

УДК 551.4

**МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К МОНИТОРИНГУ
ПРОЦЕССОВ ЭРОЗИИ НА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ
ЗЕМЛЯХ ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ С ПОМОЩЬЮ
МАТЕРИАЛОВ КОСМИЧЕСКИХ СЪЕМОК**

О.П. Ермолаев, Р.А. Медведева, Е.В. Платончева

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

Аннотация

Эрозия является ведущим процессом деградации почвенного покрова на сельскохозяйственных землях. В спектре эрозионных процессов самыми неблагоприятными являются процессы линейной (струйчатой и овражной) эрозии. Оценка динамики линейной эрозии в зоне интенсивного земледелия Европейской части России актуальна в связи с отсутствием обобщенных данных о развитии данного типа эрозии за постсоветский период. Развитие информационных технологий и появление космических снимков высокого и сверхвысокого разрешения позволяют успешно решить задачи по анализу современного овражного расчленения, динамики оврагов, а также по идентификации поясов струйчатой эрозии на пахотных землях. В статье основное внимание уделено методическим аспектам использования космических снимков для оценки современной динамики овражной и струйчатой эрозии. Оценка овражного расчленения проведена путем определения показателей густоты и плотности оврагов, а также площадной и линейной динамики овражной сети. Для пяти ключевых бассейнов составлены карты густоты овражной сети и карты плотности оврагов. Разработана методика геоинформационного картографирования динамики пояса струйчатой эрозии и предложена система показателей, количественно характеризующих ее развитие на пахотных склонах.

Ключевые слова: эрозия, космические снимки, ГИС, овраги, струйчатая эрозия, динамика

Введение

Задача по полному обеспечению населения Российской Федерации собственной продукцией сельского хозяйства является актуальной, в том числе и на государственном уровне. В этой связи ключевым фактором решения поставленной задачи является эффективное и рациональное использование почвы как ресурса, предотвращение ее деградации. Между тем основной причиной современной деградации почвенного покрова, снижения ее плодородия на сельскохозяйственных землях является комплекс эрозионных процессов. На освоенных землях имеет место особая природно-антропогенная эрозия, которой присущи в первую очередь аномально высокие темпы смыва и размыва почв, а также особая форма пространственной организации почвенной структуры в пределах полевых водосборов.

В настоящее время нет значительных обобщений по эрозионным процессам, наблюдающимся на территории Российской Федерации. По сути, сплошное

крупномасштабное почвенно-эрозионное картографирование территории СССР было завершено в 70-х годах XX в. и с этого времени больше не проводилось. В то же время постсоветский период сопровождался сменой парадигмы в ведении и экономики сельского хозяйства, существенной динамикой самого землепользования. Кроме того, нет обобщений для различных ландшафтных зон Европейской части России (ЕЧР) по динамике почвенной и овражной эрозий, происходящих на фоне серьезных климатических изменений, наблюдающихся с начала 80-х годов прошлого века. Еще один важный аспект, определяющий актуальность поставленной проблемы, состоит в том, что за последние годы благодаря технологической революции: развитию информационных технологий, появлению космических снимков высокого и сверхвысокого разрешения, совершенствованию высокоточного и производительного геодезического оборудования - качественно претерпели изменения сами методы оценки интенсивности эрозии в различных ее звеньях (микроручейковой, овражной), позволяющие на принципиально новом уровне вести наблюдения за процессами эрозии на пашне. В этой связи решение задач по оценке динамики и интенсивности эрозионных процессов в зоне интенсивного земледелия ЕЧР для различных условий землепользования, безусловно, является актуальной.

Большинство карт овражности для территории бывшего СССР составлено по крупномасштабным топографическим картам. Однако сопоставление полученных ранее результатов с натурными наблюдениями и материалами дешифрирования аэрофотоснимков показало, что топографические карты далеко не в полной мере отражают пространственную картину развития оврагов. Это связано с генерализацией картографического изображения. Как показало сопоставление измерений протяженности овражной сети, выполненных по аэрофотоснимкам и крупномасштабным картам для разных территорий, параметры овражности могут отличаться от данных, полученных по крупномасштабным картам от 50–60% до 200–300% [1]. По отдельным регионам ЕЧР аэрофотоснимки ранее уже использовались для количественной оценки овражной сети [2, 3]. Сопоставление протяженности овражной сети по аэрофотоснимкам залета разных лет и ее сравнение с материалами полевых исследований позволяют сделать выводы о динамике изучаемого процесса. В сочетании с аэрофотоснимками для получения информации о развитии эрозии на сельскохозяйственных землях использовались также космические снимки Landsat или ASTER с разрешением 30 и 15 м соответственно [4, 5]. Но такое разрешение слишком мало, чтобы давать объективные данные по динамике овражной эрозии, вследствие небольшой длины и площади многих овражных форм [6].

