

$$M_x = M_0 (A_x + \alpha x \operatorname{sh} \alpha x) + \frac{1}{3\alpha} Q_0 (B_x + 2\alpha x \operatorname{ch} \alpha x) + EI\alpha^2 y_0 C_x + EI\alpha\varphi_0 D_x. \quad (32)$$

Третьи производные от функций A_x , B_x , C_x , D_x с учетом взаимосвязи $\frac{d^3 A_x}{dx^3}$ и B_x ; $\frac{d^3 B_x}{dx^3}$ и C_x ; $\frac{d^3 C_x}{dx^3}$ и D_x ; $\frac{d^3 D_x}{dx^3}$ и A_x запишем в виде

$$\frac{d^3 A_x}{dx^3} = -\alpha^3 (B_x + 2\alpha x \operatorname{ch} \alpha x); \quad (33)$$

$$\frac{d^3 B_x}{dx^3} = -\alpha^3 C_x; \quad (34)$$

$$\frac{d^3 C_x}{dx^3} = -3\alpha^3 \left(D_x - \frac{2}{3} \alpha x \operatorname{ch} \alpha x \right); \quad (35)$$

$$\frac{d^3 D_x}{dx^3} = \alpha^3 (A_x + \alpha x \operatorname{sh} \alpha x). \quad (36)$$

Подставив выражения (33) — (36) в уравнение (22) и умножив его на $-EI$, получим уравнение для поперечных сил

$$Q_x = Q_0 (A_x + \alpha x \operatorname{sh} \alpha x) + EI \frac{\alpha^3}{3} y_0 (B_x + 2\alpha x \operatorname{ch} \alpha x) + EI\alpha^2 \varphi_0 C_x - 3\alpha M_0 \left(D_x - \frac{2}{3} \alpha x \operatorname{ch} \alpha x \right). \quad (37)$$

Для полубесконечной балки на упругом основании проявление краевого эффекта наблюдается на участке протяженностью $l_{кр}$ от конца балки, где приложены усилия [1]:

$$l_{кр} = (1,5 \dots 2,0) \sqrt[4]{EI/K}. \quad (38)$$

Представление общего интеграла уравнения (1) по методу начальных параметров позволяет получить не только общий интеграл уравнения $EI \frac{d^4 y}{dx^4} - N_0 \frac{d^2 y}{dx^2} = P - Ky$, когда P дана в виде непрерывной функции x , но и учесть произвольную прерывную и сосредоточенную нагрузку, а также заранее заданную деформацию балки.

Учет растягивающей осевой силы N_0 целесообразен при $N_0 \geq \geq (0,8 \dots 1,0) \sqrt{KEI}$ [1].

Приведенное решение может быть использовано и при учете влияния сдвига на изгиб.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1]. Справочник по строительной механике корабля. Т. 1.— Л.: Судостроение, 1982.— 376 с. [2]. Стуков В. П. Теоретические основы расчета нагеля в древесине // Лесн. журн.— 1991.— № 5.— С. 48—55.— (Изв. высш. учеб. заведений).

Поступила 19 сентября 1991 г.

УДК 556.536

О ПОСТУЛАТЕ ШЕЗИ ДЛЯ ОТКРЫТЫХ ПОТОКОВ

В. Е. СЕРГУТИН

Красноярский инженерно-строительный институт

Пятый Всесоюзный гидрологический съезд (Ленинград, 1986) вынес решение об усилении поиска эмпирических связей для гидравли-

ческих сопротивлений открытых потоков, к которым относятся судоходные и лесосплавные реки. Известный американский гидравлик Дж. Кеннеди называет проблему гидравлических сопротивлений камнем преткновения не одного исследователя. Он считает, что прогнозирование расхода Q для аллювиальных размываемых русел является проблемой первостепенной важности, которая упирается в незнание закона сопротивления. По мнению Кеннеди, соотношение коэффициентов шероховатости n и гидравлического сопротивления λ не установлено, связи относительной ширины русла B/h с другими гидравлическими и морфометрическими характеристиками не выявлены, неизвестны связи средней глубины h и гидравлического радиуса $R = \omega/\chi$ (где ω — площадь живого сечения; χ — смоченный периметр) с другими элементами потока, характеризующими форму русла, не найдена «в убедительном виде» формула расхода наносов, ни в одну из формул для коэффициента гидравлического сопротивления λ не входит расход или концентрация донных наносов. Тем не менее, считает Кеннеди, было бы слишком наивно ожидать, что коэффициент λ естественных потоков окажется лишь функцией одного параметра, поскольку естественные процессы обычно не столь уж беспорядочны или лишены общих тенденций. Кеннеди записывает формулу Шези в виде

