УЧЕНЫЕ ЗАПИСКИ КАЗАНСКОГО УНИВЕРСИТЕТА.
СЕРИЯ ЕСТЕСТВЕННЫЕ НАУКИ

2016, Т. 158, кн. 2 ISSN 1815-6169 (Print)
С. 277–292 ISSN 2500-218X (Online)

УДК 551.4.012

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ РЕГРЕССИВНОГО РОСТА ОВРАГОВ: ДОСТОИНСТВА И НЕДОСТАТКИ

А.З. Сатдаров

Казанский (Приволжский) федеральный университет, г. Казань, 420008, Россия

Аннотация

Проведен сравнительный анализ достоинств и недостатков полевых методов изучения темпов и механизма регрессивного роста вершин оврагов. Рассмотрены как традиционные методы (линейные измерения, тахеометрическая съемка), так новые (сканирование и фотограмметрическое обследование), связанные с использованием высокоточного оборудования и специализированного программного обеспечения и появившиеся сравнительно недавно. Проанализирована возможность количественной оценки темпов роста оврагов, а также действующих механизмов овражной эрозии. Выявлена необходимость использования рассматриваемых методов в комплексе. Приведена оценка возможности использования того или иного метода с учетом ресурсных, временных и финансовых затрат.

Ключевые слова: овраг, эрозия, регрессивный рост, линейные измерения, топографо-геодезические работы, лазерное сканирование, фотограмметрия

Введение

Овражная эрозия наносит наиболее значимый урон земельному фонду, поскольку образование и последующее развитие оврагов приводит к ежегодному сокращению площадей сельхозугодий. Так, в регионах с усиленной антропогенной нагрузкой возникают новые овражные врезы, продолжается рост уже сформировавшихся овражных форм, активизируются донные овраги в балках под влиянием использования балочных земель под выпас скота, а также при изменении режима стока верхних звеньев речной сети [1].

Распространение оврагов полностью не совпадает с распространением пахотных земель. Обширные возделываемые пространства в различных частях Европы, в том числе многие интенсивно обрабатываемые возвышенности, имеют незначительное овражное расчленение или совсем лишены его [2]. Если ранее (до 70-х годов XX в.) основной причиной оврагообразования было расширение площади пахотных земель, то в настоящее время образование новых эрозионных форм связано с увеличением пастбищных нагрузок, прокладкой дорог, трубопроводов, добычей полезных ископаемых [3].

Масштабные исследования овражной эрозии проводились различными исследователями (А.П. Дедков, Е.Ф. Зорина, И.И. Рысин, Л.Е. Сетунская, Ю.В. Рыжов и др.) в последние десятилетия двадцатого века. Как правило, мониторинг роста оврагов осуществляется в пределах небольших территорий со сходными природно-антропогенными условиями [3–10] либо является одним из компонентов

более масштабных научных исследований. При анализе механизмов оврагообразования и темпов их регрессивного роста в современных условиях новейших компьютерных и инструментальных технологий необходимо использование различных методов исследования и постобработки, а также их сравнение, выявление достоинств и недостатков каждого из них и возможность использования того или иного метода в отдельности или в комплексе в зависимости от поставленных задач.

1. Методы исследования регрессивного роста оврагов

В настоящее время в области оценки овражной эрозии используются методы экспертного анализа космических и аэрофотоснимков по их дешифровочным признакам [1, 2, 10–14], причем популярными становятся работы, связанные с полуавтоматизированным дешифрированием снимков с использованием новейших компьютерных программ [15–17]. В рамках настоящей работы будут рассмотрены лишь полевые методы исследования овражной эрозии.

Определение активности роста оврагов на разных этапах развития – одна из задач, решение которой связано с анализом натурных и экспериментальных данных, позволяющих составить общую расчетную схему или модель процесса [1]. Так, анализ морфометрии склонов долинно-балочной сети и условий формирования стока на водосборах рек, балок, суходолов позволяет не только выявить влияние природных и антропогенных факторов на современное распространение оврагов, но и получить данные для определения тенденции развития процесса [18].

Рост оврагов может оцениваться различными показателями или их совокупностью (изменением во времени длины, объема, площади, глубины и т. п.). Основным источником сведений о росте оврагов являются данные о линейном росте вершинных частей оврагов [1].

Целью настоящей работы является сравнительный анализ достоинств и недостатков ряда полевых методов изучения темпов и механизма регрессивного роста вершин оврагов, включая традиционные и новые, появившиеся сравнительно недавно.

Скорость и механизм роста оврагов можно описать с помощью различных показателей, но чаще всего на практике используется линейный прирост вершины оврага в единицу времени. Такие данные можно получить двумя способами: 1) специальными стационарными наблюдениями за оврагами; 2) сопоставлением разновременных аэрофотоснимков [4], а также крупномасштабных топографических карт. Таким образом, полевые методы относятся к специальным мониторинговым наблюдениям, которые используют для изучения механизмов оврагообразования и получения количественных характеристик сезонного и ежегодного прироста конкретных овражных форм [4].

Основным методом оценки активности овражных процессов является метод линейных измерений, который среди всех анализируемых является наиболее простым и наименее финансово- и ресурсозатратным. Он включает в себя измерения прироста вершины оврагов, их ширины и глубины [13]. В основу метода положено измерение расстояний от вершины оврага до предварительно установленного репера или нескольких реперов, расположенных по линии роста оврага, а также до деревьев, столбов и строений, либо от вершины оврага

Рис. 1. Линейные измерения в вершине оврага

до специально заложенной марки [19] (рис. 1). При этом преимуществом данного метода является его простота. Использование линейных измерений долгое время оставалось основным и наиболее точным способом оценки роста оврагов [1, 2, 20].

Линейные измерения на активно развивающихся овражных формах дают возможность даже в пределах относительно короткого временного отрезка оценить динамику регрессивного роста. Так, крупные работы по изучению овражной эрозии уже около 40 лет ведутся на территории Республики Удмуртия группой И.И. Рысина. На большинстве стационаров наблюдения проводятся один раз в год, а на нескольких ключевых участках измерения осуществляются дважды: после схода талых вод и после окончания сезона летне-осенних ливней [3]. Известно, что водный сток, в суммарном выражении дающий представление о роли климато-ландшафтных условий в формировании овражной сети, является единственным учтенным типично зональным фактором [13]. Интенсивность роста оврагов в значительной степени определяется гидрометеорологическими условиями [3, 8]. Проведение измерений дважды в год является наиболее правильным для первичной оценки активности оврагов, что дает возможность анализа темпов роста овражных форм в зависимости от интенсивности сезонных гидрометеорологических процессов и степени их вклада в формирование поверхностного стока той или иной территории.

