

Министерство образования и науки Российской Федерации
ФГБОУ ВО «Удмуртский государственный университет»
Институт географии Российской академии наук
Межвузовский научно-координационный совет по проблеме эрозионных,
русловых и устьевых процессов при МГУ им. М.В. Ломоносова
Всероссийская общественная организация «Русское географическое общество»
Министерство образования и науки Удмуртской Республики
Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды
Удмуртской Республики
Удмуртская республиканская общественная организация
«Союз научных и инженерных общественных отделений» (УРОО «СННОО»)

ПРОБЛЕМЫ РЕГИОНАЛЬНОЙ ЭКОЛОГИИ И ГЕОГРАФИИ

Материалы II-й Всероссийской научно-практической конференции
с международным участием, посвященной Году экологии и 55-летию
высшего географического образования в Удмуртской Республике

9–13 октября 2017 года



Ижевск
2017

1. Гареев А.М. Методические вопросы пространственного и временного анализа развития ускоренной эрозии//Четырнадцатое пленарное межвузовское координационное совещание по проблеме эрозионных, русловых и устьевых процессов. Уфа. РИЦ БашГУ, 1999. С. 14-17.
2. Гареев А.М. Особенности активизации развития эрозионных процессов в зависимости от увеличения максимального стока на водосборе в условиях деградации природных комплексов//Чистая вода России. Екатеринбург. Изд-во РосНИИВХ, 2005. с.21-22.
3. Гареев А.М., Хабибуллин И.Л. Естественные и антропогенные факторы активизации эрозионных процессов. Уфа. РИЦ БашГУ, 2010. 121 с.
4. География овражной эрозии/Под ред. Е.Ф. Зориной. М. Изд-во МГУ, 2006. 347 с.
5. Дедков А.П., Мозжерин В.И. О зональности эрозии и стока взвешенных наносов на Русской равнине//Проблемы отраслевой и комплексной географии. Казань. Изд-во Казанского университета, 1976. с. 41-54.
6. Докучаев В.В. Способы образования речных долин Европейской России. СПб, 1878.
7. Ермолаев О.П. Пояса эрозии в природно-антропогенных ландшафтных речных бассейнов. Казань. Изд-во Казанского университета, 1992. 148 с.
8. Зорина Е.Ф. Овражная эрозия: Закономерности и потенциал развития. М. ГЕОС, 2003.
9. Ковалев С.Н. Овражная эрозия на урбанизированных территориях//Эрозия почв и русловые процессы. Вып. 13. М. Изд-во МГУ, 2001.
10. Литвин Л.Ф. География эрозии почв сельскохозяйственных земель России. М. ИКЦ «Академкнига», 2002. 255 с.
11. Маккавеев Н.И. Русло реки и эрозия в ее бассейне. М. Изд-во АН СССР, 1955. 353 с.
12. Панков А.М., Дубенский А.А, Горшенин К.П. Валуйский уезд//Материалы по естественно-ист. исследованию Воронеж. губ. Отд. 4. Вып. 1. М, 1992.
13. Рысин И.И., Григорьев И.И., Особенности развития сельскохозяйственных и техногенных оврагов Удмуртии//Проблемы флювиальной геоморфологии. Материалы XXIX Пленума геоморфологической комиссии РАН. Ижевск. Ассоциация «Научная книга», 2006.С.248-252
14. Смелов С.П. Луга Заволжская Ярославской губернии//Тр. Гос. лугового института. Вып.2, 1927.
15. Чалов Р.С., Ларионов Г.А., Сидорчук А.О. Учение об эрозионных и русловых процессах: состояние, основные направления и задачи исследования // Вестник Московского университета. Сер.5.География, 1987.С.16-21.

УДК 551.4.012

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ GNSS ДЛЯ КАРТОГРАФИРОВАНИЯ ОВРАЖНО-БАЛОЧНОЙ СЕТИ⁶

Гафуров А.М.

Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань, e-mail: gafurov.kfu@gmail.com

Аннотация: Овражная эрозия является мощным механизмом рельефообразования. Оценка динамики развития оврагов и создания детальных геоморфологических карт малых эрозионных форм является весьма трудоемким процессом. В статье представлены результаты использования спутниковой съемки для решения этих задач на примере оврагов и водосборов первого порядка, расположенных в Удмуртской Республике, Республике Татарстан, Саратовской области и Ставропольском крае. GNSS-технология позволяет достичь сопоставимых с традиционно используемой тахеометрической съемкой результатов при создании планов местности и отдельных элементов рельефа при общем увеличении производительности работ.

