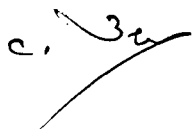
С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке НГАВТа.

Автореферат разослан «4» ноября 1998 г.

Ученый секретарь диссертационного совета

Д.116.05.01

профессор



С.Я.Зернов

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

*Актуальность диссертационной работы.* Водные перевозки традиционно были и остаются главной составляющей транспортного комплекса Республики Саха (Якутия). Несомненно, что и в перспективе они будут продолжать играть важную и незаменимую роль в хозяйственном развитии республики и не утратят своего значения после завершения и выхода на Якутск Амуро-Якутской железнодорожной магистрали (АЯМ).

В текущем 1998 г. АЯМ достигла верхнего Алдана у г.Томмот. Уже введение в эксплуатацию начального участка магистрали оказывает заметное влияние на направление и интенсивность водных перевозок не только на Алдане, но и на главной реке бассейна - Лене.

Ленское государственное бассейновое управление водных путей и судоходства заблаговременно начало подготовку к реконструкции 1600-километрового водного пути по Алдану. За десятилетие до прихода железнодорожных строителей к Томмоту создана непрерывная судоходная трасса с гарантированной глубиной 140 см на 400-километровом участке от Томмота до устья р.Учур и с гарантированными глубинами ниже до Усть-Мая 165 см, затем до пос.Джебарики-Хая - 170 см и ниже по течению - вплоть до впадения Алдана в Лену - 200 см. Для решения этой проблемы были углублены земснарядами и выправлены регуляционными сооружениями более 60 перекатов; проведен огромный комплекс скалоуборочных работ. К сожалению, результаты этих гигантских усилий ленских путейцев, которые им помогали осуществить научные школы: Московского госуниверситета, возглавляемая профессорами: Н.И. Маккавеевым и Р.С. Чаловым, и Новосибирской государственной академии водного транспорта, руководимая профессором В.В.Дегтяревым, оказались невостребованными из-за

так называемых «экономических реформ». Практически прекращение финансирования содержания внутренних водных путей заставило бассейновое управление полностью отказаться от проведения дноуглубительных и камнеуборочных работ и поставить на консервацию технический флот. Более того, снято освещаемое навигационное оборудование, ориентируясь по которому суда безопасно круглосуточно шли по Алдану.

Прекращение путевых работ на Алдане привело к снижению судоходных глубин до 90 см и засорению фарватера опасными для судоходства камнями-одинами; в настоящий момент остро стоит вопрос о проведении комплекса дноуглубительных и камнеуборочных работ вновь. Десятилетний перерыв в работах привел русло реки в естественное состояние, период перевозки грузов по реке практически сократился до 10-15 дней и приходится на пик весеннего половодья; за это время грузовое судно может обернуться всего один раз.

Создавшееся положение не только мешает эффективно использовать в транспортном комплексе Якутии имеющийся в бассейне современный речной флот, но и снижает темпы окупаемости строительства Амуро-Якутской магистрали. Восстановление роли водных перевозок по Алдану и создание надежного взаимодействия речного транспорта с железнодорожным весьма актуальная проблема для экономики Республики Саха (Якутия) в настоящее время, требующая научной разработки экономически оправданных мероприятий по восстановлению и реконструкции стабильной и безопасной судоходной трассы на реке, что и было целью диссертационной работы, которая выполнялась в Новосибирской государственной академии водного транспорта и Ленском государственном бассейновом управлении водного транспорта, и входила составной частью в федеральные целевые программы «Внутренние водные пути России в

1996-2000 гг.» и «Транспорт России». Конкретно решаемая проблема была включена в план научно-исследовательских работ департамента внутренних водных путей Росречфлота Министерства транспорта Российской Федерации (тема У-05-01).

*Задачи исследований.* Путем сбора, анализа и аналитической обработки информации, включающей материалы гидрологических и геоморфологических изысканий, предложить новыми, прогрессивными методами надежные и экономичные пути проектирования и осуществления восстановления гарантированных судоходных глубин на р.Алдан.

