

О.Г. Савичев

*Национальный исследовательский
Томский политехнический университет, Томск, Россия*

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ РУСЛОВЫХ ДЕФОРМАЦИЙ РЕК ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

Предложена методика оценки горизонтальных и вертикальных русловых деформаций равнинных рек при отсутствии данных наблюдений на основе определения стандартного отклонения ширины $\sigma_b(B)$ и максимальной глубины $\sigma_b(h_{\max})$ потока при фиксированных уровнях воды. Проведена апробация методики на примере реки Чулым у г. Асино. На основе методики получены оценки размыва берегов и дна рек Васюган, Еркал-Надей-Пур и Щучья, которые могут использоваться при расчёте русловых деформаций гидрологически неизученных рек в сходных природных условиях.

Ключевые слова: вертикальные и горизонтальные русловые деформации, Западная Сибирь.

Решение целого ряда научных и инженерных задач требует оценки деформаций речных русел [2, 13]. При наличии данных наблюдений эта задача обычно решается на основе сравнения поперечных профилей за многолетний период, а при их отсутствии – по эмпирическим формулам или с учётом сведений о реках-аналогах [5, 9, 10, 11].

Общие недостатки известных методик заключаются в следующем: 1) при большинстве существующих способов необходима одновременная русловая съёмка с интервалом не менее 5 лет на исследуемой реке или на реке-аналоге, однако при проектировании объектов строительства на труднодоступных территориях таёжной, лесотундровой и тундровой зон подобные данные часто отсутствуют или не удовлетворяют требованиям по точности; 2) трудоёмкость гидрологических исследований, сложность или невозможность получения расчётных параметров в отведённые сроки; 3) высокая степень неопределённости при измерении или расчёте параметров, используемых в косвенных способах оценки и прогноза русловых деформаций; 4) существенные отклонения расчётных значений русловых деформаций от измеренных значений, если способ применяется при условиях, отличающихся от тех, которые учитывались непосредственно при его разработке [14].

Кроме того, даже при наличии русловых съёмок достаточно сложно выделить основные закономерности русловых деформаций и понять, какие их характеристики (и как) должны использоваться для проектирования гидротехнических сооружений. В качестве иллюстрации последнего ас-

пекта геоморфологических и гидрологических исследований можно привести поперечные профили русла реки Чулым у г. Асино (крупный правый приток реки Обь, Западная Сибирь, Томская область), свидетельствующие о разнонаправленных деформациях как на смежных участках, расположенных примерно в 100 м друг от друга, так и внутри русла (рис. 1, 2).

С учётом перечисленных выше проблем предложена методика оценки горизонтальных и вертикальных русловых деформаций на основе анализа материалов режимных гидрологических наблюдений (в Российской Федерации – на сети Росгидромета). В результате такого анализа выбираются уровни воды, при которых наблюдаются наибольшие значения амплитуды изменений ширины и максимальной глубины потока. Эти значения и принимаются в качестве ориентировочных оценок максимально возможных горизонтальных и вертикальных деформаций русла. Апробация методики в целом показала корректность применяемого алгоритма и возможность его использования для оценки русловых деформаций малых и средних рек таёжной зоны [8, 14]. Однако остались недостаточно проработанными вопросы выбора оцениваемых показателей, что и определило цель рассматриваемой работы – доработка и дополнительное обоснование методики оценки русловых деформаций водотоков.

Методика и объекты исследования

Рассматриваемая методика оценки русловых деформаций основана на определении параметров потока, при которых наблюдаются наибольшие деформации русла или, иными словами, параметров потока при руслоформирующем расходе. В отличие от методики Н.И. Маккавеева и её модификаций [12], во-первых, делается акцент не на расчёт косвенных показателей твёрдого стока, а на оценку изменчивости ширины и глубины потока. Во-вторых, непосредственно определяется не руслоформирующий расход воды, а уровень воды, ему соответствующий. Первое отличие обусловлено главной целью методики (определение русловых деформаций), второе – меньшими погрешностями измерения уровней воды (по сравнению с расходами). При этом общий смысл используемого подхода заключается в отборе данных об изменении ширины и глубины потока преимущественно при деформациях русла (исключая колебания, связанные с изменением количества воды), а алгоритм расчёта – в выборе данных многолетних наблюдений (с одинаковым количеством значений в периоды подъёма и спада половодья в годы с разной водностью), соответствующих фиксированному уровню воды H_i , задаваемому с каким-либо постоянным приращением ΔH от выбранного минимума H_{\min} ($H_i = H_{\min} + i \cdot \Delta H$, $i = 1, \dots, m$).

Пример формирования выборок приведён в [14]. Здесь лишь отметим, что для большинства равнинных рек с амплитудой 5–12 м приращение уровня воды целесообразно принять в размере 0,2–0,5 м (при больших значениях возрастает вероятность пропуска экстремума, при меньших – резко увеличивается трудоёмкость процедуры).

