

УДК 528.482:621.644

DOI: 10.33764/2411-1759-2020-25-3-107-116

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ГЕОДЕЗИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ДЕФОРМАЦИЙ ДНА В ЗОНЕ РАСПОЛОЖЕНИЯ ПОДВОДНЫХ ПЕРЕХОДОВ МАГИСТРАЛЬНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ

Анатолий Иванович Уваров

Омский государственный аграрный университет имени П. А. Столыпина, 644008, Россия, г. Омск, ул. Сibaковская, 4, кандидат технических наук, доцент кафедры геодезии и дистанционного зондирования, тел. (913)977-00-25, e-mail: ai.uvarov@omgau.org

Лилия Анатольевна Пронина

Омский государственный аграрный университет имени П. А. Столыпина, 644008, Россия, г. Омск, ул. Сibaковская, 4, кандидат технических наук, доцент кафедры геодезии и дистанционного зондирования, тел. (904)582-93-92, e-mail: la.pronina@omgau.org

Отмечено, что в результате взаимодействия геодинамического комплекса реки с окружающей средой появляются изменения русла, которые влекут за собой плановые и высотные деформации водной артерии. Поэтому при строительстве и эксплуатации инженерных сооружений необходимо их учитывать. Исследование русловых деформаций, в большей части высотных, в районах строительства или расположения действующих сооружений является весьма актуальной задачей для обеспечения их устойчивой, безаварийной работы. Установлено, что для исследования русловых деформаций используются две наиболее распространенных технологии. Первой является технология совмещения планов русловой съемки, а второй – совмещения поперечных профилей реки по закрепленным знаками на берегу гидростворам. Представлены результаты исследования технологии определения деформаций русла при их геодезическом мониторинге. Оценена точность изображения подводного рельефа на планах. Исследовано влияние погрешностей совмещения планов на точность определения количественных измерителей деформации.

Ключевые слова: геодезический мониторинг, русловые деформации, деформации дна, планы русловой съемки, геодезические пункты, оценка точности.

Введение

Любая река представляет собой сложный гидродинамический комплекс, взаимодействующий с окружающей средой. Следствием такого взаимодействия являются деформации русла, представляющие собой изменение береговой линии – плановые деформации и изменения высот дна – высотные деформации. При этом русловые деформации имеют обратимый характер, то есть имеют место размыв и намыв береговой линии, уменьшение и увеличение высот дна.

Анализ мониторинга за русловыми деформациями по закрепленным на местности реперам методами дешифрирования разновременных космоснимков и фиксации береговой линии с применением спутникового позиционирования рассмотрен в работе [1].

Вопросами, связанными с русловыми деформациями в акватории рек, занимались отечественные ученые [2–6]. Выполняя работы на берегах водных артерий, очень часто возникает необходимость передачи высот с одного берега на другой, решения подобных задач с помощью ГНСС-приемников, обеспечивающих заданную точность определения высот, приведены в работе [7].

При строительстве и эксплуатации инженерных сооружений, располагаемых в русле реки, особенно таких, как подводные переходы магистральных нефтегазопроводов, необходимо учитывать процесс русловых деформаций. В настоящее время в России функционирует более чем по 1 000 подводных переходов магистральных трубопроводов в системах «Газпрома» и АК «Транснефть» [8].

Методы и материалы

Русловые деформации имеют как естественное происхождение – меандрирование, так и связанное с человеческой деятельностью. Любое вмешательство в гидрологический режим реки вызывает русловые деформации. Так, строительство ГЭС в Новосибирске в свое время вызвало русловые деформации реки Оби на протяжении более чем 200 км ниже по течению. Добыча песка для нужд строительства со дна реки Иртыш в районе города Омска в 70-е гг. XX в. привела к углублению русла на несколько метров, в результате чего оголились городские набережные, обмелели водозаборы и вход в речной порт. На рис. 1 представлен фрагмент трехмерной модели, полученной по результатам инженерно-геодезических изысканий, подводного перехода магистрального нефтепровода. На фрагменте виден участок оголенной в результате русловых деформаций трубы нефтепровода.

Таким образом, исследование русловых деформаций, особенно высотных, в районе строительства или расположения действующих сооружений является весьма актуальной задачей при обеспечении их устойчивой, безаварийной работы. Методики оценки горизонтальных и вертикальных русловых деформаций предложены отечественными учеными в работах [9–14]. При исследованиях

плановых русловых деформаций в настоящее время широко применяются ГИС-технологии и методы дистанционного зондирования [15]. Вопросами применения современных автоматизированных геодезических приборов для мониторинга гидротехнических сооружений, возведенных на водных ресурсах, занимались такие ученые, как Сальников В. Г., Никонов А. В. и др. [16, 17], но в своих работах они не рассматривали русловые деформации и влияния на них возведенных сооружений. Опыт зарубежных исследований в области применения математических моделей водных артерий при решении инженерно-технических задач рассмотрен в работах [18–21].