*Научная новизна.* В работе созданы новые оригинальные аналитические методы расчета снижения меженного уровня в результате дноуглубления на реках с включениями в донный аллювий крупной гальки и валунов, расчета взаимосвязи уклона свободной поверхности реки с крупностью отмостки и подстилающего слоя аллювия, вычисления длины пути абразийного преобразования галечно-гравийных влекомых наносов в песок.

*На защиту выносятся:* региональные методы проектирования путевых работ по восстановлению и повышению гарантированных судоходных глубин, включающие новые способы оценки снижения меженных уровней воды, расчеты взаимосвязи крупности донных отложений с уклоном свободной поверхности реки, прогнозированию границ смены гранулометрического состава грунта в результате абразии.

*Практическая значимость и реализация результатов работы.* Рекомендации, вытекающие из выводов по работе, включены в генеральную схему улучшения судоходных условий и безопасности судоходства на р.Алдан. Осуществление предложений будет реализовано при восстановлении нормального финансирования содержания внутренних водных путей России, что предусмотрено в Указе Президента

РФ от 14 августа 1997 г., № 881 «О мерах по обеспечению устойчивого функционирования внутренних водных путей России».

*Публикации.* Основное содержание диссертации раскрыто в 5-ти публикациях, помещенных в научные труды Московского госуниверситета, Новосибирской государственной академии водного транспорта, в Сибирский научный вестник Российской Академии естественных наук.

*Апробация работы.* Отдельные разделы диссертации докладывались на Всесоюзной научной конференции «Исследования русловых процессов для практики народного хозяйства» (Москва, 1983), научной конференции СО РАН, института философии и права, ЮНЕСКО «Культура, образование, право, инновации» (Новосибирск, 1996), Международной научно-практической конференции «Параметры перспективных транспортных систем Республики Саха (Якутия)» (Якутск, 1995).

*Структура и объем работы.* Диссертация (в одном томе) содержит 160 страниц машинописного текста, 29 рисунков, 9 таблиц, список литературы, включающий 68 наименований, из них 21 на английском языке.

*В первой главе* диссертационной работы «Река Алдан и перспективы развития по ней водных перевозок народно-хозяйственных грузов» рассматривается экономическое значение реки в транспортной системе Республики Саха (Якутия). В главе подчеркивается, что бассейн резко отличается от других притоков Лены величиной водосборной площади более 700 тыс.км<sup>2</sup> и сложной архитектоникой охватываемой территории. Общая протяженность судоходного участка р.Алдан от г.Томмот до устья равна 1615 км и разделена на 4 плеса, отличающиеся друг от друга гидрологическими условиями и русловым режимом, составом и характером путевых работ по поддержанию судоходных условий, по направлению и величине грузопотоков.

Перевозки по Алдану с 2400 тыс.т в 1990-95 гг. снизились в 1997 г. до 166.7 тыс.т, в основном за счет доставки каменного угля с шахт в Джебарикн-Хая, в Томпонский, Таттинский и Усть-Майский улусы, а также в Амгинские улусы.

По проработкам АОТ «Сибречпроект» прогнозируется восстановление перевозок по Алдану на 2000 и 2005 гг. до 2.5 млн.т, в т.ч.: каменного угля более 1 млн.т, нефтеналива до 250 тыс.т, леса до 200 тыс.т. Возможность реализации прогноза подтверждается наличием железных руд в непосредственной близости от коксующихся углей, предопределяющее рациональность создания на этой сырьевой базе крупного металлургического производства. Если добавить возможность расширения добычи слюды-флогопита, урановых руд, производства сельхозудобрений на базе Селигдарского месторождения апатитов, то становится ясным, что этот промышленный комплекс потребует укрепления транспортных связей со всеми районами Республики Саха (Якутия), включая, в первую очередь - алданский. Будем надеяться, что промышленный потенциал приалданских районов будет широко реализован в посткризисный период, когда начнется освоение Нежданнинского месторождения полиметаллических руд, повысится уровень технической оснащенности предприятий по добыче золота и олова в Алданском и Усть-Майском районах. Будут созданы новые добывающие отрасли: медно-вольфрамовая (Томпонский район), свинцово-цинковая (Усть-Майский район), получат дальнейшее развитие угольная и лесная промышленность, сельское хозяйство.