$$v = (8g/l\lambda)^{0.5} (Rl)^{0.5},$$

где v — средняя скорость течения;
 $(8g/l\lambda)^{0.5} = C$ — коэффициент Шези [14] (скоростной коэффициент);
 l — гидравлический уклон.

Согласно принципу Шези (1795 г.) гидравлическое сопротивление

$$\lambda = \lambda (v^2). \quad (1)$$

Среднюю скорость течения приближенно можно определить так:

$$v = C\lambda^{0.5}. \quad (2)$$

Исследования по определению коэффициента Шези стали интенсивно проводить спустя 100 лет, начиная с 1900 г. (Маннинг, Форхгеймер, Н. Н. Павловский и др.). Сам Шези принимал коэффициент C постоянным и равным 50. Такого же мнения, независимо от Шези, придерживался французский гидравлик и гидролог дю Бюа, предложивший почти сходное уравнение для средней скорости потока. Однако явного признания постулата квадратичности и формулы Шези не было и в работах ранней французской школы. Так, почти одновременно с Шези и дю Бюа Шарль де Кулон на основании своих опытов сделал вывод, что сопротивление жидкости может быть представлено в виде функции из двух членов, один из которых пропорционален первой степени скорости, другой — второй. Были известны и зависимости, в которых применяли один и тот же коэффициент для обеих степеней скорости. Считалось, что закон сопротивления Кулона является частью бесконечного ряда [2].

По данным современных отечественных исследований, зависимость (2) подвергается большому сомнению.

В работе [1] отмечено, что квадратичный режим движения вообще не характерен для потоков в естественных руслах и неукрепленных каналах, в работе [8] установлено, что не существует он и в песчаных руслах, регулирующих шероховатость своего дна.

Для потоков, которые характеризуются коэффициентом Шези C , пропорциональным корню квадратному из средней скорости, зависимость (2) также отсутствует. Это означает, что потери напора на трение пропорциональны не второй, а первой степени скорости. Подтверж-

днем служит тот факт, что на реках с галечным дном форсированные дноуглубительные работы ведут к резкому уменьшению уклона и снижению уровней воды, а на реках с песчаным дном последствия таких работ малозаметны [9, 11]. В [10] приводятся данные о силах трения и сопротивлениях жестких открытых русел при равномерном и неравномерном движении, потерях энергии при расширении потоков, особенностях сопротивления естественных русел, силах трения в руслах из крупнозернистых грунтов, гальки и валунов, а также с подвижными донными грунтами. Рассматривается механизм сопротивления донных гряд, шероховатости дна потоку.

Не проявляется квадратичный режим движения для больших сечений открытых потоков с достаточно гладкими боковыми стенками и при движении воды через модели гидросооружений [35]. Сомнение высказано и на основании экспериментов, проведенных в Ленинградском гидрометеорологическом институте [31]. Существующие зависимости для оценки гидравлических сопротивлений речных потоков противоречивы и не отражают квадратичности [14, 15]. Отсутствие ее зафиксировано и специальными экспериментами [4]. Аналогичный вывод в этой работе сделан и для опытов других авторов, несмотря на широкий диапазон изменений чисел Рейнольдса в них. В наших публикациях [22—28, 30] на основании натуральных данных также выражается сомнение в наличии режима квадратичности при движении открытых потоков в естественных руслах.

Поэтому возникает задача об экспериментальной проверке постулата Шези, установлении вида связи между силой трения потока и средней скоростью. Сам Шези под термином «сопротивление» подразумевал (в современном представлении) силу трения — касательное напряжение о дно и стенки русла потока τ .