Ключевые слова: овраги, балки, GNSS, картографирование.

USING GNSS TECHNOLOGY FOR GULLY AND DRY VALLEY MAPPING

Gafurov A.M.

Kazan Federal University, Kazan, e-mail: gafurov.kfu@gmail.com

Annotation: Gully erosion is a powerful mechanism of relief formation. An assessment of the dynamics of the development of gullies and the creation of detailed geomorphological maps of small erosion forms is a very laborious process. The article presents the results of using satellite survey to solve these problems by the example of gullies and first order catchments located in the Udmurt Republic, the Republic of Tatarstan, the Saratov Region and the Stavropol

⁶ Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта РФФИ (проект № 15-17-20006).

Territory. GNSS technology allows to achieve results comparable with traditional survey when creating topographic plans and individual relief elements with a general increase in productivity.

Keywords: gully, dry valley, GNSS, mapping.

Введение

При изучении овражной эрозии и выделении различных элементов и форм рельефа в пределах малых водосборов картографический материал является основным источником сведений об объекте [6]. На сегодняшний день в качестве источников для построения подобного рода крупномасштабных карт или схем используются космические снимки [5], топографо-геодезическая съемка [7], материалы аэрофотосъемки (АФС) [3]. Для каждого из источников характерны свои плюсы и минусы.

С развитием геодезических технологий, появляются новые, высокоточные и сравнительно дешевые методы получения информации о плановых характеристиках исследуемых объектов. К таковым следует отнести GNSS-технологию, широкое применение которой для решения задач определения координат в виде методов дифференциальной навигации началось в начале 1990-х гг. [12]. В второй половине 1990-х гг. произошел резкий скачок в применении GNSS-ресиверов для решения задач мониторинга, связанный с возможностью получения непрерывных данных автоматически [8]. На сегодняшний день, для получения данных миллиметровой точности используются относительные методы статики [9] и кинематики [10] с вариациями. Альтернативой относительным методам выступает метод PPP (Precise point positioning – точное дифференциальное позиционирование) [2]. Достижимая точность определения координат по этой методике варьируется от первых миллиметров до 1,5 см в плане и до 2 см по геодезической высоте при обработке результатов суточных сеансов измерений [4]. Подробно с принципами и методикой PPP можно ознакомиться в работах Яна Коуба [13, 14].

В данной работе анализируются результаты использования метода кинематики в реальном времени (RTK-real time kinematics). К достоинствам данного метода стоит отнести высокую производительность, так как на каждую точку съемки уходит несколько секунд, а также гарантированное качество результатов измерений [1].

Исследуемая территория. Работы по картографированию овражно-балочной сети производились на пяти ключевых участках в Удмуртской Республике, Республике Татарстан, Саратовской и Оренбургской областях и Ставропольского края. В Удмуртской Республике и Оренбургской области были проведены работы по морфологическому картографированию долин первого порядка, для остальных объектов были проведены работы по отрисовке бровки активных оврагов. Всего для отрисовки бровок было выбрано 19 оврагов.

Материалы и методы. Для обеспечения работ был использован портативный GNSS-приемник Trimble Geoploter 6000, работающий в RTK-режиме. В качестве базовых, использовались станции, расположенные на расстоянии не более 80 км: для съемок в Республике Удмуртия и Оренбургской области использовались приемник Leica GR10 с антенной Leica AR10, расположенные, соответственно, на станциях «Ижевск» и «Алексеевка» сети SmartNet; для работ в Саратовской области был задействован приемник Leica GRX1200 с антенной Leica AR10, расположенный на станции «Саратов» ООО «ГРАДИЕНТ»; для работ в Ставропольском крае использовалась базовая станция «Минеральные Воды» с установленным приемником IGS GR111 (Novatel oem628) + антенна GNSS HX-CSX601A. В Республике Татарстан работы проводились с использованием приемника Trimble NetR9 Geospatial и антенны Trimble GNSS Choke w/SCIS Dome на станции сети IGS KZN2, расположенной в Астрономической Обсерватории Казанского федерального университета.