В этой главе диссертационной работы на основе экономического анализа и изучения правительственных программ развития транспортного комплекса Республики Саха (Якутия) обоснованы целесообразность и необходимость восстановления гарантированных судоходных глубин на

р.Алдан в связи с выходом на реку у г.Томмот Амуро-Якутской магистрали (АЯМ), что создает новое направление грузопотоков по реке на Хандыгу и Якутск до завершения строительства АЯМ и внутрибассейновым перевозкам после выхода железной дороги к столице Республики.

С целью восстановления объема перевозок по Алдану в ближайшем будущем в главе вносятся предложения грузить суда, идущие на быстро мелеющие реки Маю и Амгу, не в Осетрово - на Лене, а в Томмоте - на Алдане, что дает возможность начать перевозки раньше на 15-20 суток и сократить дальность пути в 3 раза.

*Вторая глава «Характеристика гидрографии и русловых процессов р.Алдан» начинается с описания нового оборудования и методов его использования на гидрографических съемках реки и исследованиях русловых процессов, примененных автором при работе над диссертацией.*

В 1997 и 1998 гг. на р.Алдан были проведены гидрографические съемки с применением программно-аппаратного комплекса «Промер-Р» наиболее затруднительных и характерных перекаатов: Эльконский, Джилигдинские, Тунгусский, Маринский, Еловый, Сахарный, Новый, Соболевский, Васькина Протока; проведен промер по осевой линии фарватера, а также выполнена гидролокационная съемка дна.

В состав комплекса входили: эхолот LMS-350A, гидролокатор, навигационная плата GG-24, GPS-GLONASS. Запись глубин, координат и гидролокационная съемка велись на диск портативного компьютера, совместимого с IBM. Управление работой комплекса осуществлялось компьютером с помощью программ *Vojdenie*, *Obzor*, *Map* и др. Современный спутниковый приемник DGPS дал возможность точно координироваться на местности без дифференциальной поправки.



В дальнейшем предполагается использовать комплекс в работах по картографированию ареалов распространения придонной флоры и фауны, т.е. для целей экологического мониторинга.

Изыскания с использованием комплекса позволили получать информацию о динамике русловых процессов в судоходной зоне и о результатах дноуглубительных работ. Быстрое обследование фарватера на р.Алдане, где после весеннего половодья местоположение навигационных опасностей может сильно измениться, позволило эффективно повысить безопасность судоходства.

Далее в главе, на основании изучения гидрографических материалов прошлых лет и, главным образом, изысканий 1997 и 1998 гг., проведен анализ геоморфологических особенностей русловых процессов на р.Алдан и дан прогноз эффективности дноуглубления для увеличения судоходных глубин.

Опыт проведения дноуглубительных работ показывает, что в галечно-валунном русле Алдана целесообразна разработка капитальных прорезей с расчетом, что устойчивость прорези обеспечит поток, сформировавший отмостку. Чем больше разница между крупностью материалов отмостки и толщи аллювия, тем более устойчива прорезь.

Анализ русловых деформаций на разработанных перекатах показал, что от г.Томмот до устья р.Тимптон прорези сильно занесены, особенно там, где осуществлялись лонгуарные отвалы грунта.

Ниже устья Тимптона многие прорези сохранились, но на судовом ходу обнаруживаются скопления камней-однцов.

Нижележащие перекаты - вплоть до Усть-Учурского - не требуют дноуглубления. Исходя из результатов изучения последних съемок, можно сделать вывод, что объемы эксплуатационных дноуглубительных работ не являются

несоизмеримо большими. Значительные трудности встретятся при повторной камнеуборке, хотя осмотр дна перекаатов показал, что количество камней, поступивших в русло за десятилетний период, существенно меньше, чем их было до начала дноуглубительных и камнеуборочных работ в 70-х гг.

В главе дается вывод, что р.Алдан, несомненно, может быть превращена во второй - после Лены - важнейший водный путь Якутии.