Согласно рис. 1 имеем

$$G \sin \alpha = \gamma \omega L \sin \alpha,$$

где γ — объемный вес жидкости;
 L — длина части потока.

Из-за малости угла α ниже примем $\sin \alpha \approx \operatorname{tg} \alpha = I$.

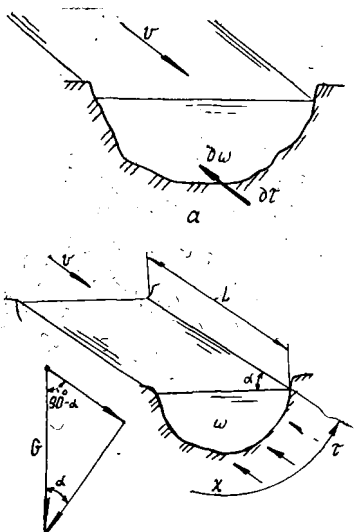


Рис. 1. Расчетные схемы движения потока: а — по Шези; б — с учетом силы тяжести G и уклона дна I

Условие равновесия части потока длиной L с учетом гидравлического сопротивления имеет вид

$$\gamma \omega L I - \tau \chi L = 0.$$

После деления на смоченный периметр χ и длину L получим

$$\tau = \gamma h I, \quad (3)$$

где τ — удельная сила трения;
 $h \approx R = \omega / \chi$.

Заметим, что в формуле (3) (для гидравлики открытого потока это основное уравнение равномерного движения) пропорциональность между τ и I физически трудно воспринимается, чего нельзя сказать о пропорциональности τ и h (увеличение h , например, ведет к увеличению χ и силы трения). Однако в целом возможна пропорциональность τ и произведения hI , поэтому французская школа гидравлики времен Базена и Ларси произведение hI именовала влекущей силой [3], что определенным образом проливает свет на структуру формулы Шези. В то же время зависимость (3) является линейной, а не степенной (например квадратичной) функцией.

Сделаем следующие преобразования. Примем $\tau = a v^2$, где a — коэффициент пропорциональности, и подставим в уравнение (3). Тогда

$$v = (\gamma/a)^{0,5} (hI)^{0,5}.$$

Множитель в правой части $(\gamma/a)^{0,5} = C$. В результате получим формулу Шези $v = C(hI)^{0,5}$ в записи через среднюю глубину h .

Постулат Шези — теоретическая предпосылка. Она настолько прочно вошла в расчетную практику речной гидравлики и смежных дисциплин, что имеются предложения не рассматривать ее вообще, не разбирать связи типа коэффициент шероховатости — гидравлический уклон, которые могут выявить наличие или отсутствие принципа квадратичности при движении потока [18]. При этом не представляется возможным установить взаимосвязь τ и v с помощью, например, уравнения Бернулли или какого-либо другого закона, применяемого для исследования движения жидкости (кинетической энергии, теоремы об изменении количества движения или др.). Поэтому для решения поставленной задачи о наличии или отсутствии квадратичности при движении открытого потока в естественном русле необходимо использовать лишь натурные данные. Гидравлический радиус при этом заменим на среднюю глубину, что обычно практикуют для широких естественных потоков при $\chi \approx B$ и $\omega/\chi \approx \omega/B$.

Гидравлический уклон I — потерю напора на единице длины движения — примем равным уклону свободной поверхности, полагая, что поток равномерный, т. е. на рассматриваемом участке длиной L (рис. 1) имеет одинаковые глубины и площади живых сечений.

Рассмотрим зависимости

$$\tau = \tau(v); \quad I = I(v); \quad v = v(h);$$

$$Q = Q(v, h, I); \quad Q = Q(vh, Re); \quad Q = Q(\tau).$$

Первая из них непосредственно вытекает из постулата Шези. Вторая характеризует падение напора на единице длины движения, когда гидравлический уклон принимается равным уклону свободной поверхности и зависит от сопротивления потока. Величины v , h и I входят в формулу Шези и дополняют, включая и связь $Q = Q(\tau)$, исследование поставленного вопроса о наличии или отсутствии режима квадратичности при движении речного потока в естественном русле.