С появлением в начале XXI века в открытом доступе космических снимков сверхвысокого разрешения (1.65–0.4 м) у исследователей появилась возможность картографирования и мониторинга овражной эрозии. Одновременно с развитием геоинформационных технологий анализа рельефа формируется направление полуавтоматизированной идентификации линейных эрозионных форм с использованием космических снимков, позволяющее надежно дешифрировать эти формы и существенно сократить трудоемкость работ. При дешифрировании оврагов и промоинной сети используется объектно-ориентированный анализ снимков, методы пиксельной идентификации и самоорганизующихся нейронных

сетей [6, 8]. При этом необходима верификация результатов такого анализа на основе полевых исследований с привлечением аэрофотоснимков. Кроме того, необходимо создание и региональных дешифровочных эталонов в связи со значительной вариабельностью плановых форм оврагов, сложностью идентификации стареющих оврагов в гумидных ландшафтах [9] из-за растительности и густой речной и балочной сети.

В настоящей статье основное внимание уделено методическим подходам по идентификации процессов современной линейной эрозии (овражной и промоинной) и ее пространственно-временной динамики на пахотных землях на юге лесной, лесостепной и степной зонах ЕЧР с помощью материалов космических съемок.

Базовым методом исследования являлась визуальная идентификация линейной эрозии (оврагов и струйчатых размывов) путем визуального анализа экранного изображения космических снимков высокого разрешения с проверкой результатов в полевых условиях на выбранных ключевых участках.

1. Методы

1.1. Методика анализа современного овражного расчленения. Использование снимков, распространяемых на бесплатной основе в цифровом виде и за разные временные интервалы, позволяет определить различные показатели заовраженности: густоту овражной сети ($\text{км}/\text{км}^2$), плотность оврагов ($\text{ед.}/\text{км}^2$), площадную и линейную динамику овражной сети.

Наиболее информативными в изучении овражной эрозии являются осенние и весенние снимки. На зимних снимках хорошо прослеживаются тальвеги оврагов, но на них сложно выделить бровку, а также возникают трудности в определении стадии развития оврага. Стадии развития овражных форм хорошо прослеживаются на летних снимках, но к их недостаткам можно отнести то, что под густой растительностью сложно дешифрируются донные овраги. Условием повышения качества результатов дешифрирования служит наличие нескольких снимков, полученных в разные сезоны года.

Высокие требования предъявляются к качеству съемочных материалов, а именно к их разрешению. Установлено, что для надежного дешифрирования овражных форм могут быть использованы космические снимки, синтезированные в естественных цветах с разрешением 0.5–1.5 м, которые относятся к снимкам высокого и сверхвысокого разрешения: на них выявляются овраги всех типов и стадий развития. В программе SAS.Планета имеются снимки требуемого качества, они предоставлены разными коммерческими ресурсами, такими как Google, Яндекс, Bing, ESRI. Космические снимки получены со спутников WorldView-2, WorldView-3 и GeoEye-1.

Для получения данных о современной заовраженности территории использовались доступные космические снимки 2009–2015 гг. При определении овражных форм по космоснимкам важным этапом является формирование системы дешифровочных признаков.

К дешифровочным признакам оврагов относятся характерная плановая форма с резкими, геометрически хорошо выраженными границами; наличие четкой бровки и четкой линии тальвега; контрастный фототон на разных бортах оврага,