*Третья глава* диссертации «Прогнозирование русловых деформаций и влияния на них дноуглубительных и выправительных работ аналитическими методами гидравлики и геоморфологии с учетом региональных особенностей р. Алдан» обобщает результаты теоретических и экспериментальных исследований автора.

Глава начинается с оценки гидравлического сопротивления русла р.Алдан с учетом региональных особенностей - крупности отмостки и аллювия, наличия валунов и скальных выходов, многолетней стабильности берегов и однорукавности на верхнем участке реки (до устья р.Учур). Определяющие геоморфологические и гидравлические характеристики, приводимые в работе, установлены натурными наблюдениями русловых экспедиций.

В результате выполнения этого цикла исследований получен прогноз понижения меженных уровней воды на наиболее лимитирующем участке в начале судоходной трассы - от Томмота до устья р.Тимптон - при различных вариантах восстановления и увеличения гарантированных судоходных глубин. Одновременно оценено влияние изменения уклона свободной поверхности от половодья к межени на транспорт наносов и аллювиальные отложения. Как известно, в настоящее время сокращения финансирования русловых изысканий нередко отсутствуют или те, или другие исходные данные из-за высокой стоимости, большой трудоем-

кости и продолжительности натурального определения уклона свободной поверхности реки и гранулометрического состава отмостки и толщи аллювия. Поэтому мы посчитали целесообразным разработать региональные эмпирические методы при известном одном из двух аргументов определения второго камеральным, т.е. аналитическим путем, чтобы по уклону оценить гранулометрический состав аллювия или наоборот по информации о грунте найти местный уклон.

Для получения эмпирической зависимости, связывающей средний диаметр аллювия и отмостки и позволяющей прогнозировать процессы стабилизации русла на реках с галечно-гравийно-песчаным дном, были проведены натурные исследования.

Ввиду значительного разброса экспериментальных точек (рис. 1), автором было произведено исключение грубых ошибок, пользуясь критерием Шовене, позволяющим определить границы допустимых отклонений от средних.

За аппроксимационную кривую связи между средними диаметрами аллювия  $d_{ал}$  и отмостки  $d_{отм}$  была принята квадратичная парабола вида

$$d_{ал} = a + vd_{отм} + cd_{отм}^2 \quad (1)$$

Система исходных уравнений для определения коэффициентов  $a$ ,  $v$  и  $c$  в искомой зависимости имела следующий вид:

$$\left. \begin{aligned} na + (\sum d_{отмi})v + (\sum d_{отмi}^2)c &= \sum d_{алi} \\ (\sum d_{отмi})a + (\sum d_{отмi}^2)v + (\sum d_{отмi}^3)c &= \sum d_{отмi}d_{алi} \\ (\sum d_{отмi}^2)a + (\sum d_{отмi}^3)v + (\sum d_{отмi}^4)c &= \sum d_{отмi}^2 d_{алi} \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Решение системы уравнений производилось на ЭВМ методом Гаусса, в результате чего получено эмпирическое уравнение, описывающее процесс формирования аллювия

$$d_{ал} = 6.49 + 0.72d_{отм} - 0.0026d_{отм}^2 \quad (3)$$

Кривая, построенная по полученному уравнению, представлена на рис. 1.

Аппроксимация результатов натурального эксперимента линейной зависимостью дает следующее выражение для среднего диаметра отмытки и аллювия, как функции уклона свободной поверхности J

$$d_{отм} = 6.3 + 225J, \quad (4)$$

$$d_{ал} = 10.92 + 154.63J - 131.62J^2. \quad (5)$$

Выведенные зависимости классифицируются нами как региональные и рекомендуемые только для р.Алдан.

В продолжение исследований аналитическим путем с использованием натуральных данных получены зависимости для расчета протяженности реки, на котором за счет абразии влекомых наносов начинают появляться в русле песчаные образования, а затем происходит полная смена галечно-гравийного дна на песчаное.