Четкая линейность зависимости $\tau = \tau(v)$ имела место, например, для р. Енисей по Карлову створу в бытовом режиме реки до сооружения в 1970 г. плотины Саяно-Шушенской ГЭС и по другим створам Енисея от г. Кызыла в Туве до низовий за Полярным кругом. Линейность наблюдается и для притоков Енисея — Ангары, Подкаменной и Нижней Тунгуски, их притоков, других рек енисейского бассейна, Лены и ее притоков, Колымы. Эти потоки имеют в основном гравийно-галечное русло, с заполнением аллювия крупным песком. Линейность связи наблюдается и для р. Иртыша и Оби, Чулыма и их притоков, у которых русловой аллювий меньше, его поры заполнены мелким песком и глиной. Приблизительно такая же картина свойственна и для рек Забайкалья и Дальнего Востока — Амура и его притоков. На рис. 2 приведены примеры очертаний таких связей $\tau = \tau(v)$.

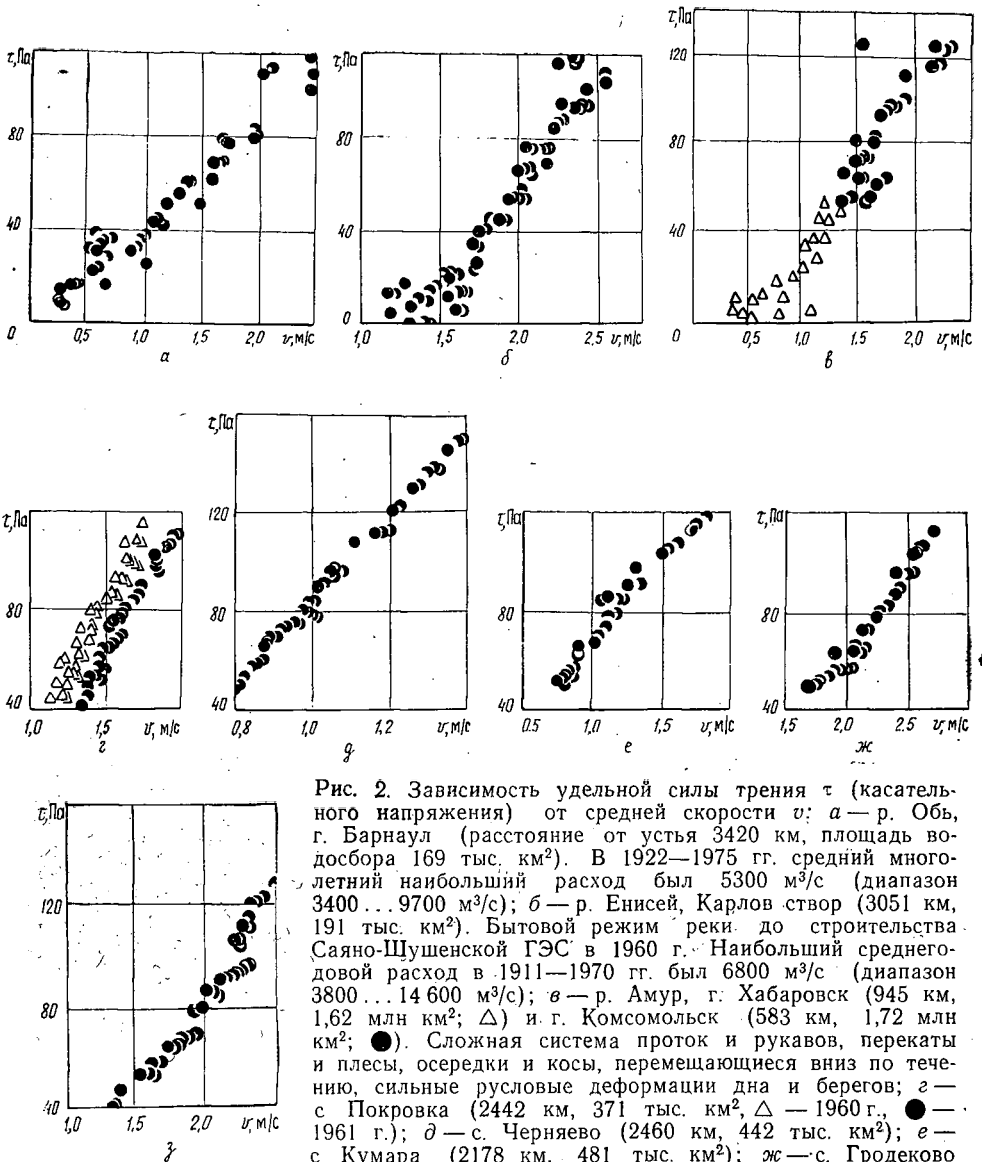


Рис. 2. Зависимость удельной силы трения τ (касательного напряжения) от средней скорости v : а — р. Обь, г. Барнаул (расстояние от устья 3420 км, площадь водосбора 169 тыс. км²). В 1922—1975 гг. средний многолетний наибольший расход был 5300 м³/с (диапазон 3400...9700 м³/с); б — р. Енисей, Карлов створ (3051 км, 191 тыс. км²). Бытовой режим реки до строительства Саяно-Шушенской ГЭС в 1960 г. Наибольший среднегодовой расход в 1911—1970 гг. был 6800 м³/с (диапазон 3800...14 600 м³/с); в — р. Амур, г. Хабаровск (945 км, 1,62 млн км²; Δ) и г. Комсомольск (583 км, 1,72 млн км²; \bullet). Сложная система проток и рукавов, перекаты и плесы, осередки и косы, перемещающиеся вниз по течению, сильные русловые деформации дна и берегов; г — с. Покровка (2442 км, 371 тыс. км², Δ — 1960 г., \bullet — 1961 г.); д — с. Черняево (2460 км, 442 тыс. км²); е — с. Кумара (2178 км, 481 тыс. км²); ж — с. Гродеково (1930 км, 830 тыс. км²); з — с. Помпеевка (1448 км, 806 тыс. км²)

Теоретически возможна попытка определить характер режима движения после записи величины τ в зависимости от средней скорости:

$$\tau = b v^x,$$

где x — искомый показатель степени, при квадратичном режиме $x = 2$, при линейной связи $x = 1$;

b — размерный коэффициент пропорциональности, кг · с/м³.

Отсюда, с учетом формулы (3), получим

$$x = (\lg \gamma + \lg h + \lg I - \lg b) / \lg v. \quad (4)$$

Решение, однако, упирается в дополнительное определение коэффициента пропорциональности b , который, по смыслу, выполняет роль коэффициента C в формуле Шези и, в свою очередь, зависит от коэффициента шероховатости n . Значение x можно определить, применив методы математической статистики для достаточно большого числа уравнений связи $\tau(v)$. Это было сделано на примере р. Джеби, правобережного притока р. Кизира и далее Казыра и Тубы в бассейне Верхнего Енисея. По данным Гидрологических ежегодников СССР издания до 1975 г. (т. 7), имеется более 50 величин уклонов свободной поверхности р. Джеби при разных расходах за один гидрологический сезон. Используя эти данные, нашли, что значение $x = 1,04$.

Квадратичность связи $I = I(v)$ не просматривается, что видно из примеров для р. Енисея, Ангары и их притоков, Амура, других потоков в восточных бассейнах.

Четкая линейность графиков наблюдается для связей $v = v(h)$. Она не зависит от водности потока, уклона дна и вида русловых отложений (песчаный аллювий, галька, гравий). Прямолинейная связь между средней скоростью и средней глубиной отмечена в работе [21] для р. Волги в створе г. Чкаловска, р. Енисея у г. Игарки, а по данным [32] и для р. Дуная и Дунайского канала, Эльбы, других потоков и каналов в Западной Европе. Резкое изменение формы живого сечения может вызвать, однако, излом линейных очертаний между средними скоростью и глубиной, хотя сама линейность связи между этими элементами не нарушается. Это установлено для р. Витима, правобережного притока Лены (с. Усть-Талое) и р. Оки в створе г. Калуги (рис. 2 и 5 в статье [21]). Линейность связи между средними скоростью и глубиной показана Г. В. Железняковым [13].