Однако данный метод, с помощью которого можно получить относительно точные данные о линейном приросте вершины оврага, даже при использовании нескольких реперов не позволяет с достаточной точностью оценить площадной и объемный прирост вершин оврагов. Поэтому применение данного метода целесообразно только для оценки линейного прироста и выявления из нескольких выбранных для наблюдения оврагов наиболее активных и интересных для дальнейшего изучения с наименьшими затратами времени и средств, а также он может быть использован в сочетании с более точными методами определения темпов и механизма роста оврагов на той или иной исследуемой территории.

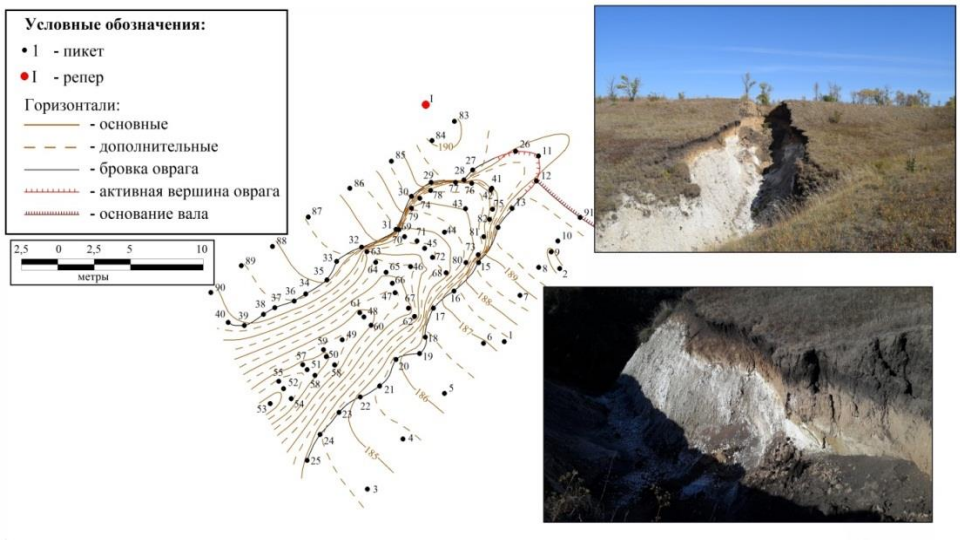

Рис. 2. План оврага, построенный по материалам тахеометрической съемки

Более точные данные о динамике развития оврагов позволяют получить методы, основанные на применении высокоточных топографо-геодезических приборов. Если ранее в подобных исследованиях использовались теодолиты [21], то наибольшей популярностью в современных исследованиях пользуются электронные тахеометры (рис. 2). Использование высокоточных электронных тахеометров в изучении природно-антропогенных процессов в последние годы получило колоссальную популярность наряду с бурным развитием специализированного программного обеспечения. Так, подобные работы проводятся при изучении интенсивности эрозионно-аккумулятивных процессов [22], широко применяются при установлении границ водоохранных зон и прибрежных защитных полос водных объектов, при анализе интенсивности береговых процессов [23, 24] и других исследованиях. В различных исследовательских работах в наибольшей степени распространены методики, связанные с повторными высокоточными тахеометрическими съемками и дальнейшими расчетами как морфометрических изменений элементов рельефа, так и количественных характеристик изменения объема привносимого либо выносимого материала. При исследовании регрессивного роста оврагов применение повторных высокоточных тахеометрических съемок не только позволяет оценить линейный, площадной и с меньшей точностью объемный прирост оврагов, но и дает возможность в некоторой степени количественно охарактеризовать сам механизм оврагообразования в вершинной части овражных форм.

Топографо-геодезические работы, проводимые при изучении регрессивного роста оврагов, заключаются в высокоточной тахеометрической съемке вершин, размываемых уступов, их бровок, а также тальвегов исследуемых оврагов (рис. 2). На основе повторной тахеометрической съемки оцениваются линейный прирост и изменения плановой конфигурации бровок и тальвегов. Подобные съемки с использованием высокоточного оборудования следует использовать при оценке наиболее активно растущих оврагов, которые определяются по результатам

мониторинга линейного прироста вершинных уступов оврагов на основе использования метода реперов.

Рассматриваемый метод изучения роста овражных форм активно применяется различными исследователями. Так, в комплексе с линейными измерениями в Удмуртии исследуются темпы роста активно развивающихся сельскохозяйственных и техногенно обусловленных оврагов [5, 6], причем не только линейные приросты вершин, но и динамика изменения объёма привершинной части [4].

Использование повторных тахеометрических съемок при изучении регрессивного роста оврагов обладает несомненным достоинством, связанным с геодезической точностью получаемых результатов. При этом, используя современное программное обеспечение, можно с большой степенью достоверности оценить изменения в плане конфигурации вершины, бровок оврага и т. п., но с меньшей точностью получить количественные характеристики объема эродированного материала. Кроме того, на основе результатов систематических съемок эрозионных форм можно спрогнозировать действующие эрозионные процессы на тех или иных оврагах, представив результаты в виде картографического изображения. Полученные данные можно использовать для верификации математических моделей оврагообразования [7].

Наряду с явными достоинствами данной методики, в ней имеется и ряд некоторых недостатков, связанных в основном с серьезными финансовыми затратами на покупку хорошего геодезического оборудования и с затратами времени при полевых работах, так как в сравнении с простыми линейными измерениями рулеткой, при проведении тахеометрической съемки на каждую из изучаемых вершин затрачивается большее количество времени, причем не столько на саму съемку, сколько на организацию сети реперов, которые необходимо бетонировать и с миллиметровой точностью определять их взаимное расположение относительно друг друга. Однако, несмотря на описанные недостатки, их можно считать некритичными на фоне неоспоримых достоинств, которыми располагают повторные тахеометрические съемки.