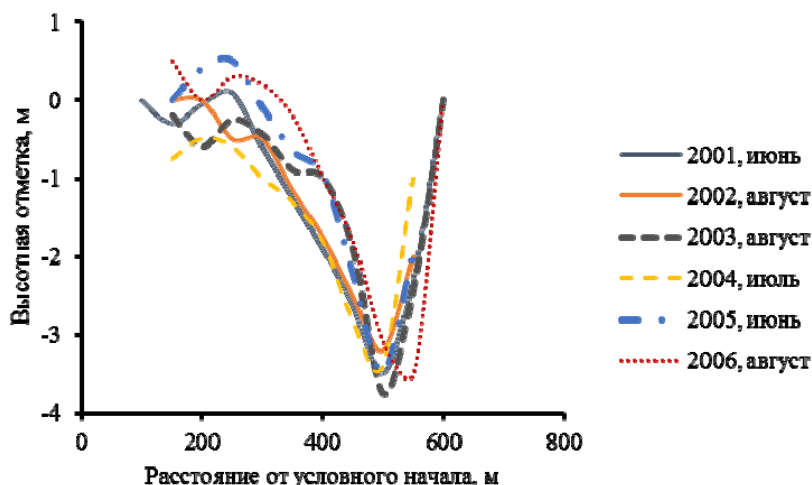


Рис. 1. Поперечный профиль русла реки Чулым у г. Асино в условной системе высот, створ 8 (табл. 1)

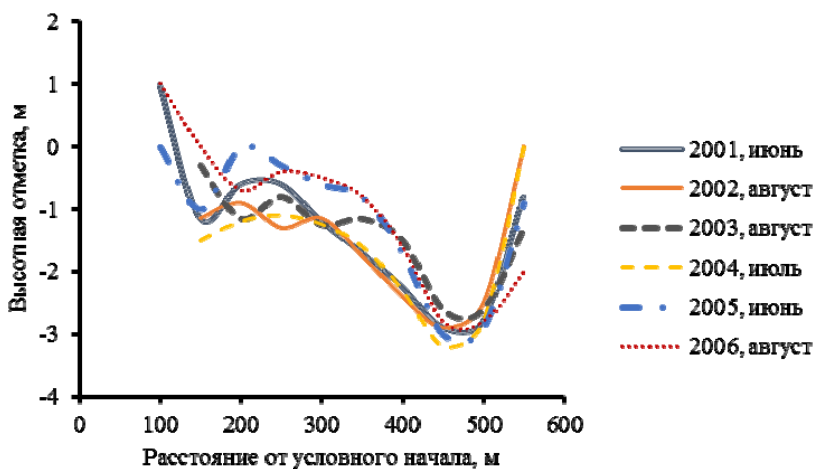


Рис. 2. Поперечный профиль русла реки Чулым у г. Асино в условной системе высот, створ 9 (табл. 1)

В случаях, когда отсутствует фиксированное значение уровня воды H_i , искомые значения параметров потока находятся интерполяцией между ближайшими датами (для заданного H_i). Затем для каждой выборки определяются значения амплитуды ширины $D(B)$, максимальной глубины водотока $D(h_{\max})$ и выбираются максимумы ($D_{\max}(B)$ и $D_{\max}(h_{\max})$), которые и принимаются в качестве оценок горизонтальной и вертикальной деформации русла соответственно. Затем выполняется расчёт предельно возможно-

го вертикального размыва русла Z_{lim} и максимально возможных горизонтальных русловых деформаций ΔB_T (за T лет) рек по формулам:

$$Z_{\text{lim}} = Z_{\text{min}} - D_{\text{max}}(h_{\text{max}}) - \delta_h, \quad (1)$$

$$\Delta B_T = T \cdot (D_{\text{max}}(B) + \delta_B), \quad (2)$$

где δ_B и δ_h – погрешности измерения ширины и глубины потока; Z_{min} – минимальная отметка дна. Формулы (1) и (2) могут использоваться и для рек, на которых режимные гидрологические наблюдения не проводятся. При этом значения $D_{\text{max}}(h_{\text{max}})$ и $D_{\text{max}}(B)$ принимаются, согласно [4, 9, 10], по данным рек-аналогов с примерно такими же условиями формирования водного стока, морфометрическими характеристиками и преобладающим типом руслового процесса.

Величины $D_{\text{max}}(B)$ и $D_{\text{max}}(h_{\text{max}})$ представляют собой меры рассеивания горизонтальных и вертикальных размеров русла при его заданном наполнении, что определяет очевидный физический смысл (1), (2). В то же время, использование амплитуды сопряжено со значительными случайными колебаниями от выборки к выборке [7]. С учётом этого была предпринята попытка использования в качестве меры рассеивания не амплитуды, а стандартного отклонения случайных величин B и h_{max} при фиксированных значениях H_i ($i=1, \dots, m$).