Для исследования русловых деформаций используются две наиболее распространенные технологии. Первая – совмещения планов русловой съемки, вторая – совмещения поперечных профилей реки по закрепленным знаками на берегу гидростворам. Под планом русловой съемки понимаются топографический план акватории с прилегающей береговой полосой шириной до 250 м. Основной особенностью исследования высотных русловых деформаций является то, что подводный рельеф визуально не наблюдается, поэтому их оценка ведется по моделям – планам, профилям, цифровым моделям местности (ЦММ).

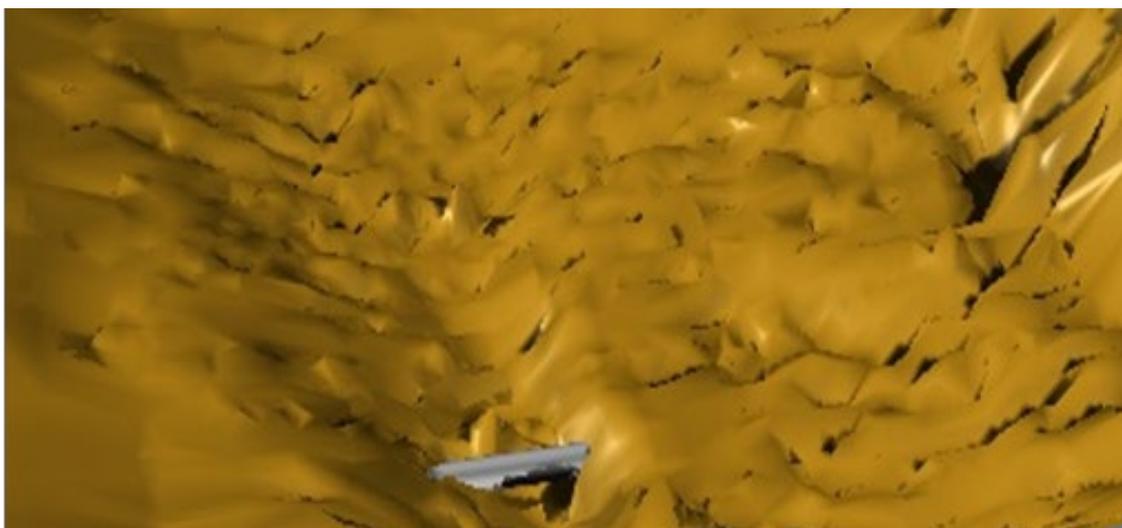


Рис. 1. Фрагмент трехмерной модели подводного перехода с оголенным в результате русловых деформаций участком трубы

Первая из вышеперечисленных технологий определения русловых деформаций заключается в сопоставлении или наложении планов разных лет съемки. Величина высотной деформации определяется по смещению одноименных горизонталей на сопоставляемых планах. Достоверность результатов зависит от точности изображения рельефа на таких планах, точности положения опорных точек, по которым сопоставляются планы и точности ориентирования по опорным точкам.

Требования по точности изображения рельефа на топографических материалах изложены в действующих нормативных документах. В соответствии с СП 47.13330 [18] средние ошибки съемки рельефа и его изображения на инженерно-топографических планах относительно ближайших точек съемочного обоснования в разных условиях не должны превышать от 1/4 до 1/3 от принятой высоты сечения рельефа.

Результаты

Для оценки точности изображения подводного рельефа на планах использованы материалы трех производственных объектов, русловая съемка на которых выполнена с использованием традиционных технологий. Исследуемые объекты располагались на реках Западной Сибири. В таблице представлены результаты оценки точности (значения средних квадратических погрешностей определения высот) изображения подводного рельефа. Фактические значения погрешностей получены по результатам сравнения высот точек контрольных промеров (галсов) с полученными по плану русловой съемки. Погрешности сгруппированы с учетом сложности рельефа дна по углам наклона.

Теоретические значения погрешностей определения высот предвычислены с использованием методики профессора Н. А. Буденкова [23] по следующим формулам:

$$\text{при } r = 0; m_H = \sqrt{m_{\text{пл}}^2 \cdot \text{tg}^2 v + 0,67 \cdot m_{\text{гл}}^2 + 1,39 \cdot \text{tg}^2 v \cdot m_{\text{инт.}}^2 + 0,67 \cdot m_{\text{д.с.}}^2 + m_{\text{т.ш.}}^2}; \quad (1)$$

$$\text{при } r = 0,5; m_H = \sqrt{m_{\text{пл}}^2 \cdot \text{tg}^2 v + 0,83 \cdot m_{\text{гл}}^2 + 1,53 \cdot \text{tg}^2 v \cdot m_{\text{инт.}}^2 + 0,83 \cdot m_{\text{д.с.}}^2 + m_{\text{т.ш.}}^2}; \quad (2)$$

$$\text{при } r = 1; m_H = \sqrt{m_{\text{пл}}^2 \cdot \text{tg}^2 v + m_{\text{гл}}^2 + 1,67 \cdot \text{tg}^2 v \cdot m_{\text{инт.}}^2 + m_{\text{д.с.}}^2 + m_{\text{т.ш.}}^2}. \quad (3)$$