Сбор данных осуществлялся следующим образом: для съемки каждой морфологической единицы (бровка оврага, бровка балки, временное русло и т.д.) высота антенны приемника выставлялась равной нулю, после чего осуществлялась сама фиксация координат непосредственно по границам объекта. Так как приемник Trimble Geoploter 6000 является ровером картографического класса, с помощью него удобно получать координаты объектов не только в точечном виде, но и в виде полилинии, позволяющей отобразить границы объекта, или полигона, в случае замкнутого объекта, например, суффозионной воронки. Для сбора данных был выбран полилинейный тип объекта для записи, как универсальный, позволяющий, в случае необходимости, получить при камеральной обработке как точечный объект, так и полигональный. Так как съемка проводилась в режиме кинематики в реальном времени, а поправки поступали с частотой 1 секунда, скорость движения при обходе границ объектов составляла ~1 м/сек. Такая скорость движения является оптимальной для получения данных высокой плотности с низким разбросом.

Полученные с помощью GNSS-приемника данные экспортировались на персональный компьютер для дальнейшей постобработки. Экспорт данных в RINEX – формат (Receiver Independent

Exchange Format - формат обмена данными для файлов исходных данных спутниковых навигационных приёмников)[11] осуществлялся с помощью ПО Trimble Pathfinder Office. Дальнейшая обработка осуществлялась с использованием свободно распространяемой библиотеки утилит для обработки данных GNSS RTKLib версии 2.4.2. В данную библиотеку входит утилита RTKPost, позволяющая проводить уравнивание данных GNSS-съёмки относительно RINEX-файлов, полученных с базовой станции.

Полученные уравненные данные импортировались в ГИС приложение QGIS 2.14 для построения морфологических карт объектов исследования.

Для сравнения данных, полученных с помощью GNSS, одновременно была проведена работа по съёмке бровок двух оврагов в бассейне р. Темев Ручей Высокогорского района Республики Татарстан с помощью тахеометра Trimble M3. Для обеспечения увязки съёмок с помощью GNSS-приемника и с помощью тахеометра, ранее была заложена сеть грунтовых реперов, координаты которых были отсняты с помощью ресивера и уравнены в по RTKPost. Полученные данные импортировались в ПО QGIS 2.14 для анализа максимальных, средних, систематических и случайных отклонений.

Результаты. Первые работы по картографированию оврагов проводились в мае 2016 года в бассейне р. Темев Ручей Высокогорского района Республики Татарстан. Всего были получены данные по двум оврагам. Полученные результаты сравнения топографо-геодезической съёмки с помощью тахеометра с данными, полученными с помощью GNSS-приемника свидетельствуют о хорошей сходимости. Так, среднее отклонение на первом овраге составило 0,05 м при максимальном 0,21 м (рис. 1а), для второго среднее отклонение составило 0,02 м при максимальном 0,12 м (рис. 1б).

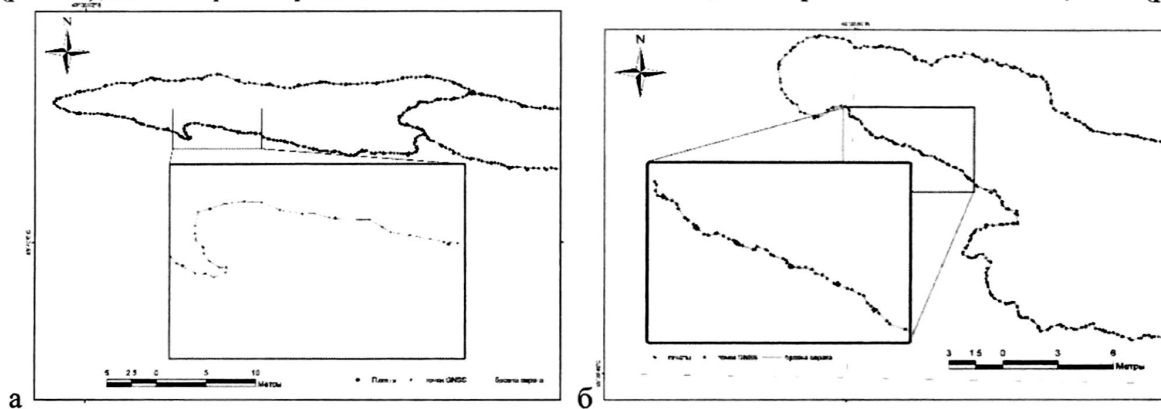


Рис.1. Карта оврага №1 (а) и оврага №2 (б) бассейна р. Темев Ручей с отрисованной по данным GNSS бровкой и топографо-геодезической съёмкой

Максимальные ошибки отклонений данных, полученные из разных источников характерны для участков с густым дерновым покровом, скрывающим фактическое расположение бровки. Однако, 99% точек GNSS-съёмки лежат на линии точек тахеометрического хода, что говорит о применимости метода для картографирования прироста вершинных участков овражной сети.