Для проверки гипотезы о лучшем соответствии стандартного отклонения были использованы полученные в АО «Томскгеомониторинг» и Чулымском участке водных путей и судоходства Западно-Сибирского пароходства материалы изучения русловых деформаций реки Чулым в районе г. Асино (Западная Сибирь, Томская область) в 2001–2006 гг. [3]. Река Чулым является третьим по водности (после рек Иртыша и Томи) притоком р. Оби. Водосбор площадью 134 тыс км² имеет сложную Г-образную форму. Его южная часть охватывает восточные и северные склоны и предгорья Кузнецкого Алатау (в пределах республики Хакасия, Красноярского края и Кемеровской области), а северная, соответствующая границам Томской области, – юго-восточную часть Западно-Сибирской равнины (границу равнины и горных районов). Среднегодовое расхождение воды р. Чулым у с. Батурино (площадь водосбора 131 тыс. км²) за период с 1936 по 2006 г. составляет 782 м³/с, а максимальный наблюденный расход воды (02–03.06.1941 г.) – 8 220 м³/с. Для р. Чулым на участке нижнего течения характерны свободное завершённое меандрирование и пойменная многорукавность. Речное русло, сложенное песчаными и глинисто-песчаными отложениями, подвержено плановым деформациям, интенсивность которых достигает 20 м/год и более [3, 6, 8].

Исследуемый участок расположен в 193 км ниже по течению от с. Зырянское (площадь водосбора примерно 123 тыс. км²). В его пределах построены 29 профилей. Расстояние между профилями по фарватеру – 100 м. Наиболее полные данные получены для профилей 8 и 9 (см. рис. 1, 2).

Результаты исследования

При ряде допущений изменение отметки дна реки при постоянном уровне воды можно рассматривать как одномерное случайное блуждание [1], а координату дна – как нормально распределённую случайную величину с плотностью вероятности $p(Z)$:

$$p(Z) = \frac{\exp\left(-\frac{Z - Z_a}{2 \cdot \sigma^2}\right)}{\sqrt{2 \cdot \sigma \cdot \pi}}, \quad (3)$$

где Z_a и σ – математическое ожидание и стандартное отклонение отметки дна (среднее квадратическое смещение относительно Z_a), причём величина σ^2 в уравнении (3) пропорциональна времени t . Подобная схема может быть использована в первом приближении и для описания изменений положения берега.

Тогда, во-первых, доверительный интервал P для σ может быть получен в виде (4–6):

$$P(\sigma_a^2 < \sigma^2 < \sigma_b^2) = 1 - \alpha, \quad (4)$$

$$\sigma_a^2 = \frac{(N-1) \cdot s^2}{\chi_{\alpha/2}^2}, \quad (5)$$

$$\sigma_b^2 = \frac{(N-1) \cdot s^2}{\chi_{1-\alpha/2}^2}, \quad (6)$$

где α – уровень значимости; N – объём выборки; $\chi_{1-\alpha/2}^2$ и $\chi_{\alpha/2}^2$ – процентные точки распределения χ^2 ; s^2 – оценка дисперсии. Во-вторых, модуль скорости деформации русла $|v|$ может быть представлен следующим образом:

$$|v| = \sqrt{\sigma^2 + \xi^2}, \quad (7)$$

где ξ – случайная величина, связанная со случайными ошибками измерения, а также флуктуациями русловых микроформ и состояния грунтов дна и берегов.

В практике инженерных расчётов и долгосрочных прогнозов используют средние v_a и максимальные v_{\max} скорости русловых деформаций, но обычно наибольший интерес представляют величины v_{\max} (как оценки предельного состояния, необходимого для расчёта параметров проектируемых сооружений). С учётом этого имеет смысл сопоставление v_{\max} и верхнего предела интервальной оценки σ_b . С этой целью по материалам русловых съёмок были определены модули измеренных средних $|v_a|$ и максимальных $|v_{\max}|$ годовых скоростей смещения, амплитуды A и стандартные отклонения σ положения левого и правого берегов (табл. 1), а также отметок дна в створах 8 и 9 (табл. 2).