где $m_{\text{пл}}$, $m_{\text{гл}}$, $m_{\text{инт.}}$, $m_{\text{д.с.}}$, $m_{\text{т.ш.}}$, соответственно средние квадратические погрешности определения планового положения точки при наземной съемке 0,5 м, согласно [23], для русловой съемки допускается до 1,5 мм на плане; погрешность измерения глубины; погрешность интерполирования горизонтали; погрешность, учитывающая детальности съемки (за обобщение рельефа); погрешность за топографическую шероховатость. Значения погрешностей взяты из нормативных документов или вычислены по предложенным Н. А. Буденковым формулам. Коэффициент корреляции – r , в соответствии с методикой, разработанной Н. А. Буденковым, предлагается принимать равным 1,0, если между промерными точками проходят не менее двух горизонталей $r = 0,5$, если между промерными точками располагается одна горизонталь. Корреляционная зависимость отсутствует, если заложение го-

ризонталей превышает расстояние между промерными точками.

Данные представленные в таблице, показывают, что фактическая точность при углах наклона более 2° на объектах 2 и 3 ниже ожидаемой. С учетом того, что геодезические работы на исследуемых объектах были выполнены качественно, снижение точности может быть объяснено влиянием каких-то факторов, которые не учитывают формулы (1). Оказалось, что эти объекты расположены на реках с грядовым движением донных наносов, которое формирует грядовые формы рельефа очень сложной структуры. Можно предположить, что причиной снижения фактической точности планов является наличие грядовых форм подводного рельефа, характерные точки, которых оказались в междугалсовых расстояниях, так как подводный рельеф визуально не наблюдается.

Погрешности, характеризующие точность изображения подводного рельефа
на планах исследуемых объектов

Название объекта (реки)	Масштаб плана русловой съемки	Высота сечения рельефа, м	Значения средних квадратических погрешностей, характеризующих точность изображения подводного рельефа, м					
			теоретические			фактические		
			2°	4°	6°	2°	4°	6°
Юган	1 : 1 000	1	0,3	0,4	0,4	0,3	0,4	0,4
Юганская Обь	1 : 2 000	1	0,3	0,5	0,8	0,3	0,7	0,9
Иртыш	1 : 5 000	2	0,6	0,8	1,0	0,6	1,0	1,4

Учитывая приведенные в таблице значения погрешностей, характеризующих точность изображения подводного рельефа, при мониторинге русловых деформаций сопоставлением планов, достоверной, с вероятностью 0,95, следует полагать величину высотной деформации (размыва или намыва) вдвое превышающей эти погрешности.

Использование современных промерных комплексов для съемки рек, в которых определение планового положения промерных точек осуществляется приемниками глобальных навигационных спутниковых систем, измерение глубин цифровыми эхолотами, а также технологий компьютерной обработки измерений с возможностью автоматически выбирать характерные промерные точки на галсе и обеспечивать минимальную величину погрешностей за обобщение рельефа, значительно повысит точность изображения подводного рельефа. Однако это решает проблему в настоящее время только частично, поскольку для сопоставления будет использоваться один из планов менее точный, полученный ранее по традиционным технологиям съемки.

Другим важным фактором, влияющим на точность определения деформаций дна, является технологический процесс адекватного совмещения планов. Оптимальным вариантом является совмещение планов по квадратам координатной сетки. Но очень часто планы составлены в разных, в том числе, условных системах координат. И совмещение их возможно по опознанным контурным точкам или геодезическим пунктам (обычно реперам), нанесенным на план.

Рассмотрим вариант, при котором на совмещаемых планах имеется минимум инфор-

мации, используемой в качестве опорной. В качестве объекта исследования взят план участка русловой съемки масштаба 1 : 1 000 с высотой сечения рельефа 1,0 м. На участке имеется два репера, которые располагаются на разных берегах. Исследование выполнено методом моделирования.

Целью исследования является установить зависимость между ошибкой ориентирования совмещаемых планов и точностью определения величин деформации. Для этого был смоделирован процесс, в котором происходило смещение или разворот базиса в пределах графической точности плана. При этом на исследуемых планах определялись высоты (методом аналитического интерполирования) одноименных точек по наложенной координатной сетке. Высоты определялись дважды до продольного смещения базиса и после. Измерено 850 точек и получено столько же расхождений высот. Расхождения высот объясняются разворотом плана.

Математическая обработка полученных результатов показала, что среднее квадратическое значение расхождений составило 0,1 м. Проверка полученных расхождений на соответствие нормальному закону распределения вероятностей, показала, что кривая распределения, построенная по гистограммам, несколько отличается от теоретической (рис. 2). Полученные значения эксцесса и асимметрии составили, соответственно $E = 0,30$, а $S_k = 0,071$. Использование критерия Пирсона для проверки гипотезы на нормальное распределения, показало, что вероятность подтверждения гипотезы о нормальном распределении близка нулю [24–25].