Съёмка оврагов в Саратовской области и Ставропольском крае проводились в октябре 2016 года. В Саратовской области работы проводились на 8 ключевых участках, для Ставропольского края число ключевых участков составило 9. Ошибки определения положения точек GNSS представлены в Таблице 1 и в Таблице 2.

Таблица 1. Ошибки определения положения точек GNSS-съёмки в Саратовской области

Номер оврага	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	G8
Количество точек	435	748	390	625	1469	771	268	308
Среднее SDX	0.06	0.04	0.04	0.07	0.04	0.03	0.06	0.06
Среднее SDY	0.04	0.03	0.03	0.07	0.03	0.02	0.05	0.05
Минимум SDX	0.01	0.009	0.006	0.009	0.006	0.006	0.04	0.03
Максимум SDX	0.34	0.3	0.25	0.28	0.18	0.15	0.15	0.16
Минимум SDY	0.005	0.005	0.005	0.006	0.005	0.004	0.03	0.03
Максимум SDY	0.18	0.19	0.23	0.62	0.15	0.1	0.13	0.16
99% перцентиль SDX	0.13	0.23	0.2	0.25	0.15	0.13	0.14	0.15
99% перцентиль SDY	0.15	0.15	0.19	0.36	0.12	0.09	0.11	0.15

где SDX – стандартное отклонение ошибки по X (м), SDY – стандартное отклонение ошибки по Y (м).

Таблица 2. Ошибки определения положения точек GNSS-съемки в Ставропольском крае

Номер оврага	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	G8	G9
Количество точек	442	202	1277	257	398	345	183	445	265
Среднее SDX	0.06	0.06	0.02	0.05	0.05	0.04	0.06	0.05	0.03
Среднее SDY	0.04	0.04	0.02	0.04	0.05	0.04	0.06	0.05	0.03
Минимум SDX	0.01	0.008	0.008	0.008	0.007	0.006	0.04	0.007	0.005
Максимум SDX	0.13	0.09	0.08	0.07	0.09	0.05	0.1	0.09	0.09
Минимум SDY	0.006	0.006	0.006	0.007	0.007	0.006	0.04	0.005	0.005
Максимум SDY	0.08	0.06	0.1	0.07	0.08	0.06	0.11	0.12	0.09
99% перцентиль SDX	0.13	0.09	0.08	0.07	0.09	0.05	0.1	0.09	0.07
99% перцентиль SDY	0.08	0.06	0.06	0.06	0.08	0.05	0.11	0.11	0.07

Точки с ошибками более 0,15 м в плане отфильтровывались для получения более достоверной картины положения точек, после чего строились карты бровок оврагов.

Для картографирования долин первого порядка были проведены работы на ключевых участках в Республике Удмуртия и Оренбургской области. Всего для объектов исследования было получено по 15000 точек, съемка проводилась по таким морфологическим единицам, как суффозионные воронки, бровки склонов и тыловые швы днища долины, уступы вторичных врезов, склоновые ложбины, бровки оползневого тела, эрозионные борозды, временные русла. Точки с ошибками более 0,15 м так же, как и для съемок бровок оврагов отфильтровывались для получения достоверных результатов, после чего строились морфологические карты (Рис.2).