Одним из современных методов оценки эрозионно-аккумулятивных процессов является применение высокоточных геодезических инструментов, связанных со сканированием поверхности и получением в дальнейшем трехмерного изображения объекта. Для решения подобных задач возможно использование высокотехнологичных лазерных сканеров, а также автоматических роботизированных электронных тахеометров, имеющих возможность работать в безотражательном режиме съемки. Подобные инструменты, как правило, применяются в других сферах, и их использование в основном связано с археологическими, архитектурными [25], маркшейдерскими [26], различными геодезическими задачами в строительстве, а также с эксплуатацией зданий и сооружений и мониторинга их деформаций [27, 28]. В силу необходимости в высокой (как правило, миллиметровой) точности вышеперечисленных работ подобные инструменты могут применяться в различных целях, где необходимо с достаточно высокой степенью достоверности оценить и количественно описать формы некоторых элементов рельефа, а также интенсивность и механизмы различных процессов, в том числе эрозионно-аккумулятивных. Так, повторное наземное лазерное сканирование в последние годы активно применяется при оценке интенсивности

склоновых гравитационных процессов [29, 30], абразии берегов [31, 32], а также при изучении плоскостного смыва, микроручейковой, промоинной и овражной эрозии [33–38]. Кроме того, в данных исследованиях применяются также и роботизированные тахеометры. Таким образом, подобные приборы вполне возможно использовать в изучении овражной эрозии, что позволяет с высокой точностью оценить локальные изменения активных эрозионных участков того или иного оврага. Однако, несмотря на кажущуюся простоту применения сканирования в исследовании процессов овражной эрозии, при работе возникает ряд проблем, связанных как с точностью самих съемочных работ, так и с выбором участка съемок. Как и при повторных тахеометрических съемках, данное геодезическое оборудование требует точной привязки относительно системы реперов, при этом на сам процесс съемки затрачивается определенное время (разное в зависимости от моделей приборов), которое меняется в широких пределах в связи с желаемой плотностью получаемых точек сканирования и дальности расположения объекта съемок относительно самого прибора. Кроме точной привязки самого прибора в полевых условиях необходимо критично подойти к выбору участка съемок. В качестве исследуемого объекта подходят хорошо освещенные, свободные от растительности, крутые, эрозионно активные борта и склоны оврага. При этом съемочная станция должна располагаться с учетом наилучшей видимости исследуемого объекта. Так, на сильно размываемых активных оврагах такие борта встречаются очень часто, и использование данной методики позволяет достаточно детально оценивать процесс трансформации различных участков активно развивающейся вершины оврага. В силу того, что в результате лазерного сканирования и роботизированной съемки в безотражательном режиме исследуемый объект представляется в виде облака трехмерных точек с определенным шагом, сам процесс съемок и, соответственно, затрачиваемое на него время связаны с желаемой плотностью получаемых на выходе облака точек. Исходя из того, что эрозионно активные борта оврагов способны очень динамично изменяться во времени, в требованиях определения шага расстановки точек при съемке нет необходимости вводить миллиметровые значения, так как это займет значительно времени как при непосредственной съемке, так и при последующей обработке результатов. Таким образом, вести съемки лучше с сантиметровым шагом (1–10 см в зависимости от условий съемок, объекта исследования и величины затрачиваемого времени). Точки, получаемые в процессе полевых работ, в камеральных условиях обрабатываются с помощью специализированного геодезического программного обеспечения. По облаку точек строится 3D-модель, которая дает возможность количественной характеристики объекта съемок.

Неоспоримым преимуществом работ, связанных с лазерным сканированием и съемкой в безотражательном режиме, является высокая точность получаемых съемочных точек поверхности исследуемого объекта, которые имеют трехмерные координаты и хорошую плотность (в зависимости от выставленных характеристик при осуществлении съемки) и могут при повторных съемочных работах путем математических и статистических операций давать возможность количественно охарактеризовать изменения в конфигурации самих бортов оврагов и дать оценку действующему механизму эрозионной активности, происходящей

на той или иной территории. Но при всех преимуществах главным недостатком проведения работ, связанных со сканированием оврагов, является дороговизна измерительной аппаратуры, что ограничивает возможность их приобретения.

Еще одним полевым методом является фотограмметрический, который заключается в использовании изображений, полученных путем съемки цифровыми либо зеркальными фотокамерами [39]. При изучении темпов регрессивного роста оврагов практикуется применение двух так или иначе связанных между собой способов съемки. Первый способ – это классическое наземное фотограмметрическое обследование изменяющихся частей вершины оврага, которое заключается в статической съемке с неподвижного штатива, установленного на репере. Объектами исследования в данном случае могут являться крутые эрозионно активные борта оврагов. В процессе съемки необходимо получение высококачественных снимков с хорошим разрешением и детализацией конфигурации бровок. Сам процесс анализа изменений исследуемых форм заключается в повторных фотографических съемках с использованием в дальнейшем привязки серии полученных разновременных изображений и ориентирования объектов на фотографии. Это позволяет в последующем анализировать изменения конфигурации объекта съемок. На разновременных фотографиях возможно количественно оценить плановые переформирования.

Вторым способом исследования является применения стереофотографического метода, основанного на специальной съемке объекта с перекрытием с разных точек и на дальнейшей обработке так называемой стереопары, включающей в себя серию фотографий. В данном случае изучению подвергаются активные вершины оврагов. В результате съемки данным способом возможно построение трехмерной модели, количественный анализ которой позволяет так или иначе судить об изменениях вершинных частей оврагов. В камеральных условиях при работе со снимками необходимо использование специализированных программ; некоторые из них находятся в свободном доступе.

Использование фотокамер при анализе эрозионно-аккумулятивных и других процессов [40, 41] имеет ряд достоинств, связанных в основном с относительной простотой полевых работ (обработка изображений в камеральных условиях требует некоторых знаний и умений в работе со специализированным программным обеспечением) и с относительно малыми ресурсными и финансовыми затратами, так как для съемок возможно использование как и дорогих современных профессиональных зеркальных фотокамер, так и более доступных цифровых. На фоне рассмотренных преимуществ фотограмметрия применительно к изучению овражной эрозии имеет ряд недостатков, связанных с возникновением комплекса ошибок, которые в результате дальнейших обработок могут в некотором смысле искажать реальные изменения вершин. Так, ошибки, связанные с некорректной фокусировкой и неправильным положением фотокамеры, а также степени освещенности и погодных условий в целом, могут возникать при проведении непосредственной полевой съемки. При обработке полевых материалов возможно возникновение ошибок привязки изображений и ориентировании объектов снимка, причем ошибки могут быть как субъективные, так и касающиеся несовершенности автоматизированной обработки снимков.