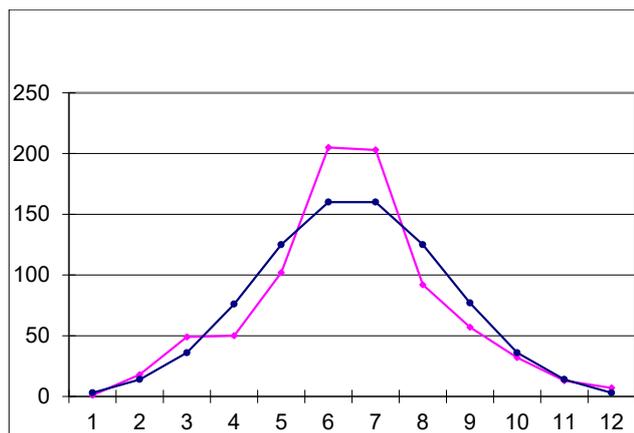


Рис. 2. Кривая распределения вероятностей (красным цветом – эмпирическая, синим – теоретическая)

То есть на исследуемые разности высот влияют как случайные факторы – интерполирование высот, так и не случайные факторы, связанные с ориентированием (разворотом планов). Величины погрешностей, вызванных разворотом планов, можно вычис-

лить, зная расстояние от базиса до данной точки и угол наклона местности.

Тем не менее, исследование показало, что разворот планов в пределах графической точности не вызывает значительных расхождений в высотах, даже при больших уклонах местности, это объясняется тем, что точки смещаются параллельно горизонталям (рис. 3, а). Более существенное влияние оказывает поперечный сдвиг базиса, так как в современных компьютерных технологиях при совмещении двух планов по базису производится как бы изменение масштаба второго плана, с целью совмещения длин двух базисов. При этом возможны два случая.

Первый, согласно рис. 3, б: точки двух планов на одном берегу совмещаются, а на другом берегу их расхождение устраняется изменением масштаба, то есть вытягиванием. В этом случае все точки по направлениям, параллельным базису, смещаются на разные величины C_i .

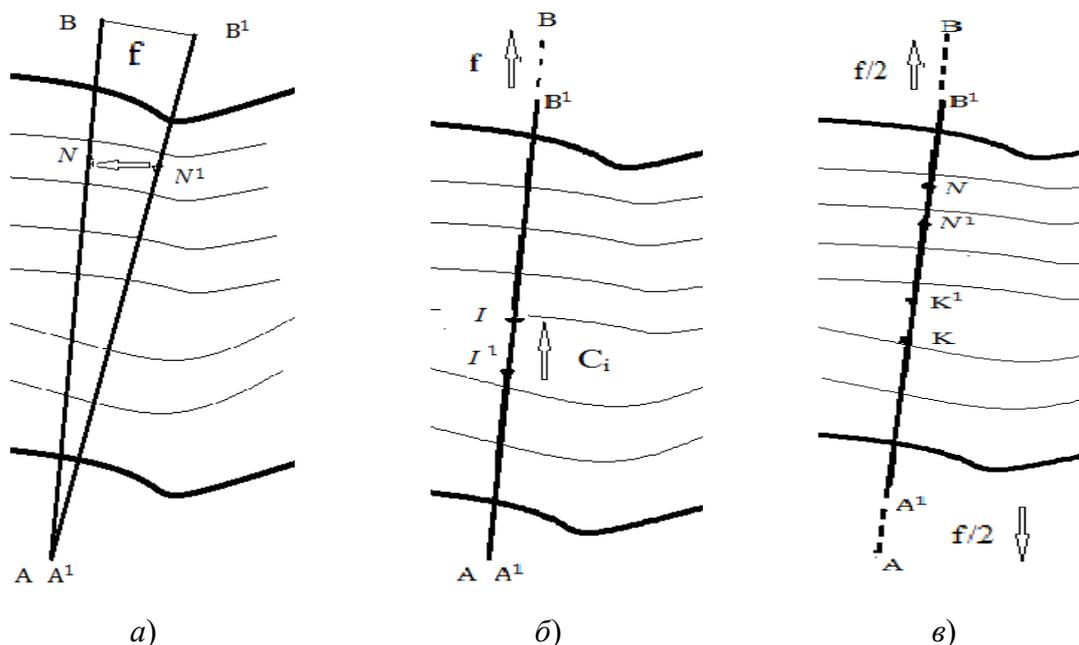


Рис. 3. Ошибки в высоте точек, вызванные погрешностями ориентирования планов по двум опорным точкам:

а) смещение точек параллельно горизонталям; б) точки двух планов на одном берегу совмещаются, а на другом берегу их расхождение устраняется изменением масштаба; в) точки смещаются на величину, равную половине невязки

Рассмотрим это на примере точки I на базисе, которая сместится на величину, определяемую по формуле:

$$C_i = \frac{f}{B} \cdot L_i, \quad (4)$$

где C_i – величина смещения; f – расхождение базисных точек $B-B^1$; B – длина базиса AB ; L_i – расстояние от базисной точки A на одном берегу до точки I^1 на базисе. При этом возникают погрешности в высотах, величины которых можно рассчитать для каждой конкретной точки I^1 (любые смещения в плане действуют на ошибки высот, они вычисляются через тангенс угла наклона $\text{tg } \nu$). Высоты получают поправки ΔH_i , вычисленные по формуле

$$\Delta H_i = C_i \cdot \text{tg } \nu. \quad (5)$$

В этом случае все точки смещаются по направлению, параллельно базису от середины базисной линии к краям (рис. 3, в) на величину, определяемую по формуле

$$c' = \frac{f}{2B} \cdot L_i'. \quad (6)$$

На производстве часто приходится совмещать планы по трем исходным точкам, причем две из них – геодезические пункты, которые сохранились на двух берегах, третья – хорошо опознаваемая точка местности. Первые две точки обычно совмещаются в пределах графической точности, а третья не совпадает, поэтому приходится выполнять масштабирование по третьему направлению.