Связи $Q = Q(v, h, I)$ могут быть или линейными или синхронно выпуклыми в сторону оси абсцисс (рис. 3). Здесь проявляется зависимость, записываемая в виде

$$\frac{\partial v}{\partial Q} \approx \frac{\partial h}{\partial Q} \approx \frac{\partial I}{\partial Q}. \quad (5)$$

При анализе связей между удельной силой трения τ и средней скоростью v интересен такой факт. Записав расход потока $Q = v \omega$, где $\omega = hB$, т. е. $Q = vhB$, и разделив обе части выражения на ширину русла B , получим $Q/B = vh$, где Q/B — удельный расход на единицу ширины потока. Величина vh прямо пропорциональна полной величине Q , чем и объясняется линейность записи $Q = Q(vh)$. Рассматривая далее связь $Q = Q(vh)$, можно заметить, что $\text{tg}(Q, vh) = \text{idem}$ и является постоянной величиной для данного конкретного створа рассматриваемого потока. Поэтому можно записать, что $Q = \text{idem} \cdot vh$ при разных наполнениях русла, пока поток не вышел на пойму. Это характерно для многих рек в восточных бассейнах [29]. Скорректированный на величину $1/v$ удельный расход vh представляет собой число Рейнольдса $Re = vh/\nu$, широко применяемое в гидравлических расчетах и исследованиях открытых потоков (здесь ν — кинематический коэффи-

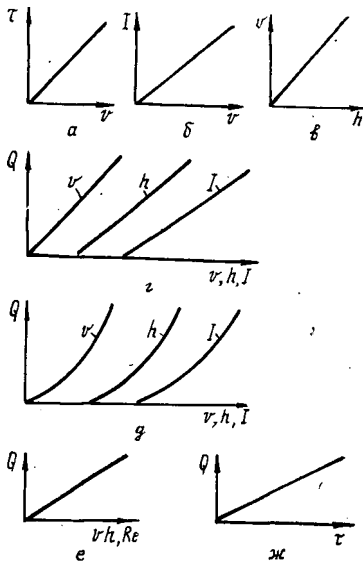


Рис. 3. Схематизация связей:
 а — $\tau = \tau(v)$; б — $I = I(v)$; в —
 $v = v(h)$; г, д — $Q = Q(v, h, I)$;
 е — $Q = Q(vh, Re)$; ж — $Q =$
 $= Q(\tau)$

циент вязкости воды, мало изменяющийся и зависящий от температуры. Приняв его постоянным при плюсовой температуре 10°C и равным $1,31 \cdot 10^{-6}$ м²/с, приходим к выводу, что это число выражается через удельный расход vh .

Практически прямолинейна и графическая зависимость удельной силы трения по расходу $Q = Q(\tau)$. Это наблюдается для р. Енисея и Ангары, их притоков, Лены и Амура, других потоков в восточной части России.

Рассматривая конфигурацию гидравлических связей для естественных потоков, заметим, что нелинейность наблюдается для многих, здесь не рассматриваемых, связей. Это, например, зависимость между средней глубиной и уклоном свободной поверхности $h = I(I)$ [32], глубиной и расходом $h = Q(Q)$ [20].