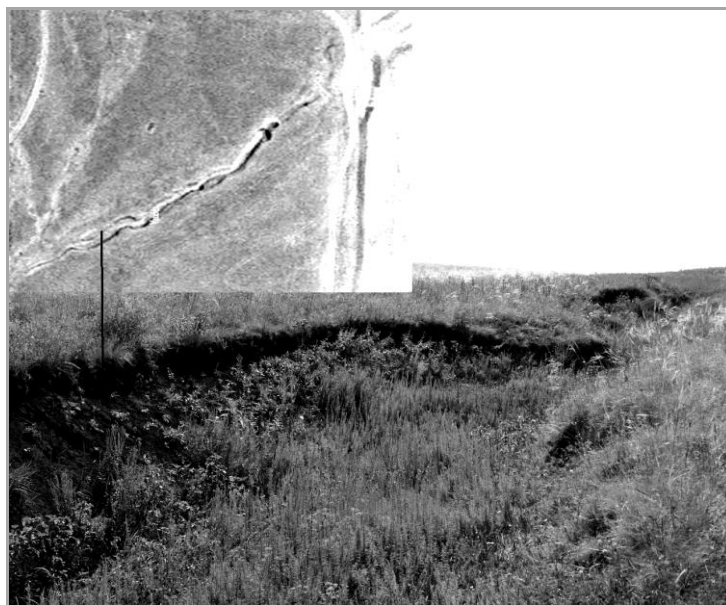


Рис. 1. Узкий овраг

который свидетельствует о V-образном профиле оврага, и чем контрастнее он на снимке, тем больше глубина вреза оврага; наличие отдельных более светлых участков на склонах оврага, соответствующих обнаженным (незадернованным) участкам.

При дешифрировании выделяются овраги разных типов: а) склоновые; б) донные; в) береговые. При этом очень важно отличать их от других линейных форм. Так, промоина отличается от оврага незначительной глубиной, которая не превышает 1.5 м, и шириной менее 3 м. С ростом в длину происходит и углубление промоины, которая переходит в следующую стадию развития (овраг). На рис. 1 можно увидеть, как овражная форма из стадии промоины перешла в стадию оврага (на участках с шириной более 3 м).

Склоны оврага являются «осыпными» и в основном формируются в результате обвалов и осыпания стенок [10]. На склонах же балки наблюдается вполне сформированный, характерный для территории исследования почвенный покров (рис. 2). Дно балки обычно имеет трапециевидную форму. На космоснимке для балки обычно характерны размытые границы бровки и отсутствие четкой линии тальвега.

При дешифрировании оврагов (рис. 3) и последующей верификации данных на местности были выявлены следующие признаки дешифрирования.

1. Хорошо выраженная вершина, определенная по космическому снимку, на местности соответствует активному эрозионному врезу оврага. Изгиб привершинной части свидетельствует о наличии двух вершин либо о зарождающемся отвершке.

2. Слабо задернованная верхняя часть бортов со следами срыва дерна и его нависания на космоснимке формирует четко выраженную бровку.

3. Основной признак устьевой части – резкое уменьшение ширины оврага, либо начало размытости границ бровки.

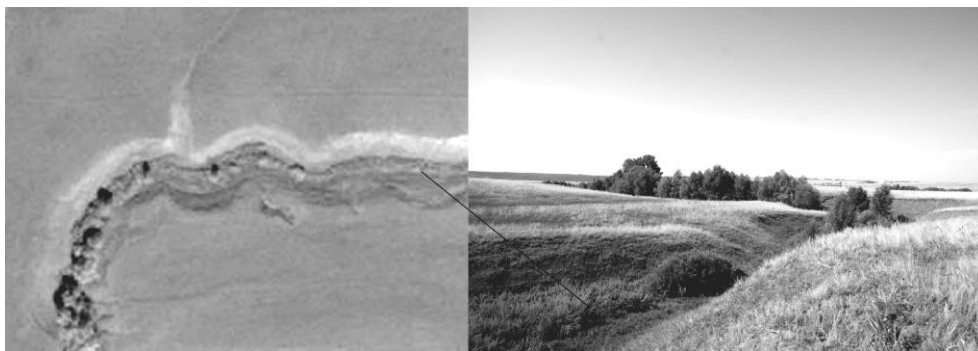


Рис. 2. Балка на космоснимке и на местности



Рис. 3. Овраги на космоснимке и на местности

Разработанный отечественный ресурс SAS.Планета дает возможность подобрать для конкретной территории наиболее качественные снимки за требуемые интервалы времени, оцифровать все овражные формы и создать векторизованный слой овражной сети. Этот базовый слой оврагов затем может быть обработан в любой ГИС. Данный методический подход использовался нами для изучения овражной эрозии на территории Республики Татарстан, Оренбургской, Воронежской и Саратовской областей. Для удобства картографирования вся исследуемая территория была разделена на так называемые элементарные бассейны (по водотокам первого порядка) [11]. Для каждого элементарного бассейна высчитывались суммарная протяженность овражной сети, густота овражной сети и плотность оврагов. Данный метод позволяет получить результаты высокой точности, так как снимки представлены в цифровом виде и для дешифрирования не требуется производить геометрическое преобразование, поскольку создание векторизованного слоя ведется в программе SAS.Планета.