Таблица 1
Характеристики вертикальных деформаций дна русла реки Чулым у г. Асино

Створ	Смещение левого берега, м/год					Смещение правого берега, м/год				
	σ	σ_b	A	$ v_a $	$ v_{\max} $	σ	σ_b	A	$ v_a $	$ v_{\max} $
1	5	13	10	5	10	54	133	145	58	90
2	5	13	10	5	10	41	100	90	41	80
3	7	17	20	4	15	49	121	140	42	120
4	7	16	15	3	15	153	374	405	84	400
5	13	31	40	12	25	128	314	350	83	330
6	176	431	445	79	445	120	295	285	93	250
7	3	6	5	3	5	32	79	85	28	70
8	10	25	30	8	20	15	38	40	17	40
9	26	63	70	29	70	21	51	45	15	35
10	14	34	35	8	35	16	40	40	12	30
11	32	77	90	24	80	17	41	50	20	35
12	51	126	135	43	125	9	23	25	10	20
13	60	146	155	55	155	9	23	25	6	20
14	83	203	220	78	215	5	12	10	4	10
15	81	200	215	73	200	6	15	15	3	10
16	35	87	100	31	55	9	23	20	5	15
17	74	182	175	56	175	9	23	25	4	5
18	63	154	145	50	135	9	21	20	4	15
19	52	127	120	40	115	8	20	20	3	15
20	45	111	105	35	95	9	22	20	7	15
21	22	54	60	18	50	10	24	20	3	15
22	26	65	60	21	60	11	28	25	4	15
23	85	209	210	83	170	88	215	225	74	210
24	80	196	180	80	180	66	162	150	32	125
25	61	150	145	67	135	77	189	205	56	145
26	55	135	140	30	140	61	150	160	58	155
27	13	32	35	13	25	60	148	160	54	145
28	14	33	30	9	30	36	88	90	30	90
29	20	48	45	12	35	74	181	175	63	175

Примечание. $|v_a|$ и $|v_{\max}|$ – модули средней и максимальной годовой скорости смещения берега; A – максимальная амплитуда положения берега; σ и σ_b – стандартное отклонения координат положения берега и верхний предел доверительного интервала при уровне значимости $\alpha = 5\%$.

Анализ полученных данных позволил сделать вывод о пропорциональности значений $|v_{\max}|$ и σ_b (рис. 3–5; соотношения между стандартным отклонением ширины русла $\sigma(B)$ за 2001–2006 гг. и стандартными отклонениями координат положения левого $\sigma(\text{лб})$ и правого $\sigma(\text{пб})$ берегов соотно-

шения: $\sigma(B)=0,64 \cdot \sigma(\text{лб})+41,28$, $R^2=0,37$; $\sigma(B)=0,78 \cdot \sigma(\text{пб})+35,71$, $R^2=0,65$), что в целом позволяет рассматривать стандартное отклонение ширины и максимальной глубины в качестве оценок горизонтальных и вертикальных русловых деформаций соответственно. При этом степень приближения зависит от выбранного уровня значимости α .

Для обоснования выбора расчётного значения α использовался критерий K :

$$K = \sqrt{1-R_{v8}^2} + \sqrt{1-R_{v9}^2} + \sqrt{1-R_{hl}^2} + \sqrt{1-R_{hr}^2} \quad (8)$$

где R_{v8}^2 и R_{v9}^2 – квадрат корреляционного отношения при расчёте вертикальных деформаций русла в створах 8 и 9; R_{hl}^2 и R_{hr}^2 – квадрат корреляционного отношения при расчёте смещения левого и правого берегов. Минимальное значение K (8), соответствующее наилучшему приближению горизонтальных и вертикальных деформаций русла, получено при уровне значимости 9% ($K=1,45$). Однако в этом случае максимальные скорости горизонтальных деформаций оказываются выше верхнего предела определения σ ($|v_{\max}| \approx 1,1 \cdot \sigma_b$), что противоречит (7). С учётом этого целесообразен выбор уровня значимости в размере 5% ($K=1,91$), что соответствует допустимой погрешности инструментального определения расхода воды (поскольку для расчёта используются сведения об измеренных расходах воды), при котором $|v_{\max}| < \sigma_b$.

Т а б л и ц а 2

**Характеристики вертикальных деформаций дна русла реки Чулым у г. Асино
в створах 8 и 9**

L , м	Створ 8 (табл. 1)					Створ 9 (табл. 1)				
	σ	σ_b	A	$ v_a $	$ v_{\max} $	σ	σ_b	A	$ v_a $	$ v_{\max} $
150	0,41	1,01	1,25	0,46	0,75	0,57	1,41	1,50	0,71	1,2
200	0,37	0,90	1,00	0,41	0,90	0,44	1,08	1,20	0,5	1,2
250	0,44	1,09	1,10	0,50	1,10	0,39	0,97	1,00	0,48	0,8
300	0,42	1,02	1,20	0,38	0,90	0,35	0,85	0,75	0,18	0,65
350	0,42	1,04	1,10	0,37	0,65	0,44	1,08	0,95	0,38	0,8
400	0,46	1,13	0,95	0,52	0,85	0,40	0,98	0,90	0,51	0,9
450	0,40	0,98	1,00	0,52	0,90	0,20	0,49	0,60	0,26	0,6
500	0,23	0,57	0,65	0,34	0,55	0,15	0,37	0,40	0,16	0,3
550	0,81	1,98	2,50	0,92	1,50	0,77	1,89	2,00	1,08	1,3

Примечание. L – расстояние от условного начала на правом берегу; $|v_a|$ и $|v_{\max}|$ – модули средней и максимальной годовой скорости деформаций дна реки; A – максимальная амплитуда изменения высотных отметок дна; σ и σ_b – стандартное отклонения отметок дна и верхний предел доверительного интервала при уровне значимости $\alpha=5\%$.