Для всех изученных связей рассматривались потоки в восточных бассейнах, где по Гидрологическим ежегодникам СССР (т. 4—9 и все их выпуски) имеются данные об уклоне свободной поверхности. Это реки Урал, Иртыш и Тобол, Бия и Катунь, Ангара и ее притоки, Лена, Индигирка, Яна и Колыма, Алдан, Витим и Вилюй, Норилка и Талнах, Хантайка и Турухан, Сосьва и Северная Таймура, Шушь (Большая Шушь), Абакан, Минусинка и Туба, Баргузин, Слюдянка, Селенга и другие притоки, впадающие в оз. Байкал, Амур, Зея и Буряя, Уссури, Тында, Чита (Читинка) и Чача, Магаданка, Камчатка на п-ве Камчатка, Горбуша, Нельма и Амба на побережье Охотского моря, ручьи Волчий, Медвежий, Сохатиный и др. на водосборах Нижней Лены, Индигирки, Яны и Колымы. Большинство этих потоков характеризуется бытовым незарегулированным режимом, ширина русел изменяется от 1 (ручьи) до 12000 м, глубина от 0,1 до 100 м (водовороты в низовьях Нижней Тунгуски), средние скорости от 0,1 до 4,0 м/с, уклон свободной поверхности от 0,01 до 1,20 ‰. Наименьшие площади водосборов имеют ручьи на Северо-Востоке (3 км²), наибольшей обладает Обь — 2,09 млн км² у г. Салехарда, крупнейшая река по водности — Енисей (расход, зафиксированный 12.06.1969 г. у г. Игарки, составил 176 тыс. м³/с). По характеристике русловых процессов, предложенной Государственным гидрологическим институтом, реки сильно отличаются друг от друга. Средний Иртыш, например, свободно меандрирующая река, осередко-

вая многорукавность развита на Верхней Оби, Средний Иртыш и Средняя Обь — многорукавные потоки, побочный тип имеют Енисей и Ангара, Подкаменная и Нижняя Тунгуски, Малый и Большой Енисей (Каа- и Бихем в Туве). Сильно меандрируют Чулым (Обский), Кас, Сым и Дубчес — левобережные притоки Среднего Енисея со стороны Западно-Сибирской низменности. Ряд потоков Западного и Восточного Казахстана имеют блуждающие русла, теряющиеся в песках, например, Борохудзир в бассейне р. Или — притока в оз. Балхаш. Дополнительная информация содержится в работах [6, 7], результатах исследований Проблемной лаборатории эрозии почв и русловых процессов МГУ [33, 34], других источниках. Она включает также натурные данные (по лесосплавным рекам) Гипролестранса и его Красноярского филиала. Схематизация рассмотренных связей приведена на рис. 3.

Считается, что разнообразие естественных русел делает невозможным получение универсальных закономерностей, учитывающих режимы движения [12]. Действительно, теоретические разработки в области гидравлических сопротивлений для естественных потоков осложняются многими факторами, трудно поддающимися наблюдению и учету. Это неравномерность движения, турбулентность водной среды, неоднозначность уровней и уклонов свободной поверхности на восходящей и нисходящей ветвях гидрографа, деформации размываемого русла, петлеобразные зависимости между расходами воды и наносов, а по [3] — асинхронность прохождения паводочных пиков скорости и расхода совместно с максимальной глубиной. Вместе с тем рассмотренные связи (1) — (7) позволяют сделать вывод о наличии линейной зависимости между удельным сопротивлением потока и его средней скоростью. Поэтому приняв ее в виде $\tau = bv$ (b — размерный коэффициент пропорциональности), получим

$$v = hsI, \quad (6)$$

где $s = \tau/b$ — коэффициент, формально по структуре аналогичный скоростному коэффициенту Шези C , $1/c$.

Сопоставляя эту зависимость с формулой Шези, можно отметить, что $s/C = 1/(hI)^{0.5}$. Как и коэффициент Шези $C = v/(hI)^{0.5}$ в функции по расходу [12, 17], коэффициент $s = v/(hI)$ при разных расходах может иметь разную конфигурацию. Определение s возможно непосредственно по данным Гидрологических ежегодников СССР, изданных до 1975 г. для конкретных потоков. По ним можно определить и коэффициент Шези C , также минуя коэффициент шероховатости [5], что, как известно, является далеко не простым делом и связано с субъективной оценкой состояния русла. Так как коэффициент s корректирует линейную, а не квадратичную связь сопротивления и средней скорости (или линейную связь средней скорости и влекущей силы hI), то его диапазон в рамках гидрографа значительно больше, чем для коэффициента Шези C (последний, как известно, по данным, например, Г. В. Железнякова, Д. В. Штеренлихта, И. Ф. Карасева, Н. Б. Барашникова и др., для естественных потоков изменяется от 10 до 100 $m^{0.5}/c$). Данные о величинах коэффициента s для некоторых рек в восточных бассейнах приведены в таблице.