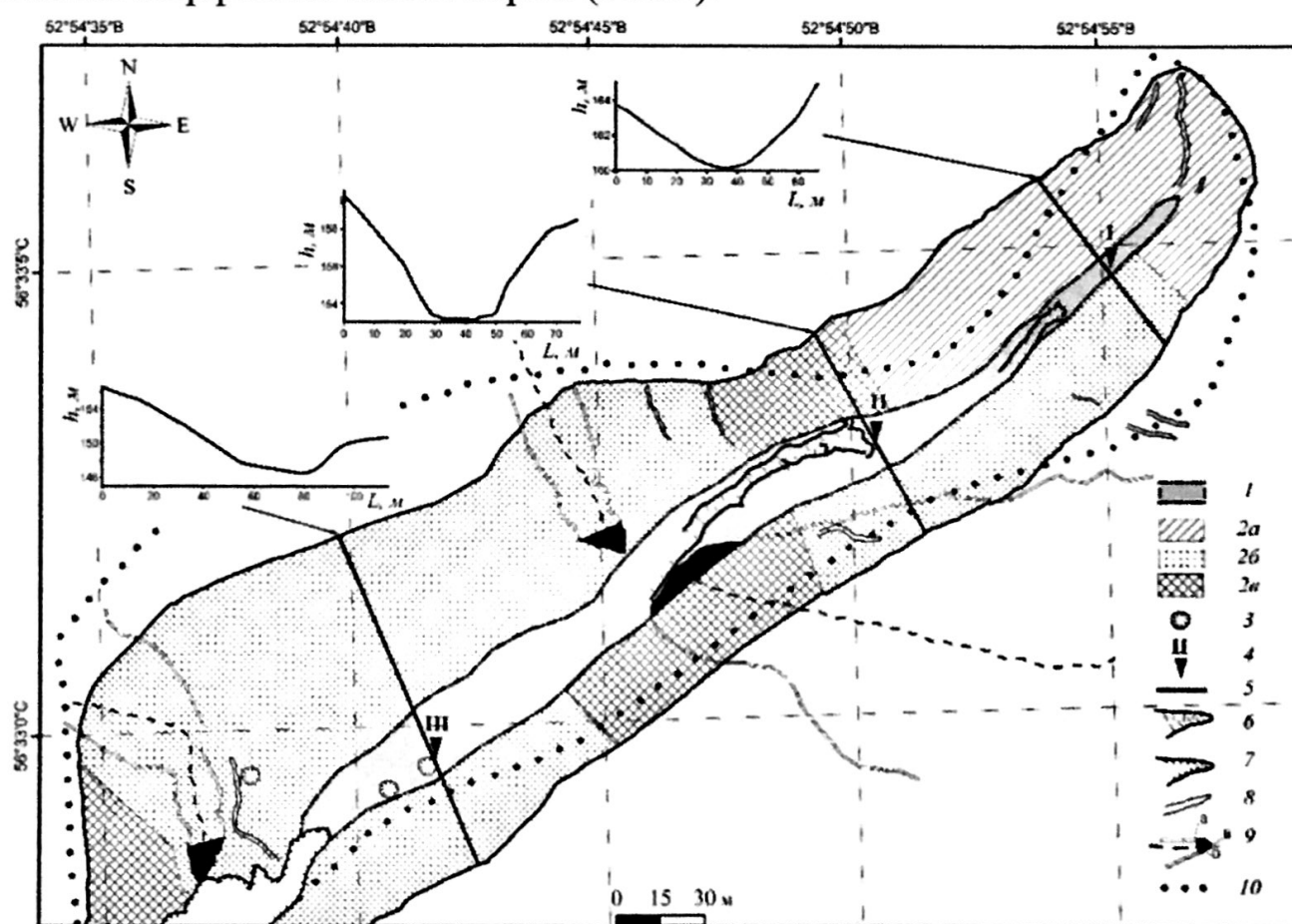


Рис. 2. Морфометрическая карта долины первого порядка Курегово в Удмуртской Республике
 1 – днище балки; склоны: 2а – относительно пологие (менее 6°), 2б – средней крутизны (6–15°), 2в – относительно крутые (более 15°); 3 – суффозионная воронка, 4 – положение почвенного разреза и его номер, 5 – линия поперечного профиля, 6 – молодые эрозионные врезы в днище балки, 7 – донный овраг, 8 – молодые эрозионные борозды на склонах, 9 – склоновые ложбины (а – бровка ложбины, б – тальвег ложбины, в – конус выноса); 10 – край распаханного поля; на поперечных профилях: h – абс. высота, L – горизонтальное проложение по линии профиля.

Заключение

Картографирование овражно-балочной сети позволяет составить полное генерализованное представление об объекте мониторинга. Наиболее популярным источником данных остается топографо-геодезическая съемка. Однако, проведение наблюдений с использованием тахеометра требует высокой квалификации исполнителя при проведении измерений и обработке результатов. Использование GNSS-технологии позволяет добиться сопоставимой плановой точности (до первых миллиметров) при существенном облегчении методики и ускорения сбора данных. Кроме того, использование GNSS-технологии позволяет добиться плотности данных, многократно превышающей

такую при топографо-геодезической съемке, что позволяет максимально точно отобразить границы изучаемых объектов.