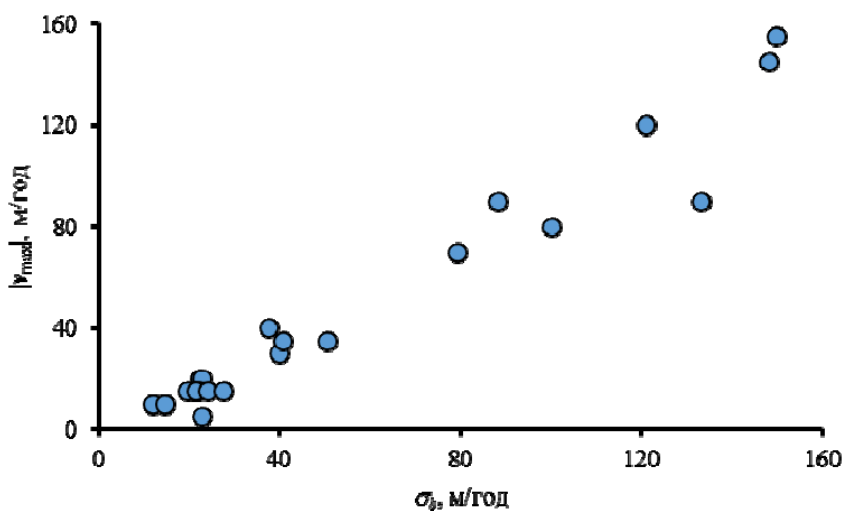


Рис. 3. Зависимость между верхним пределом стандартного отклонения σ_b (при уровне значимости 5%) и модулем максимальной годовой скорости размыва $|v_{max}|$ правого берега р. Чулым на участке размещения створов 1–29; $|v_{max}| = (0,95 \pm 0,02) \cdot \sigma_b$, квадрат корреляционного отношения $R^2 = 0,97$

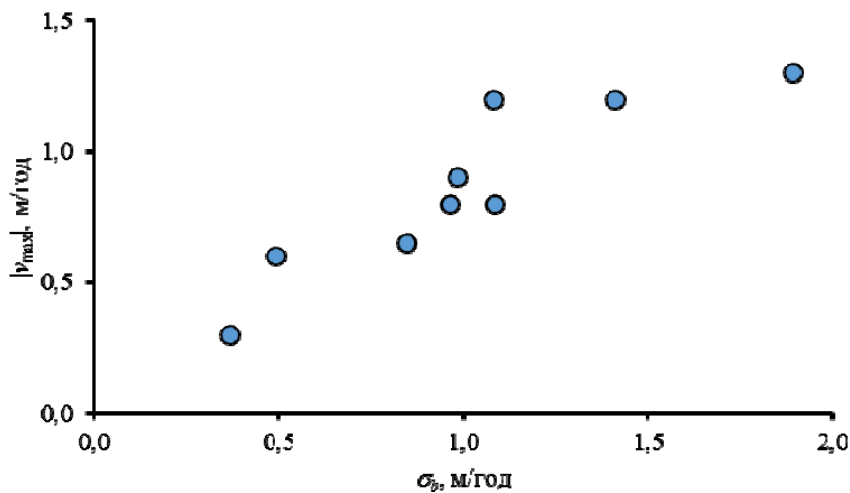


Рис. 4. Зависимость между верхним пределом стандартного отклонения σ_b (при уровне значимости 5%) и модулем максимальной годовой скорости вертикального размыва $|v_{max}|$ дна русла р. Чулым в створе 9; $|v_{max}| = (0,82 \pm 0,05) \cdot \sigma_b$, квадрат корреляционного отношения $R^2 = 0,74$