Обследованные потоки сильно отличались друг от друга. Так, диаметр донных фракций в русле р. Аган и Серга в бассейне Оби в Западной Сибири, соответствующий 50 %-му гранулометрическому составу (0,15 мм), в 500 с лишним раз меньше такого же показателя для р. Енисей.

Таким образом, постулат Шези — квадратичная зависимость сопротивления открытого потока от средней скорости — проанализирован по

Река	$s \cdot 10^{-2}$, 1/с	I , %
Бассейн г. Оби:		
Серта	40...60	0,01...0,10
Аган	40...80	0,04...0,08
Енисей:		
г. Кызыл	16...52	0,38...0,90
с. Чао-Холь	4...14	0,40...0,90
с. Крутой поворот	4...14	0,40...0,95
с. Никитино	7...15	0,20...1,00
с. Подсиняя	6...17	0,30...0,90
г. Енисейск	11...18	0,60...1,00
с. Подкаменная Тунгуска	13...57	0,20...1,00
Малый Енисей:		
с. Знаменка	5...11	0,30...1,00
г. Кызыл	9...16	0,30...0,70
Большой Енисей, с. Тора-Хэм	8...15	0,20...0,40
Подкаменная Тунгуска:		
с. Чемдальск	5...10	0,67...1,00
п. Байкит	14...21	0,27...0,43
с. Кузьмовка	17...42	0,45...0,90
Нижняя Тунгуска:		
с. Ербогачен	65...70	0,06...0,12
с. Наканно	10...67	0,07...0,80
Бассейн р. Енисей:		
Абакан, улус Райков	5...29	0,20...0,90
Кан, г. Канск	6...8	0,20...0,60
Туба, с. Бугуртак	9...33	0,06...0,90
Казыр, с. Пономарево	8...26	0,01...0,40
Кизир, с. Имисское	8...10	0,05...1,00
Лена:		
с. Солянка	20...40	0,04...0,06
с. Змеиново	22...40	0,04...0,80
Бассейн оз. Байкал:		
Селенга, рзд. Мостовой	10...20	0,04...0,10
Баргузин, с. Баргузин	9...16	0,07...1,00

данным Гидрологических ежегодников СССР издания до 1975 г. Сделан вывод о линейности связи сопротивления со средней скоростью потока для речных русел. Предложена формула, по структуре подобная формуле Шези, без квадратного радикала в правой части над произведением гидравлического радиуса, принимаемого равным средней глубине, на гидравлический уклон (уклон свободной поверхности). В формуле имеется и коэффициент с размерностью 1/с, определение которого возможно по данным Ежегодников без учета коэффициента шероховатости.

В заключение отметим, что дальнейшие исследования представляют интерес с точки зрения типизации коэффициента s при разных уклонах и типовых морфометрических характеристик, как это выполнено И. Ф. Карасевым для обновленной унифицированной шкалы коэффициентов шероховатости речных русел и пойм n [19].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1]. Абальянц С. Х. Устойчивые и переходные режимы в искусственных руслах.—Л.: Гидрометеоздат, 1981.—210 с. [2]. Азит Бисвас. Человек и вода // Из истории гидрологии.—Л.: Гидрометеоздат, 1975.—С. 280. [3]. Акулов К. А., Великанов М. А. Краткое изложение главнейших теорий движения речного потока и методов направления русел.—М.: Изд-во МВТУ, 1928.—120 с. [4]. Алекперов А. А. Исследование закономерностей сопротивления равномерных и плавно изменяющихся спокойных и бурных потоков.—М.: ВНИИ гидротехники и мелиорации, 1974.—22 с. [5]. Альтшуль А. Д. и др. Сравнение формул без коэффициента шероховатости для определения средней скорости воды в реках // Гидротехнич. строительство.—1973.—№ 1.—С. 41—42. [6]. Барышников Н. В. и др. Динамика русловых потоков и русловые процессы.—Л.: Гидрометеоздат, 1988.—458 с. [7]. Барышников