Министерство образования и науки Российской Федерации
Национальный исследовательский Томский государственный университет
Томское областное отделение Русского географического общества
Томское отделение Российского геологического общества

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ГЕОГРАФИИ И ГЕОЛОГИИ

К 100-летию открытия естественного отделения в Томском государственном университете

Материалы
IV Всероссийской научно-практической конференции с международным участием

Том I



Томск

16–19 октября 2017

8. *Ильин Б.М., Булыгина О.Н., Богданова Э.Г., Веселов В.М., Гаврилова С.Ю.* Описание массива месячных сумм осадков с устранением систематических погрешностей осадкомерных приборов. [Электронный ресурс]: URL: http://meteo.ru/data/506-mesyachnye-summy-osadkov-s-ustraneniem-sistematicheskikh-pogreshnostej-osadkomernykh-priborov#описание-массива-данных.

9. *Катцов В.М., Порфирьев Б.Н.* Климатические изменения в Арктике: последствия для окружающей среды и экономики // Арктика: экология и экономика. 2012. № 2 (6). С. 66–79.

10. *Константинов А.Р., Соколова В.А., Досычева Л.А., Прошутинская Т.О.* Оценка водной и тепловой боковой приточности устьевой области р. Оби // Тр. Аркт. и антаркт. науч.-исслед. ин-та. Л., 1983. Т. 378. С. 71–88.

11. О сухопутных территориях Арктической зоны Российской Федерации. Указ Президента РФ от 2 мая 2014 г. № 296. [Электронный ресурс]: URL: http://www.kremlin.ru/acts/bank/38377.

12. *Прысов Д.А., Мусохранова В.А.* Влияние климатических факторов на годовой сток рек криолитозоны Средней Сибири // Вестник КрасГУ. 2016. № 1. С. 39–45.

13. *Румянцева Е.В.* Анализ многолетней изменчивости водных ресурсов Норило-Пясинской озерно-речной системы в условиях антропогенного воздействия: автореф. дис. … канд. геогр. наук. СПб., 2012. 24 с.

14. *Смирнова О.О., Липина С.А., Кудряшова Е.В., Крейденко Т.Ф., Богданова Ю.Н.* Формирование опорных зон в Арктике: методология и практика // Арктика и Север. 2016. № 25. С. 148–157.

15. *Фролова Н.Л., Нестеренко Д.П., Шенберг Н.В*. Внутригодовое распределение стока рек России // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. География. 2010. № 6. С. 8–16.

16. *Шевнина Е.В.* Анализ стационарности многолетних рядов слоя стока весеннего половодья на водосборах Российской Арктики // Проблемы Арктики и Антарктики. 2011. № 1 (87). С. 56–64.

17. *Шестакова Е.Н.* Многолетняя изменчивость водных ресурсов Обско-Тазовской устьевой области в условиях изменения климата // Природные ресурсы и комплексное освоение прибрежных районов Арктической зоны: Сб. научных трудов / Отв. ред. д.э.н., проф. В.И. Павленко. Архангельск, 2016. С. 492–497.

18. IPCC. Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. [Электронный ресурс]: URL: http://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1.

УДК 550.42:57.4

СПОСОБ ОЦЕНКИ РУСЛОВЫХ ДЕФОРМАЦИЙ ПРИ ОТСУТСТВИИ РУСЛОВЫХ СЪЁМОК

Савичев О.Г.

Национальный исследовательский Томский государственный университет, г. Томск

Аннотация. Предложена методика оценки горизонтальных и вертикальных русловых деформаций равнинных рек при отсутствии данных наблюдений на основе определения стандартного отклонения ширины и максимальной глубины потока при фиксированных уровнях воды. Проведена апробация методики на примере реки Чулым у г. Асино (Западная Сибирь). На основе методики получены оценки размыва берегов и дна рек Васюган, Парабель, Чая, Кия, Яя, 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.

METHOD OF EVALUATION OF CHANNEL DEFORMATIONS IN THE ABSENCE OF CHANNEL SHOOTING

Savichev O.G.
National Research Tomsk State University, Tomsk

Abstract. The technique for estimation of river channel deformations is offeredat absence of the hydrological observations on the basis of determination of a standard deviation of the width and the maximal depth of a stream at the fixed water levels. Approbation of the technique is carried out by an example of the Chulym River at Asino town (Western Siberia). By the application of this technique estimations of channel deformations of the Vasyugan, Parabel, Chaya, Kiya, Yaya, Yerkal-Nadei-Pur, Schuchya rivers are obtained. This data might be used for calculations of river channel deformations in ungauged rivers flowing in similar natural settings.

Key words: vertical and horizontal river channel deformations, Western Siberia.

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 существующих методик заключаются в следующем: 1) у большинства существующих способов необходима разновременная русловая съемка 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 аспекта 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.

С учётом перечисленных выше проблем предложена методика оценки горизонтальных и вертикальных русловых деформаций на основе анализа материалов режимных гидрологических наблюдений. 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 используемого 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.

Рассматриваемая методика оценки русловых деформаций основана на определении параметров потока, при которых наблюдаются наибольшие деформации русла или, иными словами, параметров потока при руслоформирующем расходе. Но, 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 $H_{\min}$ ($H_i=H_{\min}+i\cdot\Delta H$, $i=1,\ldots,m$). 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 бóльших значениях возрастает вероятность пропуска экстремума, при меньших – резко увеличивается трудоёмкость процедуры).