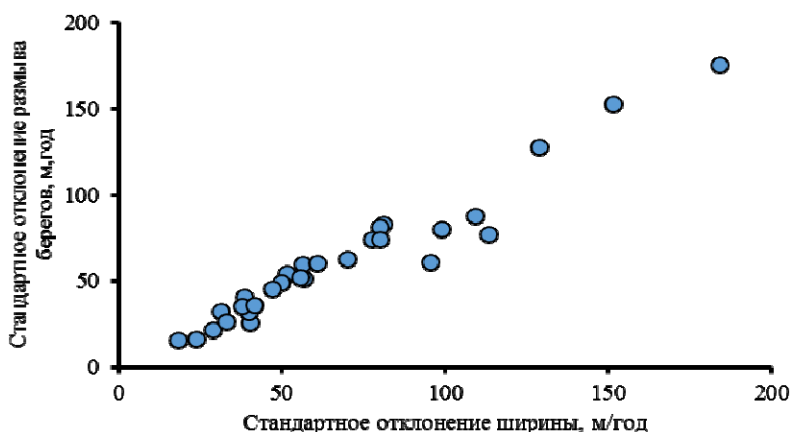


Рис. 5. Зависимость между стандартным отклонением ширины $\sigma(B)$ и максимальным стандартным отклонением размыва берегов $\sigma(\text{мрб})$ на участке размещения створов 1–29 (максимум из двух значений для левого и правого берегов); $\sigma(\text{мрб}) = (0,91 \pm 0,02) \cdot \sigma(B)$, $R^2 = 0,94$; $\sigma(B) = (1,081 \pm 0,03) \cdot \sigma(\text{мрб})$, $R^2 = 0,93$

На основании результатов уточнены или получены впервые значения горизонтальных и вертикальных русловых деформаций рек Васюган у п. Майск, Еркал-Надей-Пур у фактории Халесовой и Щучья у п. Щучье (табл. 3). Указанные реки в целом типичны для таёжной, лесотундровой (лесотундровой и северо-таёжной) и тундровых зон, а их характеристики могут использоваться для расчёта русловых деформаций гидрологически неизученных рек Западной Сибири соответствующей категории и в аналогичных природных условиях (включая тот же тип руслового процесса) при строительстве переходов трубопроводов и автодорог по формулам:

$$Z_{\text{lim}} = Z_{\text{min}} - \sigma_b(h_{\text{max}}) - \delta_h, \quad (9)$$

$$\Delta B_T = T \cdot (\sigma_b(B) + \delta_B), \quad (10)$$

где обозначения соответствуют (1, 2, 6); при отсутствии данных наблюдений значения $\sigma_b(h_{\text{max}})$ и $\sigma_b(B)$ принимаются по рекам-аналогам.

Т а б л и ц а 3

Характеристики русловых деформаций рек Васюган у п. Майск (таёжная зона), Еркал-Надей-Пур у ф. Халесовой (лесотундра и северная тайга) и Щучья у п. Щучье (тундра)

Река	Пункт	Длина от истока, км	Площадь водосбора, км ²	$\sigma_b(B)$, м/год	$\sigma_b(h_{\text{max}})$, м/год
Васюган	п. Майск	222	3 730	4,3	0,32
Еркал-Надей-Пур	ф. Халесовой	315	6 600	24,4	1,71
Щучья	п. Щучье	424	10 600	96,0	1,96

Выводы

На основе анализа русловых съёмок на реке Чулым у г. Асино в течение 2001–2006 гг. выполнено обоснование использования верхнего предела определения стандартного отклонения ширины $\sigma_b(B)$ и максимальной глубины $\sigma_b(h_{\max})$ потока при фиксированных уровнях воды (через 0,5 м) в качестве оценок горизонтальных и вертикальных русловых деформаций. Показано, что соотношение σ_b и модуля максимальной годовой скорости при уровне значимости 5% для горизонтальных деформаций на исследуемом участке реки Чулым у г. Асино (для 29 створов) составляет 0,97, для вертикальных деформаций (створы 8 и 9, табл. 1, 2) – 0,82.

Уточнённая методика (3–6, 9, 10) позволяет достоверно оценить наибольшие значения горизонтальных и вертикальных деформаций русел гидрологически неизученных равнинных рек Западной Сибири, что важно при долгосрочном прогнозе изменений окружающей среды в результате строительства и длительной эксплуатации гидротехнических сооружений. Полученные при этом оценки в целом менее точны, чем результаты анализа русловых съёмок, но, тем не менее, при отсутствии многолетних наблюдений (что характерно для основной части территории Западной Сибири) могут использоваться в долгосрочных гидрологических прогнозах и инженерных расчётах в целях проектирования водохозяйственных и иных сооружений. Ключевым вопросом при этом является корректный подбор реки-аналога, который в первом приближении может быть выполнен с учётом требований [4] и преобладающего типа руслового процесса, выделенного согласно [9, 10].