Несмотря на неоспоримые преимущества, которые дает GNSS-технология, существует ряд недостатков, ограничивающих использование методики. К ним можно отнести то, что для обеспечения высокой точности результатов съемки необходимо наличие базовой станции в радиусе не более 80 км, что не всегда достижимо. Решением этой проблемы может быть установка собственной базовой станции, но в этом случае требуется проведение дополнительных работ по обеспечению высокой точности вычисления положения станции. К недостаткам так же стоит отнести невысокую точность определения высотных координат в RTK-режиме (первые сантиметры). Достижимой точности съемки достаточно для обеспечения данными для построения карт миллиметровой точности, однако недостаточно для построения подробных цифровых моделей рельефа из-за дискретности полученных точек.

Список литературы

1. Варфоломеев А.Ф., Чудайкина О.Ю. Использование RTK-режима систем глобального позиционирования GPS и ГЛОНАСС при проведении топографических работ [Электронный ресурс]. URL: <http://journal.mrsu.ru/arts/ispolzovanie-rtk-rezhima-sistem-globalnogo-pozicionirovaniya-gps-i-ghonass-pri-provedenii-topograficheskikh-rabot>.
2. Виноградов А.В., Войтенко А.В., Жигулин А.Ю. Оценка точности метода Precise Point Positioning и возможности его применения при кадастровых работах // Геопрофи. 2010. (2). С. 27–30.
3. Войтенко А.В., Зотов Р.В., Столбов Ю.В. Опыт создания современной геодезической основы и съёмочного обоснования для крупномасштабной съёмки городской территории // Омский научный вестник. 2012. № 2 (114). С. 227–232.
4. Липатников Л.А. О методике точного дифференциального позиционирования (Precise Point Positioning) и перспективах её совершенствования // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2012. (7). С. 48–53.
5. Медведева Р.А. Динамика овражной эрозии в бассейне реки Меша // Эрозионные, русловые и устьевые процессы (исследования молодых ученых университетов). 2016. С. 162–169.
6. Никольская И.И., Прохорова С.Д. Картографический метод исследования овражной эрозии // Geomorphology RAS. 2015. № 1. С. 44.
7. Рыжов Ю.В. Овражная эрозия в межгорных котловинах юго-западного Прибайкалья // Геоморфология. 1998. (3). С. 85–92.
8. Bäumker M., Fitzen H.P. Permanente Überwachungsmessungen mit GPS // Brandstätter ua (Hrsg.): Ingenieurvermessung. 1996. (96).
9. Dawidowicz K., Krzan G. Accuracy of single receiver static GNSS measurements under conditions of limited satellite availability // Survey Review. 2014. № 337 (46). С. 278–287.
10. Feng Y. GNSS three carrier ambiguity resolution using ionosphere-reduced virtual signals // Journal of Geodesy. 2008. № 12 (82).
11. Hatanaka Y. RINEX compression format and tools // Proceedings of ION GPS. 1996. № 1. С. 177–183.
12. Kaplan E., Hegarty C. Understanding GPS: principles and applications. Second edition. / E. Kaplan, C. Hegarty, Artech house, 2006. 703 с.
13. Kouba J. A Guide to Using International GNSS Service Products [Электронный ресурс]. URL: <http://acc.igs.org/UsingIGSProductsVer21.pdf>.
14. Kouba J., Héroux P. Precise Point Positioning Using IGS Orbit and Clock Products // GPS Solutions. 2001. № 2 (5). С. 12–28.

УДК 551.435.6

МЕДЛЕННОЕ МАССОВОЕ СМЕЩЕНИЕ ГРУНТОВ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ УСЛОВИЙ РЕЛЬЕФА

Глейзер И.В., Егоров И.Е., Казаков А.Г.

Удмуртский государственный университет, Ижевск, e-mail: egorov.i53@mail.ru

Аннотация: рассматриваются процессы массового смещения материала на различных элементах рельефа водосборного бассейна, в том числе в подводных условиях на примере Воткинского водохранилища. Излагается методика исследования.

Ключевые слова: крип, массовое смещение грунтов, зона мелководья водохранилища, денудационно-аккумулятивный баланс прибрежной зоны.