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

$$Z_{\lim} = Z_{\min} - D_{\max}\left(h_{\max}\right) - \delta_h, \qquad 1$$

$$\Delta B_T = T \cdot \left(D_{\max}\left(B\right) + \delta_B\right), \qquad 2$$

где δ_B и δ_h – погрешности измерения ширины и глубины потока; $Z_{\min}$ – минимальная отметка дна. Формулы (1, 2) могут использоваться и для рек, на которых режимные гидрологические наблюдения не проводятся. При этом значения $D_{\max}(h_{\max})$ и $D_{\max}(B)$ 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 $D_{\max}(B)$ и $D_{\max}(h_{\max})$ 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 в работе [8] была предпринята попытка использования в качестве меры рассеивания не амплитуды, а стандартного отклонения случайных величин B и $h_{\max}$ при фиксированных значениях H_i ($i=1,\ldots,m$). Для проверки гипотезы о лучшем соответствии стандартного отклонения были использованы полученные в АО «Томскгеомониторинг» и на 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].

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 $p(Z)$ с математическим ожиданием Z_a и стандартным отклонением отметки дна σ, причём величина σ^2 в уравнении (3) пропорциональна времени t. Тогда, во-первых, доверительный интервал P для σ может быть получен в виде (3–5):

$$P\left(\sigma_a^2 < \sigma^2 < \sigma_b^2\right) = 1-\alpha, \qquad 3$$

$$\sigma_a^2 = \frac{\left(N-1\right)\cdot s^2}{\chi^2_{\alpha/2}},\ \sigma_b^2 = \frac{\left(N-1\right)\cdot s^2}{\chi^2_{1-\alpha/2}}, \qquad 4$$

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

$$|v| = \sqrt{\sigma^2 + \xi^2}, \qquad 5$$

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 $v_{\max}$. 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 дна, левого и правого берегов реки Чулым.

Анализ полученных данных позволил сделать вывод о пропорциональности значений $|v_{\max}|$ и σ_b (соотношения между стандартным отклонением ширины русла $\sigma(B)$ за 2001–2006 гг. и стандартными отклонениями координат положения левого σ(лб) и правого σ(пб) берегов соотношения: $\sigma(B)=0.64\cdot\sigma$(лб)+41.28, $R^2=0.37$; $\sigma(B)=0.78\cdot\sigma$(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. На основании полученных результатов уточнены или получены впервые значения горизонтальных и вертикальных русловых деформаций рек Васюган, Парабель, Чая, Кия, Яя, Еркал-Надей-Пур и Щучья (табл. 1).

Таблица 1

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	$\sigma_b(h_{\max})$, м/год
Васюган	п. Майск	222	3730	4,3	0,32
Васюган	с. Средний Васюган	812	31700	6,0	0,58
Парабель	с. Новиково	531 (33)	17900	6,6	0,82
Чая	с. Подгорное	434 (58)	25000	8,4	0,82
Кия	г. Мариинск	292	9820	23,3	0,35
Кия	с. Окунеево	486	14900	18,2	0,79
Яя	пгт. Яя	180	3460	17,9	0,72
Еркал-Надей-Пур	ф. Халесовой	315	6600	24,4	1,71
Щучья	п. Щучье	424	10600	96,0	1,96

Указанные реки в целом типичны для различных природных зон Западной Сибири, а их характеристики могут использоваться для расчёта русловых деформаций гидрологически неизученных рек со сходными гидрологическими условиями по формулам:

$$Z_{\lim} = Z_{\min} - \sigma_b(h_{\max}) - \delta_h, \qquad 6$$

$$\Delta B_T = T \cdot (\sigma_b(B) + \delta_B). \qquad 7$$

При отсутствии данных наблюдений значения $\sigma_b(h_{\max})$ и $\sigma_b(B)$ принимаются по рекам-аналогам.

Таким образом, было выполнено обоснование использования верхнего предела определения стандартного отклонения ширины $\sigma_b(B)$ и максимальной глубины $\sigma_b(h_{\max})$ потока в качестве оценок горизонтальных и вертикальных русловых деформаций. Уточнённая методика

позволяет достоверно оценить наибольшие значения горизонтальных и вертикальных деформаций русел гидрологически неизученных рек Западной Сибири, что важно при долгосрочном прогнозе изменений окружающей среды в результате строительства и длительной эксплуатации гидротехнических сооружений.

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: ОАО «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.: Гидрометеоиздат, 1972. 408 с.

7. *Рождественский А.В., Чеботарёв А.И.* Статистические методы в гидрологии. Л.: Гидрометеоиздат, 1974. 424 с.

8. *Савичев О.Г.* Методика оценки русловых деформаций рек Западной Сибири // Геосферные исследования. 2016. № 1. С. 140–151.

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 ГГИ 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: Kriegerpublishingcompany, 2008. 432 p.

14. *Savichev O.G., Reshetko M.V., Matveenko I.A., IvanovaYe.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.

УДК 556.555.4

ИЗМЕНЧИВОСТЬ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ВОДЫ ОЗЕРА БАЙКАЛ

Сутырина Е.Н.

Иркутский государственный университет, г. Иркутск

Аннотация. Статья посвящена изучению внутригодовой и межгодовой изменчивости в распределении температуры воды на поверхности оз. Байкал в безледоставный период с применением данных радиометра AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer). Проведён анализ вклада наиболее значимых факторов в формирование максимальных значений температуры на поверхности в открытых частях Южной, Центральной и Северной котловин озера.

Ключевые слова: озеро Байкал, температура поверхности воды, данные дистанционного зондирования, внутригодовая и межгодовая изменчивость.