Литература

1. Девдариани А.С. Математический анализ в геоморфологии. М.: Недра, 1967. 156 с.
2. Земцов В.А., Вершинин Д.А., Крутовский А.О., Каменсков Ю.И. Русловые и пойменные процессы рек Сибири. Томск : ТМЛ-Пресс, 2007. 182 с.
3. Льготин В.А., Савичев О.Г., Нигороженко В.Я. Состояние поверхностных водных объектов, водохозяйственных систем и сооружений на территории Томской области в 2000–2005 гг. Томск : Томскгеомониторинг, 2006. 88 с.
4. Определение основных гидрологических характеристик. СП 33–101–2003. М. : Госстрой России, 2004. 72 с.
5. Рекомендации по оценке и прогнозу размыва берегов равнинных рек и водохранилищ для строительства. ПНИИИС Госстроя СССР. М. : Стройиздат, 1987. 72 с.
6. Ресурсы поверхностных вод СССР. Т. 15. Алтай и Западная Сибирь. Вып. 2. Средняя Обь. Л. : Гидрометеоздат, 1972. 408 с.
7. Рождественский А.В., Чеботарёв А.И. Статистические методы в гидрологии. Л. : Гидрометеоздат, 1974. 424 с.
8. Савичев О.Г. Водные ресурсы Томской области. Томск : Изд-во Том. политехн. ун-та, 2010. 248 с.
9. Учёт деформаций речных русел и берегов водоёмов в зоне переходов магистральных трубопроводов (нефтегазопроводов). ВСН 163–83. М. : Госкомгидромет, 1985. 142 с.

10. Учёт руслового процесса на участках подводных переходов трубопроводов через реки. Стандарт организации. СТО ГУ ГТИ 08.29–2009. СПб. : Нестор-История, 2009. 184 с.
11. Чалов Р.С. Почему размываются берега рек // Соросовский образовательный журнал. 2000. № 6. С. 99–106.
12. Чалов Р.С. Руслоформирующие расходы воды // Вестник Московского государственного университета. Сер. 5. География. 2006. № 1. С. 11–19.
13. Chang H.H. Fluvial Processes in River Engineering. Malabar ; Florida : Krieger publishing company, 2008. 432 p.
14. Savichev O.G., Reshetko M.V., Matveenko I.A., Ivanova Ye.V. Evaluation of plain river channel deformation in the absence of observation data // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 2015. № 24. P. 1–6. doi:10.1088/1755–1315/24/1/012027.

Автор:

Савичев Олег Геннадьевич, доктор географических наук, профессор кафедры гидрогеологии, инженерной геологии и гидрогеоэкологии, Томский политехнический университет, Томск, Россия.

E-mail: OSavichev@mail.ru

Geosphere Research, 2016, 1, 140–151. DOI: 10.17223/25421379/1/10

O.G. Savichev

National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia

**THE TECHNIQUE OF CHANNEL DEFORMATIONS
OF THE WESTERN SIBERIA RIVERS**

The technique for estimating channel deformations is offered. The technique suggests selection of data from the long-term hydrological supervision, which corresponds to fixed water levels H_i ($H_i = H_{\min} + i \cdot \Delta H$, $i = 1, \dots, m$; ΔH – a constant increment; H_{\min} – the minimal value of a water level). If there is no fixed value of water level H_i , then values of parameters of a stream are interpolation between nearest dates. Then for each data selection, values of amplitude and standard deviations for width and maximum depth are determined at a fixed water level H_i . To evaluate vertical deformations, the top limit of the greatest standard deviation of the maximum stream depth $\sigma_b(h_{\max})$ is used, whereas the top limit of the greatest standard deviation of a stream width $\sigma_b(B)$ is used for evaluation of horizontal deformations. To calculate upper limit of the standard deviation, the formula is used: $\sigma^2 = s^2 \cdot (N-1) / \chi^2_{1-\alpha/2}$, where α – a significance value; N – volume of sample; $\chi^2_{1-\alpha/2}$ – a percentage point of distribution χ^2 ; s^2 – an estimation of a dispersion. The significance value should be 5 % taking into account maximum allowed error for defining water discharge with some tools. To prove the technique, channel measurements on the Chulym river in the Asino town (tributary of the Ob river, Western Siberia, Tomsk region) were analyzed. The channel measurements were taken during 2001–2006.

It is shown that ratio of σ_b and the module of the maximum annual erosion velocity at a significance value of 5 % equals 0,97 for horizontal deformations, and 0,82 for vertical deformations in the research area of the Chulym river in Asino (for 29 cross-sections). Using obtained results, values of horizontal and vertical channel deformations have been adjusted or defined for Vasjugan river at Maisk ($\sigma_b(B) = 4,3$ m/year; $\sigma_b(h_{\max}) = 0,32$ m/year), Erkal-Nadei-Pur river at Khalesovoy ($\sigma_b(B) = 24,4$ m/year; $\sigma_b(h_{\max}) = 1,71$ m/year), and Chuchja river at Chuchie ($\sigma_b(B) = 96,0$ m/year; $\sigma_b(h_{\max}) = 1,96$ m/year). The mentioned rivers are generally typical for taiga (Vasjugan river), forest-tundra (Erkal-Nadej-Pur river) and tundra zones (Chuchja river) in Western Siberia. Their characteristics can be used for calculation of channel deformations of hydrologically unexplored rivers in Western Siberia, which belong to a corresponding category, as well as for construction of pipeline and motorway connections (in a similar environment including the