Табл. 1

Достоинства и недостатки методов исследования регрессивного роста оврагов

Метод	Линейные измерения относительно фиксированных реперов	Топографо-геодезическая съемка	Лазерное сканирование и автоматизированная тахеометрическая съемка в безотражательном режиме	Фотограмметрические исследования
Возможность оценки линейного роста вершины оврага	✓	✓		✓
Возможность оценки роста оврага в объемных характеристиках		✓	✓	✓
Возможность сравнения замеров разных лет	✓	✓	✓	✓
Возможность оценки механизма эрозионной активности		✓	✓	✓
Возможность прогнозирования роста оврага	✓	✓		
Временные затраты и возникающие сложности при проведении полевых работ	При первичных измерениях – организация системы реперов. При последующих работах затраты времени минимальные	Необходима организация системы реперов и их фиксация на местности с высокоточной привязкой относительно друг друга. Непосредственно съемочные работы проводятся относительно быстро	Необходима организация системы реперов и их фиксация на местности с высокоточной привязкой относительно друг друга. Сама съемка занимает много времени, в зависимости от условий видимости, освещения, необходимой плотности съемочных точек и иных факторов	Для способа статической съемки необходимо заложение репера. Сам процесс съемки любым способом занимает мало времени
Временные затраты и возникающие сложности при обработке результатов полевых работ	Временные затраты минимальны, обработка результатов полевых работ простая	Обработка материалов сведена к построению топографического плана в специализированных ГИС и иных программных	Необходимо наличие специализированного программного обеспечения, а также умения работать с облаком точек и 3D-	Необходимо умение работать со снимками и их обработкой в специализированных программных

		обеспечениях, а также к анализу плановой изменчивости вершин при проведении повторных съемок	моделированием. Из рассматриваемых методов – временные затраты максимальные	обеспечениях
Дороговизна и сложность применяемого для работы оборудования и специализированного программного обеспечения	Используемое оборудование просто в применении и не дорогое в денежном эквиваленте	Для проведения полевых работ необходимы высокоточные достаточно дорогие электронные тахеометры, а также сопутствующее съемке геодезическое оборудование	Высокоточное автоматизированное сканирующее оборудование (лазерные сканеры и роботизированные тахеометры) очень дороги. При этом обработка полевого материала ведется в специализированных программных средствах, стоимость которых также не дешево	Для фотограмметрических работ возможно применение абсолютно любых фотокамер, однако для наибольшей точности и качества изображения предпочтительнее применение достаточно дорогих зеркальных фотоаппаратов. Специализированное программное обеспечение доступно
Точность получаемых результатов измерений	При проведении измерений действуют многочисленные субъективные факторы. Точность дециметровая	При правильном заложении системы реперов и правильной привязки съемочной станции, а также слаженной работе исследователей возможно добиться миллиметровой точности (величины точности в миллиметрах зависят от характеристик того или иного тахеометра)	При правильной работе с системой реперов и привязкой самого инструмента при проведении съемок возможно добиться миллиметровой точности. При этом точность будет зависеть от множества факторов, связанных как с природными условиями, так и с выбором местоположения съемочной станции и объекта съемок, а также с настройками съемочных параметров	При корректной привязке полученных снимков данный метод может позволить работать с сантиметровой точностью

Несомненно, рассматриваемые в настоящей работе полевые методы исследования регрессивного роста оврагов являются неединственными. Описанные выше способы оценки скорости овражной эрозии можно рассматривать лишь как основные и наиболее популярные, при этом они ни в коем случае не исключают применение иных, возможно более совершенных методов. В обобщённом виде достоинства и недостатки различных методов исследования представлены в табл. 1.

Заключение

Таким образом, можно сделать вывод, что на первичных этапах полевых работ, непосредственно после выбора исследуемых участков, целесообразно использовать метод линейных измерений рулеткой относительно фиксированных реперов (при этом подобные работы проводятся в течение всего периода наблюдения за оврагом) для того, чтобы в краткосрочной перспективе оценить степень активности овражных форм на различных участках. На следующих этапах для наиболее активных и интересных (по механизму и условиям формирования) оврагов необходимо проведение топографо-геодезических работ с фиксацией бровок, бортов, тальвегов оврагов и привязкой их к созданной системе реперов. Данные работы при повторных съемках позволяют более точно охарактеризовать темпы объёмного роста тех или иных вершин. Работы, связанные со сканированием и фотограмметрическими исследованиями, проводятся реже, так как они не применимы для оценки любых оврагов. Для проведения подобных работ необходимо аналитически подходить к выбору объекта съемки, иначе возможно возникновение многочисленных проблем и ошибок как при проведении полевых работах, так и на стадии камеральной обработки.

Благодарности. Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 15-17-20006).

Литература

1. *Зорина Е.Ф., Никольская И.И., Ковалев С.Н.* Методика определения интенсивности роста оврагов // Геоморфология. – 1993. – № 3. – С. 66–75.
2. *Дедков А.П., Рысин И.И., Чернышева Т.Н.* Овражная эрозия на пахотных землях Европы // Геоморфология. – 1993. – № 2. – С. 3–13.
3. *Гареев А.М., Назаров Н.Н., Рысин И.И.* Основные тенденции развития овражной эрозии в пределах Камского Предуралья // Эрозионные и русловые процессы: Сб. тр. / Под ред. Р.С. Чалова. – М.: Геогр. фак. МГУ, 2015. – Вып. 6. – С. 46–60.
4. *Григорьев И.И.* Пространственно-временной анализ скоростей роста техногенных оврагов на территории Удмуртии // Эрозия почв, овражная эрозия, русловые процессы: теоретические и прикладные вопросы. – М.: Геогр. фак. МГУ, 2011. – С. 90–99.
5. *Григорьев И.И., Рысин И.И.* Исследования техногенных и сельскохозяйственных оврагов в Удмуртии с применением ГИС-технологий // Вестн. Удм. ун-та. Сер. Биология. Науки о Земле. – 2008. – Вып. 1. – С. 49–58.
6. *Григорьев И.И., Рысин И.И.* Исследования техногенных и сельскохозяйственных оврагов в Удмуртии // Вестн. Удм. ун-та. Сер. Биология. Науки о Земле. – 2006. – Вып. 11. – С. 83–92.