Смещение точек можно рассчитать аналогично, по методике, описанной выше.

Обсуждение

Результаты выполненных исследований показали, что разворот планов вокруг базиса в пределах графической точности не вызывает дополнительных погрешностей определения высотной деформации. Дополнительные погрешности в высотах уменьшаются при увеличении длины базиса, поэтому рекомендуется иметь на объекте несколько опорных точек, удаленных от перехода магистрального трубопровода.

При использовании технологии определения русловых деформаций совмещением планов разных лет съемки можно использовать как электронные, так и традиционные формы представления топографической информации. Исследованиями [1] установлено, что электронные (цифровые) планы русловых съемок, полученные сканированием и оцифровкой планов на традиционных носителях, равнозначны исходным.

Заключение

Таким образом, точность определения высотных деформаций методом сопоставления планов зависит в основном от точности изображения рельефа на этих планах. Современные технологии совмещения планов позволяют минимизировать влияние погрешностей ориентирования на точность определения количественных измерителей деформации.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Коркин С. Е., Исыпов В. А. Эрозионные процессы рельефообразования // Геоморфология и физическая география Сибири в XXI веке. Материалы Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 100-летию со дня рождения заслуженного работника высшей школы Российской Федерации, почетного члена Русского географического общества, профессора, доктора географических наук Земцова Алексея Анисимовича. – 2020. – С. 37–40.
2. К вопросу о русловых деформациях в акватории реки Иртыш / Е. Ю. Гордеева, В. А. Зименс, И. С. Агофонов, С. А. Крапивная // Техника и технологии строительства. – 2019. – № 3 (19). – С. 4–9.
3. Дебольская Е. И. Деформации криволинейных русел, подверженных термоэрозии // Современные проблемы водохранилищ и их водосборов. Труды VII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием : в 3 томах. – 2019. – С. 76–81.
4. Бадера В. В. Геодезические методы определения русловой деформации береговой овражной эрозии при проектировании и строительстве инженерных сооружений на реках : учеб. пособие. – Омск : Сибирская государственная авто-

- мобильно-дорожная академия (СибАДИ), 2007. – 52 с.
5. Савичев О. Г. Способ оценки русловых деформаций при отсутствии русловых съемок // Современные проблемы географии и геологии : сборник к 100-летию открытия естественного отделения в Томском государственном университете: материалы IV Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. – Томск : Национальный исследовательский Томский государственный университет, 2017. – С. 391–395.
6. Дегтярев В. В. Расчет русловых деформаций в условиях регулирования речного стока // Охрана природы, гидротехническое строительство, инженерное оборудование : тезисы докладов научно-технической конференции. – Новосибирск : Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин), 1991. – С. 41–42.
7. Popielarczyk D. RTK Water Level Determination in Precise Inland Bathymetric Measurements // 25 th International Technical Meeting of the Satellite-Division of the Institute-of-Navigation (September 17–21, 2012). – Ol'shtyn, Pol'sha : Varminsko-Mazurskiy universitet. – 2012. – P. 1158–1163.
8. Седышев М. Е., Уваров А. И., Хлынцова Е. О. Геодезический мониторинг русловых деформаций в местах строительства и эксплуатации подводных переходов магистральных трубопроводов через реки Западной Сибири : монография. – Омск : ОмГАУ, 2005. – 153 с.
9. Савичев О. Г., Решетько М. В. Методы ориентировочной количественной оценки твердого стока и русловых деформаций для равнинных рек таежной зоны Западной Сибири // Инженерные изыскания. – 2012. – № 1. – С. 52–56.
10. Савичев О. Г. Методика оценки русловых деформаций рек Западной Сибири // Геосферные исследования. – 2016. – № 1. – С. 140–151.
11. Кораблева О. В. Оценка устойчивости русла реки Керженец // Орфановские чтения, сборник статей по материалам Всероссийской научно-практической конференции. – Ульяновск : Ульяновский государственный педагогический университет им. И. Н. Ульянова, 2015. – С. 12–16.
12. Антроповский В. И., Гребенников Г. Г. Оценка русловых деформаций карстовых рек с подводными переходами магистральных трубопроводов при наличии результатов натурных исследований // Двадцать шестое пленарное межвузовское координационное совещание по проблеме эрозионных, русловых и устьевых процессов. Доклады и краткие сообщения. – Арзамас : Арзамасский государственный педагогический университет им. А. П. Гайдара, Межвузовский научно-координационный совет по проблеме эрозионных, русловых и устьевых процессов при МГУ, 2011. – С. 58–60.
13. Антроповский В. И., Гребенников Г. Г. Оценка русловых деформаций карстовых рек с подводными переходами магистральных трубопроводов при недостатке и отсутствии результатов натурных исследований // Проблемы региональной экологии. – 2013. – № 5. – С. 158–162.
14. Кораблева О. В. Характеристика русловых деформаций и оценка устойчивости русла реки Керженец // Труды Государственного Природного Биосферного Заповедника «Керженский» Государственный Природный Заповедник «Керженский». – Нижний Новгород : Литера, 2015. – С. 97–103.
15. Шибких А. А., Боечко К. А., Марусин К. В. Использование ГИС-технологий и дистанционных методов исследования плановых русловых деформаций (на примере участков рек бассейна Верхней Оби) // III Всесибирский медико-экологический форум. Сборник материалов в рамках XIII медико-экологической выставки «Человек. Экология. Здоровье». – Барнаул : ЗАО «Алтайская ярмарка», 2008. – С. 91–94.
16. Применение современных автоматизированных геодезических приборов для мониторинга гидротехнических сооружений ГЭС / В. Г. Сальников, В. А. Скрипников, М. А. Скрипникова, Т. А. Хлебникова // Вестник СГУГиТ. – 2018. – Т. 23, № 3. – С. 108–124.
17. Никонов А. В., Чешева И. Н., Рябова Н. М. Разработка программы геодезического мониторинга деформаций гидротехнического сооружения ГРЭС – двухступенчатого перепада // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XIV Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов (23–27 апреля 2018 г., Новосибирск). – Новосибирск : СГУГиТ, 2018. – С. 3–12.
18. СП 47.13330.2016. Инженерные изыскания для строительства. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 11-02–96. – М. : Стандартинформ, 2017. – 84 с.
19. Churuksaeva V., Starchenko A. Mathematical Modeling of a River Stream Based on a Shallow Water Approach // Procedia Computer Science. – 2015. – Vol. 66. – P. 200–209.
20. Korablina A. D., Arkhipkin V. S., Samborski T. V. Modeling features formation storm surge in a dynamic system white sea – Mouth area northern Dvina River // Vestnik Moskovskogo Universiteta, Seriya 5: Geografiya. – 2016. – Vol. 1. – P. 78–86.