same type of channel process) using following formulas: $Z_{\text{lim}} = Z_{\text{min}} - \sigma_b(h_{\text{max}}) - \delta_i$; $\Delta B_T = T \cdot (\sigma_b(B) + \delta_B)$, where δ_B and δ_i – errors of measurement of width and depth of a stream; Z_{min} – the minimum mark of a bottom; Z_{lim} – extremely possible vertical washout of a channel; ΔB_T – greatest possible horizontal channel deformations; T – the projected period.

Keywords: vertical and horizontal river channel deformations, Western Siberia

References

1. Devdariani A.S. *Matematicheskiiy analiz v geomorfologii* [Mathematical analysis in geomorphology]. Moscow: Nedra, 1967. 156 p. In Russian
2. Zemtsov V.A., Vershinin D.A., Krutovsky A.O., Kamenskov Yu.I. *Ruslovie i poimennye processy rek Sibiri* [Channel and floodplain processes Siberian rivers]. Tomsk: TML-Press, 2007. 182 p. In Russian
3. L'gotin V.A., Savichev O.G., Nigorogenko V.Ya. *Sostoyanie poverkhnostnykh vodnikh objektov i sooruzheniy na territorii Tomskoy oblasti v 2000–2005 gg* [State of surface water bodies, water management systems and structures on the territory of the Tomsk region in 2000–2005]. Tomsk: Tomskgeomonitoring, 2006. 88 p. In Russian
4. *Opredelenie osnovnykh gidrologicheskikh kharakteristik. SP 33–1010–2003* [Identification of the main hydrological characteristics]. Moscow: Gosstroy Rossii, 2004. 72 p. In Russian
5. *Rekomendacii po ocenke i prognozu razmiva beregov ravninnykh rek i vodokhranilisch dlya stroitelstva. PNIIS Gosstroya SSSR* [Recommendations for evaluation and forecast of the erosion of the coast of lowland rivers and reservoirs for construction. USSR State Construction Committee]. Moscow: Stroyizdat, 1987. 72 p. In Russian
6. *Resursy poverkhnostnykh vod SSSR. T. 15. Altay i Zapadnaya Sibir Vip. 2. Srednyaya Ob* [Surface water resources of the USSR. T. 15. Altai and Western Siberia. Iss.2 Middle Ob]. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1972. 408 p. In Russian
7. Rojdestvenskiy A.V., Chebotarev A.I. *Statisticheskie metody v gidrologii* [Statistical Methods in Hydrology]. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1974. 424 p. In Russian
8. Savichev O.G. *Vodnie resursy Tomsloy oblasti* [Water resources of the Tomsk region]. Tomsk: Tomsk Polytechnic University Publ., 2010. 248 p. In Russian
9. *Uchet deformatsiy rechnykh rusel i beregov vodoemov v zone perekhodov magistralnykh truboprovodov (nefteprovodov). VSN 163–83* [Accounting deformation of river beds and banks of water bodies in the area of transitions of pipelines (oil and gas pipelines)]. Moscow: Goskomgidromet, 1985. 142 p. In Russian
10. *Uchet ruslovogo processa na uchastkakh podvodnykh perekhodov truboprovodov cherez reki. STO GU GGI 08.29–2009* [Accounting the channel process in the areas of submerged crossings over rivers. Standard organization]. St-Petersburg: Nestor-Istoriya, 2009. 184 p. In Russian
11. Chalov R.S. *Pochemu razmyvajutsya berega rek* [Why eroded river banks]// Sorosovskiy obrazovatelnyy jurnal. 2000. № 6. pp. 99–106. In Russian
12. Chalov R.S. *Rusloformiruyushchie raskhody vody* [The riverbed-forming expenditure of water]// Bulletin of the Moscow State. Univ. Ser. 5. Geographia. 2006. № 1. pp. 11–19. In Russian
13. Chang H.H. *Fluvial Processes in River Engineering*. Malabar, Florida: Krieger publishing company, 2008. 432 p.
14. Savichev O.G., Reshetko M.V., Matveenko I.A., Ivanova Ye.V. Evaluation of plain river channel deformation in the absence of observation data // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 2015. № 24, pp. 1–6. doi:10.1088/1755-1315/24/1/012027.

Author:

Savichev Oleg G., Dr. Sci. (Geogr.), Professor, Department of Hydrogeology, Engineering Geology and Hydrogeoecology, National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia;

E-mail: OSavichev@mail.ru