7. *Рысин И.И., Григорьев И.И.* Модель прогнозирования скорости роста оврагов в Удмуртии // Вестн. Удм. ун-та. Сер. Биология. Науки о Земле. – 2013. – Вып. 3. – С. 106–114.
8. *Рысин И.И., Григорьев И.И.* Влияние гидрометеорологических факторов на рост оврагов в Удмуртии // Вестн. Удм. ун-та. Сер. Биология. Науки о Земле. – 2010. – Вып. 4. – С. 137–146.
9. *Рыжов Ю.В.* Овражные системы юга Восточной Сибири // Теоретические проблемы современной геоморфологии. Теория и практика изучения геоморфологических систем: Материалы XXXI Пленума Геоморфологической комиссии РАН (5–9 окт. 2011 г.). – Астрахань: Техноград, 2011. – С. 233–237.
10. *Дайковская Т.С.* Овраги и овражная эрозия на территории Новой Москвы // Эрозионные и русловые процессы и современные методы их исследования: Материалы X семинара молодых ученых вузов, объединяемых советом по проблеме эрозионных, русловых и устьевых процессов (Белгород, 22–25 апр. 2014 г.). – Белгород: ЛитКараВан, 2014. – С. 51–56.
11. *Ермолаев О.П.* Пояса эрозии в природно-антропогенных ландшафтах речных бассейнов. – Казань: Изд-во Казан. ун-та, 1992. – 148 с.
12. *Рысин И.И.* О современном тренде овражной эрозии в Удмуртии // Геоморфология. – 1998. – № 3. – С. 92–101.
13. Овражная эрозия востока Русской равнины. – Казань: Изд-во Казан. ун-та, 1990. – 144 с.
14. *Павлюк Я.В., Самофалова О.М.* Активность проявления линейной эрозии на территории речных бассейнов // Эрозионные и русловые процессы и современные методы их исследования: Материалы X семинара молодых ученых вузов, объединяемых советом по проблеме эрозионных, русловых и устьевых процессов (Белгород, 22–25 апр. 2014 г.). – Белгород: ЛитКараВан, 2014. – С. 135–141.
15. *Taruvinga K.* Gully Mapping using Remote Sensing: Case Study in KwaZulu-Natal, South Africa: MSc Thesis. – Waterloo, Ontario, Canada, 2008. – 121 p. – URL: https://uwspace.uwaterloo.ca/bitstream/handle/10012/4216/Kanyadzo_Taruvinga_Thesis.pdf?sequence=1/.
16. *Marzolff I., Poesen J., Ries J.B.* Short to medium-term gully development: Human activity and gully erosion variability in selected Spanish gully catchments // Landform Analysis. – 2011. – V. 17. – P. 111–116.
17. *Shruthi R.B.V., Kerle N., Jetten V.* Object-based gully feature extraction using high spatial resolution imagery // Geomorphology. – 2011. – V. 134, No 3–4. – P. 260–268. – doi: 10.1016/j.geomorph.2011.07.003.
18. *Зорина Е.Ф.* Овражная эрозия: закономерности и потенциал развития. – М.: ГЕОС, 2003. – 170 с.
19. *Григорьев И.И.* Использование программного комплекса «CREDO» для определения объемов и площадей оврагов // Вестн. Удм. ун-та. Сер. Биология. Науки о Земле. – 2009. – Вып. 2. – С. 141–145.
20. *Коротина Н.М.* Скорость роста оврагов в Ульяновском Поволжье // Геоморфология. – 1981. – № 4. – С. 78–83.
21. *Рыжов Ю.В.* Овражная эрозия в межгорных котловинах юго-западного Прибайкалья // Геоморфология. – 1998. – № 3. – С. 85–92.
22. *Сатдаров А.З.* Изучение интенсивности эрозионно-аккумулятивных процессов посредством повторных высокоточных топографических съемок (на примере р. Сумка) // Общие методические проблемы эрозио- и русловедения. Материалы 9-го семинара молодых ученых: Сб. ст. – М.: Планета, 2012. – С. 234–243.

23. *Гайнуллин И.И., Усманов Б.М., Хомяков П.В.* Оценка интенсивности береговых процессов как фактора разрушения памятников археологии (по материалам мониторинга состояния памятников археологии Республики Татарстан) // Экол. консалтинг. – 2001. – № 4. – С. 30–36.

24. *Вильданов Р.З., Усманов Б.М.* Переработка берега под действием Куйбышевского водохранилища: на участке наблюдения затон им. Куйбышева // Экол. консалтинг. – 2012. – № 1. – С. 8–13.

25. *Оленьков В.Д., Пронина А.А.* Технология лазерного сканирования в реставрации памятников архитектуры // Строительство и экология: теория, практика, инновации: Материалы I Междунар. науч.-практ. конф. – Челябинск: ПИРС, 2015. – С. 81–83.

26. *Макеечева И.В.* Наземное лазерное сканирование в горной промышленности // Маркшейдерский вестн. – 2007. – № 1. – С. 57–60.

27. *Крутиков Д., Барабанщикова Н.* Моделирует лазерный сканер // Промышленная безопасность. Геодезический контроль. – 2010. – № 3. – С. 70–71.

28. *Ворошилов А.П., Караченцев Ю.А.* Съемка трещин при наземном лазерном сканировании зданий и сооружений // Вестн. ЮУрГУ. Сер. «Строительство и архитектура». – 2011. – № 16. – С. 11–14.

29. *Traveletti J., Oppikofer T., Delacourt C., Malet J.-P., Jaboyedoff M.* Monitoring landslide displacements during a controlled rain experiment using a long-range terrestrial laser scanning (TLS) // The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences – Beijing, 2008. – V. XXXVII, Pt. B5. – P. 485–490.

30. *Ляпишев К.М., Погорелов А.В., Шуляков Д.Ю.* Исследование оползней с применением технологии наземного лазерного сканирования // Геодезия, картография и маркшейдерия: Всерос. науч. Интернет-конф. с междунар. участием, Казань, 5 июня, 2014 г.: Материалы конф. – 2014. – С. 26–32.