21. Matskevich N. A., Chubarov L. B. Exact Solutions to Shallow Water Equations for a Water Oscillation Problem in an Idealized Basin and Their Use in Verifying Some Numerical Algorithms./ Numerical Analysis and Applications. – 2019. – Vol. 12, Issue 3. – P. 234–250.

22. Буденков Н. А., Ганьшин В. Н. Геодезические работы при речных и озерных изысканиях. – М. : Недра, 1979. – 159 с.

23. Experimental and numerical study on velocity fields and water surface profile in a strongly-curved 90 degrees open channel bend / A. Gholami,

A A Akhtari, Y. Minatour, H. Bonakdari, A. A. Javadi // Engineering Applications of Computational Fluid Mechanics. – 2014. – Vol. 8, Issue 3. – P. 447–461.

24. Гмурман В. Е. Теория вероятностей и математическая статистики : учебник. – 9-е изд. – М. : Высш. шк., стереотип, 2003. – 479 с.

25. Нефедова Г. А., Ащеулов В. А. Теория математической обработки геодезических измерений в конспективном изложении : учеб. пособие. – Новосибирск : СГГА, 2009. – 140 с.

Получено 15.04.2020

© А. И. Уваров, Л. А. Пронина, 2020

RESEARCH OF TECHNOLOGIES OF GEODESIC MONITORING OF BOTTOM DEFORMATIONS IN THE AREA OF LOCATION OF UNDERWATER TRANSITIONS OF MAIN PIPELINES

Anatoly I. Uvarov

Omsk State Agrarian University named after P. A. Stolypin, 4, Sibakovskaya St., Omsk, 644008, Russia, Ph. D., Associate Professor, Department of Geodesy and Remote Sensing, phone: (913)977-00-25, e-mail: ai.uvarov@omgau.org

Lilia A. Pronina

Omsk State Agrarian University named after P. A. Stolypin, 4, Sibakovskaya St., Omsk, 644008, Russia, Ph. D., Associate Professor, Department of Geodesy and Remote Sensing, phone: (904)582-93-92, e-mail: la.pronina@omgau.org

It is noted that as a result of the interaction of the geodynamic complex of the river with the environment, changes in the channel appear, which entail planned and high-altitude deformations of the water artery. Therefore, in the construction and operation of engineering structures, they must be taken into account. The study of channel deformations, mostly high-altitude, in the areas of construction or the location of existing structures is a very urgent task to ensure their stable, trouble-free operation. It is established that for the study of channel deformations, two of the most common technologies are used. The first is the technology of combining plans for channel surveys, and the second is the combination of transverse profiles of the river using hydraulic rams fixed by signs on the shore. The results of a study of the technology for determining channel deformations during their geodetic monitoring are presented. The accuracy of the image of the underwater relief on the plans is estimated. The influence of the errors of combining plans on the accuracy of determining quantitative strain gauges is investigated.