В результате анализа и обобщения отечественных и зарубежных работ, опубликованных в последние 2 года, к реализации была принята система уравнений:

$$\frac{dq_G}{dx} = -(1 - \lambda_G) \vartheta v_s - \beta q_G \left( 2 + \frac{1}{3 \ln(2)} \frac{p_1 + F_1}{\Delta \psi_1} \right), \quad (6)$$

$$\frac{d(q_G p_j)}{dx} = -(1 - \lambda_G) \vartheta v_s f_{1,j} - \beta q_G (p_j + F_j) + \frac{\beta q_G}{3 \ln(2)} \left( \frac{p_{j+1} + F'_{j+1}}{\Delta \psi_{j+1}} - \frac{p_j + F'_j}{\Delta \psi_j} \right), \quad (7)$$

$$\frac{dq_s}{dx} = -(1 - \lambda_G) \vartheta \chi_d v_s + \frac{\beta q_G}{3 \ln(2)} \frac{p_1 + F'_1}{\Delta \psi_1}. \quad (8)$$

В уравнениях приняты обозначения:  $q_G$  - объемный расход гальки и гравия на единицу ширины русла;  $q_s$  - объ

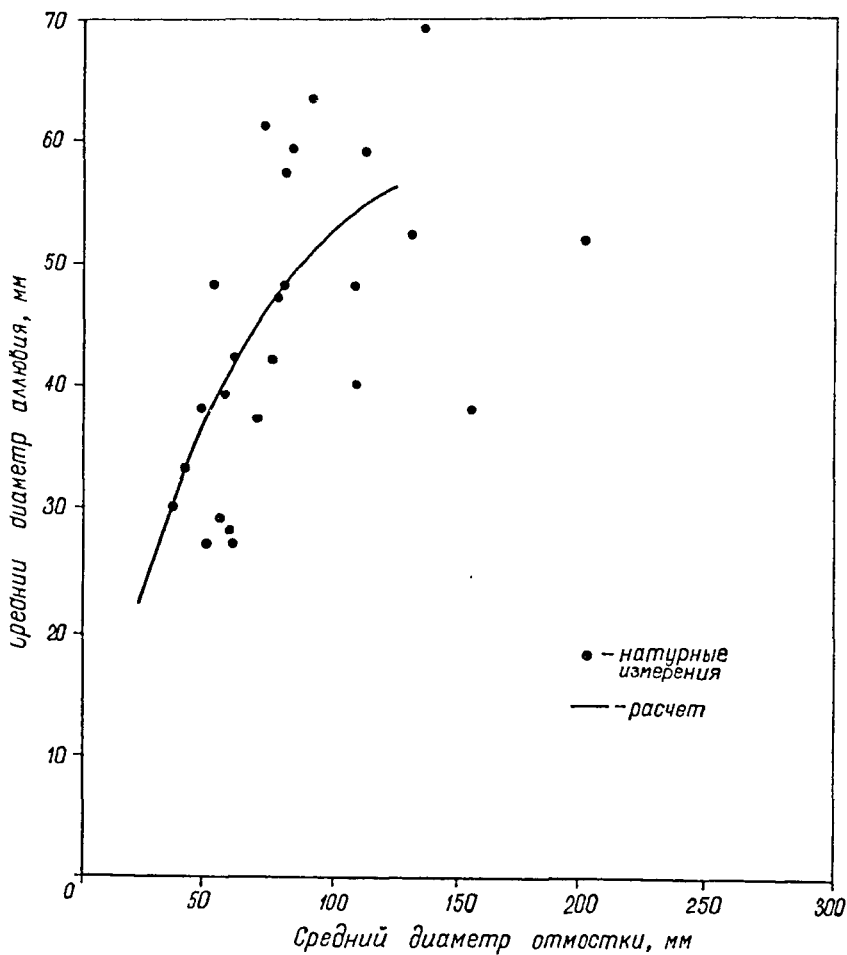


Рис. 1 . Сравнение натуральных измерений крупности отмытки и аллювия на участке Томмот-устье р.Тимптон реки Алдан