31. *Бурнашов Е.М.* Современная динамика морского побережья Калининградской области по данным ежегодных мониторинговых исследований // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В.И. Вернадского. – 2011. – № 2. – С. 10–17.

32. *Day S.S., Gran K.B., Belmont P., Wawrzyniec T.* Measuring bluff erosion part 1: terrestrial laser scanning methods for change detection // Earth Surface Processes and Landforms. – 2012. – V. 38, No 10. – P. 1055–1067. – doi: 10.1002/esp.3353.

33. *Dabek P., Zmuda R., Cmielewski B., Szczepanski J.* Analysis of water erosion processes using terrestrial laser scanning // Acta Geodyn. Geomater. – 2014. – V. 11, No 1. – P. 45–52. – doi: 10.13168/AGG.2013.0054.

34. *Ермолаев О.П., Усманов Б.М., Гафуров А.М.* Использование метода наземного лазерного сканирования для количественной оценки интенсивности склоновой эрозии // Двадцать девятое пленарное межвуз. координационное совещание по проблеме эрозионных, русловых и устьевых процессов / Науч. конф. УлГПУ «Трешниковские чтения – 2014» (г. Ульяновск, 22–24 окт. 2014 г.): Докл. и краткие сообщ. – Ульяновск: УлГПУ им. И.Н. Ульянова, 2014. – С. 84–85.

35. *Usmanov B., Yermolaev O., Gafurov A.* Estimates of slope erosion intensity utilizing terrestrial laser scanning // Proc. IAHS. – 2015. – V. 367. – P. 59–65. – doi: 10.5194/piahs-367-59-2015.

36. *Vinci A., Brigante R., Todisco F., Mannocchi F., Radicioni F.* Measuring rill erosion by laser scanning // Catena. – 2015. – V. 124. – P. 97–108. – doi: 10.1016/j.catena.2014.09.003.

37. *Romanescu G., Cotiuga V., Asandulesei A., Stoleriu C.* Use of the 3-D scanner in mapping and monitoring the dynamic degradation of soils: case study of the Cucuteni-Baiceni Gully on the Moldavian Plateau (Romania) // Hydrol. Earth Syst. Sci. – 2012. – V. 16, No 3. – P. 953–966. – doi: 10.5194/hess-16-953-2012.

38. *Romanescu G., Nicu C.I.* Risk maps for gully erosion processes affecting archaeological sites in Moldavia, Romania // Zeitschrift für Geomorphologie. – 2014. – V. 58, No 4. – P. 509–523. – doi: 10.1127/0372-8854/2014/0133.

39. *Джарроуш Д.* Цифровая камера как практический геодезический инструмент: проблемы и решения // САПР и ГИС автомобильных дорог. – 2014. – № 1. – С. 52–56.

40. *Frankl A., Stal C., Abraha A., Nyssen J., Rieke-Zapp D., De Wulf A., Poesen J.* Detailed recording of gully morphology in 3D through image based modeling // Catena. – 2015. – V. 127. – P. 92–101. – doi: 10.1016/j.catena.2014.12.016.

41. *Gómez-Gutiérrez Á, Schnabel S., Berenguer-Sempere F., Lavado-Contador F., Rubio-Delgado J.* Using 3D photo-reconstruction methods to estimate gully headcut erosion // Catena. – 2014. – V. 120. – P. 91–101. – doi: 10.1016/j.catena.2014.04.004.

Поступила в редакцию
10.03.16

Сатдаров Айдар Завдатович, инженер кафедры ландшафтной экологии

Казанский (Приволжский) федеральный университет
ул. Кремлевская, д. 18, г. Казань, 420008, Россия
E-mail: *aidar_16saz@mail.ru*

ISSN 1815-6169 (Print)
ISSN 2500-218X (Online)

UCHENYE ZAPISKI KAZANSKOGO UNIVERSITETA. SERIYA ESTESTVENNYE NAUKI

(Proceedings of Kazan University. Natural Sciences Series)

2016, vol. 158, no. 2, pp. 277–292

Methods for Research of the Regressive Growth in Gullies: Advantages and Disadvantages

A.Z. Satdarov

Kazan Federal University, Kazan, 420008 Russia
E-mail: *aidar_16saz@mail.ru*

Received March 10, 2016

Abstract

Comparative analysis of advantages and disadvantages of the field methods for studying the regressive growth rates and mechanisms of gullies tops has been performed. The traditional methods (linear measurements and tacheometry) have been considered along with the new ones (scanning and photogrammetric survey) which appeared recently and require the use of high-precision equipment and specialized software. The possibility of quantitative evaluation of the gully growth rates and ongoing mechanisms of gully erosion has been analyzed. The need for complex application of the considered methods has been revealed. The possibility of using a certain method with account of resource, time, and financial costs has been considered.

Keywords: gully, erosion, regressive growth, linear measurements, topographic and geodetic surveying, laser scanning, photogrammetry

Acknowledgments. This work was supported by the Russian Science Foundation (project no. 15-17-20006).

Figure captions

Fig. 1. Linear measurements at the gully top.

Fig. 2. Map of the gully designed with the use of tacheometry.