Key words: geodetic monitoring, channel deformations, bottom deformations, channel survey plans, geodetic points, accuracy assessment.

REFERENCES

1 Korkin, S. E., & Isypov V. A. (2020). Erosion processes of relief formation. In *Sbornik materialov Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashchennoy 100-letiyu so dnya rozhdeniya zaslužennogo rabotnika vysshey shkoly Rossiyskoy Federatsii, pochetnogo chlena Russkogo geograficheskogo obshchestva, professora, doktora ge-*

ograficheskikh nauk Zemtsova Alekseya Anisimovicha: Geomorfologiya i fizicheskaya geografiya Sibiri v XXI veke [Proceedings of the All-Russian Scientific and Practical Conference Dedicated to the 100th Anniversary of the Honored Worker of a Higher School of the Russian Federation, an Honorary Member of the Russian Geographical Society,

Professor, Doctor of Geographical Sciences Zemtsov Alexei Anisimovich: *Geomorphology and Physical Geography of Siberia in the 21st century*] (pp. 37–40) [in Russian].

2. Gordeeva E. Yu., Zimens, V. A., Agofonov, I. S., & Nettle, S. A. (2019). On the issue of channel deformations in the Irtysh river. *Tekhnika i tekhnologii stroitel'stva [Technique and Construction Technology]*, 3(19), 4–9 [in Russian].

3. Debolskaya, E. I. (2019). Deformations of curved channels subject to thermoerosion. In *Trudy VII Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem: Sovremennye problemy vodokhranilishch i ikh vodosborov [Proceedings of the VII All-Russian Scientific and Practical Conference with International Participation: Modern Problems of Reservoirs and their Catchments]* (pp.76–81) [in Russian].

4. Badera, V. V. (2007). *Geodezicheskie metody opredeleniya ruslovykh deformatsiy beregovoy ovrazhnoy erozii pri proektirovaniy i stroitel'stve inzhenernykh sooruzheniy na rekakh [Geodetic methods for determining channel deformation of coastal ravine erosion in the design and construction of engineering structures on rivers]*. Omsk Siberian State Automobile and Highway Academy (SibADI) Publ., 52 p. [in Russian].

5. Savichev, O. G. (2017). Method for assessing channel deformations in the absence of channel surveys. In *Sbornik materialov IV Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem: Sbornik k 100-letiyu otkrytiya estestvennogo otdeleniya v Tomskom gosudarstvennom universitete: Sovremennye problemy geografii i geologii [Proceedings of the IV All-Russian Scientific and Practical Conference with International Participation: Collection on the 100th anniversary of the Opening of the Natural Branch at Tomsk State University: Modern Problems of Geography and Geology]* (pp. 391–395). Tomsk: National Research Tomsk State University Publ. [in Russian].

6. Degtyarev, V. V. (1991). Calculation of channel deformations in the conditions of river flow regulation. In *Tezisy dokladov nauchno-tekhnicheskoy konferentsii: Okhrana prirody, gidrotekhnicheskoe stroitel'stvo, inzhenernoe oborudovanie [Abstracts of Scientific and Technical Conferences: Nature Protection, Hydraulic Engineering Construction, Engineering Equipment]* (pp. 41–42). Novosibirsk: Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin) Publ. [in Russian].

7. Popielarczyk D. (2012). RTK Water Level Determination in Precise Inland Bathymetric Measurements. *25th International Technical Meeting of*

the Satellite-Division of the Institute-of-Navigation, Sep. 17–21 (pp. 1158–1163). Ol'shtyn, Pol'sha: Varminsko-Mazurskiy Universitet.

8. Sedyshev, M. E., Uvarov, A. I., & Khlyntseva, E. O. (2005). *Geodezicheskiy monitoring ruslovykh deformatsiy v mestakh stroitel'stva i ekspluatatsii podvodnykh perekhodov magistral'nykh truboprovodov cherez reki Zapadnoy Sibiri [Geodetic monitoring of channel deformations in the places of construction and operation of underwater crossings of main pipelines across the rivers of Western Siberia]*. Omsk: OmGAU Publ., 153 p. [in Russian].

9. Savichev, O. G., & Reshetko, M. V. (2012). Methods of approximate quantitative assessment of solid runoff and channel deformations for plain rivers of the taiga zone of Western Siberia. *Inzhenernye izyskaniya [Engineering Surveys]*, 1, 52–56 [in Russian].

10. Savichev, O. G. (2016). Methodology for assessing channel deformations of rivers in Western Siberia. *Geosfernye issledovaniya [Geosphere Studies]*, 1, 140–151 [in Russian].

11. Korableva, O. V. (2015). Assessment of the stability of the Kerzhenets river bed. In *Sbornik materialov Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii: Orfanovskie chteniya [Proceedings of the All-Russian Scientific and Practical Conference: Orfanov Readings]* (pp. 12–16). Ulyanovsk: Ulyanovsk State Pedagogical University named after I. N. Ulyanov, Department of Geography, Geographical and Geoecological Education Publ. [in Russian].