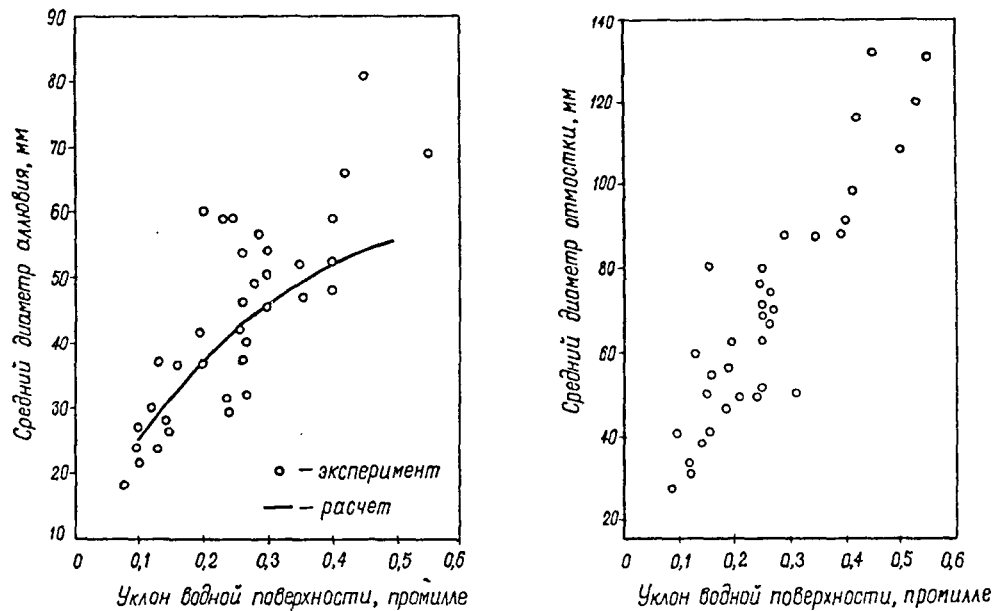


Рис. 2. Результаты натуральных измерений уклонов свободной поверхности и крупности атмосферки и алюминия на реке Алдан

емный расход песка на единицу ширины русла;  $\lambda_G$  - пористость галечно-гравийных отложений;  $\mathcal{G}$  - параметр, учитывающий влияние извилистости русла и гидравлики потока на отрыв твердых частиц;  $V_S$  - скорость разрушения гранул гальки и гравия;  $\beta$  - объемный коэффициент абразии;  $p$  - масса фракции в  $i$ -том интервале между отмыткой и подстилающим слоем;  $\chi_d$  - отношение содержания песка к количеству гальки и гравия в расчетном створе;  $x$  - продольная координата;  $\psi$  - показатель степени в выражении размера гранул донных отложений в логарифмической шкале  $d=2^\psi$ .

В исследовании рассматриваются осаднения и абразии частиц и используется выражение Торо-Эскобара  $f_{ij}=0.7F_j+0.3F_j'$ , в котором  $F_j$  - объем фракции гальки и гравия  $j$ -ого размерного интервала в отмытке и  $F_j'$  - параметр, характеризующий степень обнажения гравия в каждой фракции, определяемый по зависимости

$$F_j' = \frac{F_j / \sqrt{d_j}}{\sum_{j=1}^N (F_j / \sqrt{d_j})}.$$

Предложенное аналитическое решение позволяет описать три вида гравийно-песчаных переходов. Расход гальки и гравия падает до нуля; все гранулы достигают размеров песка; количество песка преобладает над галькой и гравием.

Если одновременно наблюдаются и абразия, и осаднение, то верхняя граница галечно-гравийного участка определяется по формуле

$$I_{G_{\text{свн}}} \leq \frac{1}{2\beta} \ln \left( 1 + \frac{2\beta q_G}{(1 - \lambda_G) \mathcal{G} V_S} \right). \quad (9)$$

К сожалению, аналитическое решение по предлагаемой методике невозможно в силу нелинейности исходных уравнений. Однако, осуществимо численное решение или полуэмпирическое решение на основе натуральных наблюдений.

Считаем, что для условий р.Алдан при составлении регионального расчетного графика можно воспользоваться результатами численных решений американских исследователей, выбрав из таблиц результатов вычислений те, в которых исходные данные совпадают с гидравлическими и геологическими условиями р.Алдан, а затем, введя в расчеты натурные данные, откорректировать рекомендации.