References

1. Zorina E.F., Nikol'skaya I.I., Kovalev S.N. Methods of determining the intensity of gully growth. *Geomorfologiya*, 1993, no. 3, pp. 66–75. (In Russian)
2. Dedkov A.P., Rysin I.I., Chernysheva T.N. Gully erosion on arable lands in Europe. *Geomorfologiya*, 1993, no. 2, pp. 3–13. (In Russian)
3. Gareev A.M., Nazarov N.N., Rysin I.I. Basic tendencies of gully erosion development within the Kama Urals. *Erozionnye i ruslovye protsessy* [Erosion and Channel Processes]. Vol. 6. Chalov R.S. (Ed.). Moscow, Geogr. Fak. Mosk. Gos. Univ., 2015, pp. 46–60. (In Russian)
4. Grigor'ev I.I. Spatio-temporal analysis of the growth rates of technological gullies in the territory of Udmurtia. *Eroziya pochv, ovrazhnaya eroziya, ruslovye protsessy: teoreticheskie i prikladnye voprosy* [Soil Erosion, Gully Erosion, Channel Processes: Theoretical and Practical Issues]. Moscow, Geogr. Fak. Mosk. Gos. Univ., 2011, pp. 90–99. (In Russian)
5. Grigor'ev I.I., Rysin I.I. Research of technological and agricultural gullies in Udmurtia with the use of GIS technologies. *Vestn. Udmurt. Univ. Ser. Biol. Nauki Zemle*, 2008, no. 1, pp. 49–58. (In Russian)
6. Grigor'ev I.I., Rysin I.I. Research of technological and agricultural gullies in Udmurtia. *Vestn. Udmurt. Univ. Ser. Biol. Nauki Zemle*, 2006, no. 11, pp. 83–92. (In Russian)
7. Rysin I.I., Grigor'ev I.I. Forecasting model of gully growth in Udmurtia. *Vestn. Udmurt. Univ. Ser. Biol. Nauki Zemle*, 2013, no. 3, pp. 106–114. (In Russian)
8. Rysin I.I., Grigor'ev I.I. Influence of meteorological factors on the gullies growth in Udmurtia. *Vestn. Udmurt. Univ. Ser. Biol. Nauki Zemle*, 2010, no. 4, pp. 137–146. (In Russian)
9. Ryzhov Yu.V. Gully systems in the south of Eastern Siberia. *Teoriya i praktika izucheniya geomorfologicheskikh sistem: Materialy XXXI Plenuma Geomorfologicheskoi komissii RAN (5–9 okt. 2011 g.)* [Proc. XXXI Plenum of the Geomorphological Commission of the Russian Academy of Sciences (October 5–9, 2011): Theoretical Problems of Modern Geomorphology. Theory and Practice of Studying Geomorphological Systems]. Astrakhan, Technograd, 2011, pp. 233–237. (In Russian)
10. Daikovskaya T.S. Gullies and gully erosion in the territory of New Moscow. *Erozionnye i ruslovye protsessy i sovremennye metody ikh issledovaniya: Materialy X seminara molodykh uchenykh vuzov, ob"edinyaemykh sovetom po probleme erozionnykh, ruslovykh i ust'evykh protsessov (Belgorod, 22–25 apr. 2014 g.)* [Proc. X Semin. of Young Scientists in Universities United by the Council on the Problems of Erosion, Channel, and Estuarine Processes: Erosion and Channel Processes and Modern Methods of Their Research (Belgorod, April 22–25, 2014)]. Belgorod: LitKaraVan, 2014, pp. 51–56. (In Russian)
11. Ermolaev O.P. Erosion Belts in Natural and Anthropogenic Landscapes of River Basins. Kazan, Izd. Kazan. Univ., 1992. 148 p. (In Russian)
12. Rysin I.I. On the modern trend of gully erosion in Udmurtia. *Geomorfologiya*, 1998, no. 3, pp. 92–101. (In Russian)
13. Gully Erosion in the East of the Russian Plain. Kazan, Izd. Kazan. Univ., 1990, 144 p. (In Russian)
14. Pavlyuk Ya.V., Samofalova O.M. Active displays of linear erosion in the territory of river basins. *Erozionnye i ruslovye protsessy i sovremennye metody ikh issledovaniya: Materialy X seminara molodykh uchenykh vuzov, ob"edinyaemykh sovetom po probleme erozionnykh, ruslovykh i ust'evykh protsessov (Belgorod, 22–25 apr. 2014 g.)* [Proc. X Semin. of Young Scientists in Universities United by the Council on the Problems of Erosion, Channel, and Estuarine Processes: Erosion and Channel Processes and Modern Methods of Their Research (Belgorod, April 22–25, 2014)]. Belgorod: LitKaraVan, 2014, pp.135–141. (In Russian)
15. Taruvinga K. Gully mapping using remote sensing: case study in KwaZulu-Natal, South Africa. *Master Environ. Sci. Thesis*. Waterloo, Ontario, Canada, 2008. 121 p. URL: https://uwspace.uwaterloo.ca/bitstream/handle/10012/4216/Kanyadzo_Taruvinga_Thesis.pdf?sequence=1/.
16. Marzolff I., Poesen J., Ries J.B. Short to medium-term gully development: human activity and gully erosion variability in selected Spanish gully catchments. *Landform Anal.*, 2011, vol. 17, pp. 111–116.
17. Shruthi R.B.V., Kerle N., Jetten V. Object-based gully feature extraction using high spatial resolution imagery. *Geomorphology*, 2011, vol. 134, nos. 3–4, pp. 260–268. doi: 10.1016/j.geomorph.2011.07.003.
18. Zorina E.F. Gully Erosion: Patterns and Potential of Development. Moscow, GEOS, 2003. 170 p. (In Russian)

19. Grigor'ev I.I. Using "CREDO" software system for determining the volume and area of gullies. *Vestn. Udmurt. Univ. Ser. Biol. Nauki Zemle*, 2009, no. 2, pp. 141–145. (In Russian)

20. Korotina N.M. The rate of gullies growth in Ulyanovsk Volga region. *Geomorfologiya*, 1981, no. 4, pp. 78–83. (In Russian)

21. Ryzhov Yu.V. Gully erosion in the intermountain basins of the southwestern Baikal region. *Geomorfologiya*, 1998, no. 3, pp. 85–92. (In Russian)

22. Satdarov A.Z. Studying the intensity of erosion-accumulative processes through repeated high-precision topographic surveys (for example, in the Sumka River). *Obshchie metodicheskie problemy erozio- i ruslovedeniya. Materialy 9-go seminara molodykh uchenykh: Sb. st*. [Proc. 9th Semin. of Young Scientists: General Methodological Problems of Erosion and Riverbed Studying], Moscow, Planeta, 2012, pp. 234–243. (In Russian)

23. Gainullin I.I., Usmanov B.M., Homyakov P.V. Evaluation of the intensity of coastal processes as a factor of the destruction of archaeological sites (based on the monitoring of the state of archaeological sites in the Republic of Tatarstan). *Ekol. Konsult.*, 2001, no. 4, pp. 30–36. (In Russian)

24. Vil'danov R.Z., Usmanov B.M. Processing of the coast under the influence of the Kuibyshev Reservoir: at the observation site of the Kuibyshev Backwater. *Ekol. Konsult.*, 2012, no. 1, pp. 8–13. (In Russian)