12. Antropovsky, V. I., & Grebennikov, G. G. (2011). Assessment of channel deformations of karst rivers with underwater crossings of main pipelines in the presence of field research results. In *Dvadsat' shestoe plenarnoe mezhvuzovskoe koordinatsionnoe soveshchanie po probleme erozionnykh, ruslovykh i ust'evykh protsessov. Doklady i kratkie soobshcheniya [Twenty-sixth Plenary Inter-University Coordination Meeting on the Problem of Erosion, Channel and Wellhead Processes. Reports and Brief communication]* (pp. 58–60). Arzamas: Arzamas State Pedagogical University named after A. P. Gaidar, Interuniversity Scientific Coordination Council on the problem of erosion, channel and wellhead processes at Moscow State University, Publ. [in Russian].

13. Antropovsky, V. I., & Grebennikov, G. G. (2013). Assessment of channel deformations of karst rivers with underwater crossings of main pipelines with a lack and absence of results of field studies. *Problemy regional'noy ekologii [Problems of Regional Ecology]*, 5, 158–162 [in Russian].

14. Korableva, O. V. (2015). Characterization of channel deformations and assessment of the stability

of the Kerzhnets riverbed. In *Trudy Gosudarstvennogo Prirodnogo Biosfernogo Zapovednika "Kerzhenskiy": Gosudarstvennyy Prirodnyy Zapovednik "Kerzhenskiy" [Transactions of the State Natural Biosphere Reserve "Kerzhenskiy": State Natural Reserve "Kerzhenskiy"]* (pp. 97–103). Nizhny Novgorod: Litera Publ. [in Russian].

15. Shibkih, A. A., Boenko, K. A., & Marusin, K. V. (2008). Use of GIS-technologies and distance methods for studying planned channel deformations (on the example of sections of rivers of the upper Ob basin). In *Sbornik materialov v ramkakh XIII mediko-ekologicheskoy vystavki "Chelovek. Ekologiya. Zdorov'e": III Vsesibirskiy mediko-ekologicheskii forum [Proceedings of the XIII Medical and Environmental Exhibition "Man. Ecology. Health": III All-Siberian Medical and Environmental Forum]* (pp. 91–94). Barnaul: CJSC Altai Fair Publ. [in Russian].

16. Salnikov, V. G., Skripnikov, V. A., Skripnikova, M. A., & Khlebnikova T. A. (2018). The use of modern automated geodetic instruments for monitoring hydraulic structures of hydroelectric plants. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 23(3), 108–124 [in Russian].

17. Nikonov, A. V., Chesheva, I. N., & Ryabova N. M. (2018). Development of a program for geodetic monitoring of deformations of a hydraulic power plant at a state district power station - a two-stage differential Nikonov. In *Sbornik materialov Interekspo GEO-Sibir'-2018: Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii: Geodezija, geoinformatika, kartografija, markshejderija [Proceedings of Interexpo GEO-Siberia-2018: International Scientific Conference: Geodesy, Geoinformatics, Cartography, Mine Surveying]* (pp. 3–12). Novosibirsk: SSUGT Publ. [in Russian].

18. Code of practice SP 47.13330.2016. (2017). Engineering surveys for construction. The main pro-

visions. Updated edition of SNiP 11-02-96. Moscow: Standartinform, 84 p. [in Russian].

19. Churuksaeva, V., & Starchenko, A. (2015). Mathematical Modeling of a River Stream Based on a Shallow Water Approach. *Procedia Computer Science*, 66, 200–209.

20. Korablina, A. D., Arkhipkin, V. S., & Samborski, T. V. (2016). Modeling features formation storm surge in a dynamic system white sea – Mouth area northern Dvina River. *Vestnik Moskovskogo Universiteta. Seriya 5: Geografiya*, 1, 78–86.

21. Matskevich, N. A., & Chubarov, L. B. (2019). Exact Solutions to Shallow Water Equations for a Water Oscillation Problem in an Idealized Basin and Their Use in Verifying Some Numerical Algorithms. *Numerical Analysis and Applications*, 12(3), 234–250.

22. Budenkov, N. A., & Ganshin, V. N. (1979). *Geodezicheskie raboty pri rechnykh i ozernykh izyskaniyakh [Geodetic work in river and lake surveys]*. Moscow: Nedra Publ., 159 p. [in Russian].

23. Gholami, A., Akhtari A. A., Minatour, Y., Bonakdari, H., & Javadi, A. A. (2014). Experimental and numerical study on velocity fields and water surface profile in a strongly-curved 90 degrees open channel bend. *Engineering Applications of Computational Fluid Mechanics*, 8(3), 447–461.

24. Gmurman, V. Ye. (2003). *Teoriya veroyatnostey i matematicheskaya statistiki [Probability theory and mathematical statistics]* (9th ed.). Moscow: Higher School, Stereotip, 479 p. [in Russian].

25. Nefedova, G. A., & Ashcheulov, V. A. (2009). *Teoriya matematicheskoy obrabotki geodezicheskikh izmereniy v konspektivnom izlozhenii [Theory of mathematical processing of geodetic measurements in a summary]*. Novosibirsk: SSGA Publ., 140 p. [in Russian].

Received 15.04.2020

© A. I. Uvarov, L. A. Pronina, 2020