На основе анализа результатов численного и модельного экспериментов нами были составлены графики, позволяющие рассчитать уклоны свободной поверхности русла и расходы песчаной и гравийной фракции для любого участка реки (рис. 2). Графики позволяют по известным длине гравийного участка и русловому расходу воды определять уклон свободной поверхности, расход гравия и песка в любом створе участка.

Так, для участка верхнего Алдана - Томмот-усть Учюра, на котором согласно натурным исследованиям объемный коэффициент абразии  $\beta=1.5 \cdot 10^{-5}$ , длина гравийного участка составит 350 км. Ниже начинают появляться песчаные участки донных отложений. Граница полной смены аллювия на гравийно-песчаное без гальки приходится на 1000-ый км от устья, что подтверждается натурными данными.

*В четвертой главе «Рекомендации по реконструкции и эксплуатации судового хода на р.Алдан при выходе АЯЛ на Томмот и в перспективе на Якутск» кратко дается информация о конкретных практических рекомендациях автора по проектированию и осуществлению дноуглубительных и выправительных работ.*



Кроме того, вносятся предложения по переходу на р.Алдан от лоцманских методов судовождения к навигационным, что позволит сократить плавучую и береговую судоводную обстановку, а также повысить безопасность плавания транспортных судов. Для этих целей необходимо приобрести соответствующее оборудование и переподготовить судоводителей.

Минимально необходимый для навигационного судовождения набор приборов на многих судах есть (магнитный компас РЛС, на некоторых - гидрокомпас и авторулевой, лаг). Дополнительно к ним на всех судах полезно иметь лаг и прибор ночного видения.

Для осуществления предлагаемого перехода государственным бассейновым управлениям водных путей и судоходства надо выполнить подготовительные работы по корректировке лоцманских карт под нужды навигационных методов, заменить знаки судоводной обстановки на береговые радиолокационные ориентиры и отработать с плавсоставом навигационные методы судовождения.

На втором этапе навигационные методы судовождения ориентируются на использование спутниковой навигации (СН), которая обладает достаточной для внутренних водных путей точностью и может открыть перед Департаментом внутренних водных путей Минтранса РФ новые каналы финансовых взаимоотношений с судовладельцами.

*В заключении по работе обобщается содержание глав.*

Диссертационная работа докладывалась на научных конференциях МГУ и НГАВТ.

Основное содержание диссертации изложено в следующих публикациях:

1. Руслловые процессы, принципы регулирования и результаты выправления русла средней и нижней Лены. /В кн. Исследование руслловых процессов для практики народного хозяйства. Изд-ие МГУ, 1983. - с. 268-269.

2. Развитие судоходства и путевых работ на р.Алдан - как важной составной части водно-железнодорожных коммуникаций Республики Саха (Якутия). /В сб. «Современные проблемы технических наук». НГАВТ. 1996. - с. 29-30.

3. Анализ эффективности путевых работ на верхнем Алдане. /В материалах науч.конференции СО РАН, института философии и права, НГАВТ, ЮНЕСКО «Культура, образование, право, опыт, инновации». Новосибирск. 1996. - с. 179-181.

4. Первые шаги в развитии железнодорожно-водных коммуникаций Республики Саха (Якутия). /В сб. материалов науч. конференции СО РАН, института философии и права, НГАВТ, ЮНЕСКО «Культура, образование, право, опыт, инновации». Новосибирск. 1996. - с. 201-203.

5. Прогноз понижения меженных уровней на р.Алдан при увеличении гарантированной глубины. /В сб. науч. тр. НГАВТ «Проблемы внутренних водных путей Сибири и Якутии. Новосибирск. 1997. - с. 71-73.

6. Экспериментально-аналитическое прогнозирование изменений уклона свободной поверхности и крупности отмостки и аллювия при дноуглубительных работах на реке Алдан. /В сб. науч.тр. НГАВТ «Улучшение судоходных условий и обеспечение безопасности движения флота на внутренних водных путях Сибири и Якутии». Новосибирск. 1998. - с. 2-24.