25. Olen'kov V.D., Pronina A.A. The technology of laser scanning in the restoration of architectural sites. *Stroitel'stvo i ekologiya: teoriya, praktika, innovatsii: Materialy I Mezhdunar. nauch.-prakt. konf.* [Proc. I Int. Sci. Pract. Conf.: Construction and Ecology: Theory, Practice, and Innovation]. Chelyabinsk: PIRS, 2015, pp. 81–83. (In Russian)

26. Makeecheva I.V. Terrestrial laser scanning in the mining industry. *Marksheiderskii Vestn.*, 2007, no. 1, pp. 57–60. (In Russian)

27. Krutikov D., Barabanshchikova N. Laser scanner models. *Prom. Bezop. Geod. Kontrol'*, 2010, no. 3, pp. 70–71. (In Russian)

28. Voroshilov A.P., Karachentsev Ju.A. Surveying the cracks at surface laser scanning of buildings and constructions. *Vestn. Yuzhn.-Ural. Gos. Univ. Ser. "Stroit. Arkhit."*, 2011, no. 16, pp. 11–14. (In Russian)

29. Traveletti J., Oppikofer T., Delacourt C., Malet J.-P., Jaboyedoff M. Monitoring landslide displacements during a controlled rain experiment using a long-range terrestrial laser scanning (TLS). *Int. Arch. Photogramm., Remote Sens. Spat. Inf. Sci.*, Beijing, 2008, vol. XXXVII. pt. B5, pp. 485–490.

30. Lyapishev K.M., Pogorelov A.V., Shulyakov D.Yu. The study of landslides using terrestrial laser scanning technology. *Geodeziya, kartografiya i marksheideriya: Vseros. nauch. Internet-konf. s mezhdunar. uchastiem, Kazan', 5 iyunya, 2014 g.: Materialy konf.* [Proc. All-Russian Internet Conf. with Int. Participation: Geodesy, Cartography, and Mine Surveying. Kazan, June 5, 2014]. 2014, pp. 26–32. (In Russian)

31. Burnashov E.M. Current dynamics of Kaliningrad region seacoast according to annual monitoring studies. *Vopr. Sovrem. Nauki Prakt. Univ. im. V.I. Vernadskogo*, 2011, no. 2, pp. 10–17. (In Russian)

32. Day S.S., Gran K.B., Belmont P., Wawrzyniec T. Measuring bluff erosion part 1: terrestrial laser scanning methods for change detection. *Earth Surf. Processes Landforms*, 2012, vol. 38, no. 10, pp. 1055–1067. doi 10.1002/esp.3353, 13 p.

33. Dabek P., Zmuda R., Cmielewski B., Szczepanski J. Analysis of water erosion processes using terrestrial laser scanning. *Acta Geodyn. Geomater.*, 2014, vol. 11, no. 1, pp. 45–52.

34. Ermolaev O.P., Usmanov B.M., Gafurov A.M. The use of terrestrial laser scanning to quantify slope erosion intensity. *Dvadtsat' devyatoe plenarnoe mezhvuz. koordinatsionnoe soveshchanie po probleme erozionnykh, ruslovykh i ust'evykh protsessov* [29th Plenary Interuniv. Coordination Meeting on the Problem of Erosion, Channel, and Estuarine Processes]. *Nauch. konf. UlGPU "Treshnikovskie chteniya – 2014" (g. Ul'yanovsk, 22–24 okt. 2014 g.): Dokl. i kratkie soobshch.* [Sci. Conf. UlSPU "Treshnikov. Lectures" – 2014 (Ulyanovsk, October 22–24, 2014): Rep. Brief Commun.], Ulyanovsk, Ul'yanovsk. Gos. Pedagog. Univ. im. I. N. Ul'yanova, 2014, pp. 84–85. (In Russian)

35. Usmanov B., Yermolaev O., Gafurov A. Estimates of slope erosion intensity utilizing terrestrial laser scanning. *Proc. Int. Assoc. Hydrol. Sci.*, 2015, vol. 367, pp. 59–65. doi:10.5194/piahs-367-59-2015.

36. Vinci A., Brigante R., Todisco F., F. Mannocchi, F. Radicioni Measuring rill erosion by laser scanning. *Catena*, 2015, vol. 124, pp. 97–108. doi: 10.1016/j.catena.2014.09.003.

37. Romanescu G., Cotiuga V., Asandulesei A., Stoleriu C. Use of the 3-D scanner in mapping and monitoring the dynamic degradation of soils: case study of the Cucuteni-Baiceni Gully on the Moldavian Plateau (Romania). *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 2012, vol. 16, no. 3, pp. 953–966. doi: 10.5194/hess-16-953-2012.

38. Romanescu G., Nicu C.I. Risk maps for gully erosion processes affecting archaeological sites in Moldavia, Romania. *Z. Geomorphol.*, 2014, vol. 58, no. 4, pp. 509–523. doi: 10.1127/0372-8854/2014/0133.

39. Dzharroush D. Digital camera as a practical survey instrument: problems and solutions. *SAPR GIS Avtomob. Dorog*, 2014, no. 1, pp. 52–56. (In Russian)

40. Frankl A., Stal C., Abraha A., Nyssen J., Rieke-Zapp D., De Wulf A., Poesen J. Detailed recording of gully morphology in 3D through image based modeling. *Catena*, 2015, vol. 127, pp. 92–101. doi: 10.1016/j.catena.2014.12.016.

41. Gómez-Gutiérrez Á, Schnabel S., Berenguer-Sempere F., Lavado-Contador F., Rubio-Delgado J. Using 3D photo-reconstruction methods to estimate gully headcut erosion. *Catena*, 2014, vol. 120, pp. 91–101. doi: 10.1016/j.catena.2014.04.004.

***Для цитирования*:** *Сатдаров А.З.* Методы исследования регрессивного роста оврагов: достоинства и недостатки // Учен. зап. Казан. ун-та. Сер. Естеств. науки. – 2016. – Т. 158, кн. 2. – С. 277–292.

***For citation*:** Satdarov A.Z. Methods for research of the regressive growth in gullies: advantages and disadvantages. *Uchenye Zapiski Kazanskogo Universiteta. Seriya Estestvennye Nauki*, 2016, vol. 158, no. 2, pp. 277–292. (In Russian)