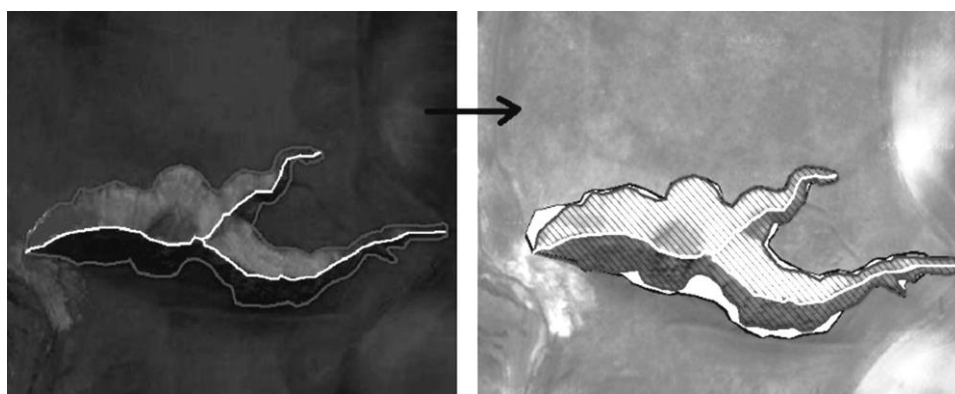


Рис. 4. Оцифровка бровки и тальвега оврага и наложение схем дешифрирования оврага (слева – 2009 г, справа – 2015 г.)

1.2. Методика определения динамики развития оврагов. Для определения динамики развития оврагов применялось совместное дешифрирование, которое предполагает совмещение двух или нескольких разновременных снимков. Для начала работы необходимо предварительное геометрическое преобразование сопоставляемых космических снимков, приведение их к общему масштабу и проекции. Работа со снимками осуществляется в ГИС MapInfo. В ГИС MapInfo необходимо загрузить карту-источник. Картой-источником является снимок, загруженный из программы SAS.Планета. Это изображение используется как основа для привязки другого снимка (растра). В программе SAS.Планета выбирается исследуемый участок территории, для него указывается проекция, выбирается формат tab для привязки и указывается место сохранения растра. Для регистрации загружается растр, который необходимо закоординировать. Для задания системы координат карты-приёмника выбирается проекция, аналогичная той, что у карты-источника (в нашем случае это UTM – проекция Меркатора (WGS-84); UTM зона 39, Северное полушарие). Ключевым для определения динамики овражных форм, безусловно, является точность привязки. Для привязки исходного изображения на карте-источнике выбираются характерные опорные («реперные») точки (развилки дорог, одиночные деревья, геометрически хорошо выраженные контуры леса и пр.) и извлекаются координаты. В окошке координат появляются снятые значения пары X/Y. После этого добавляются ещё несколько характерных точек для осуществления более точной привязки. Следует обратить внимание на то, что ошибка регистрации не должна превышать единицы (или одного пикселя), что является удовлетворительным результатом.

В программе MapInfo осуществляется привязка двух растров одинаковых масштаба и положения (для увеличения точности, исключения «натягивания» растра на новую привязку). После регистрации растров оцифровываются бровка и тальвег для каждого исследуемого оврага. Далее производится наложение схем дешифрирования и вычисляются площадной и линейный приросты эрозионной формы (рис. 4).

На основе полученных данных создается геопространственная база данных. По каждой овражной форме она включает такие показатели, как географическую

привязку, период наблюдений, линейный и площадной прирост, тип оврагов, экспозицию, тип землепользования на водосборе и др. Оценивается также доля оврагов, прекративших свой рост с полностью зафиксированными растительностью бортами и вершинного уступа.

Возможной причиной появления ложных изменений являются неизбежные погрешности в положении границ объектов дешифрирования на разновременных изображениях. Идеальное наложение пикселей по всей сопоставляемой площади снимков обеспечить нельзя. Погрешность совмещения минимальна, если снимки получены одной и той же или аналогичной съемочной системой, а при взаимном координировании в качестве опорных используются идентичные точки. Точность положения контуров тогда зависит от размера пикселя и точности определения пространственных координат опорных точек. Выявление фиктивных изменений, выражающихся чаще в изменении площади объектов, при непосредственном сопоставлении растровых изображений затруднительно или даже невозможно [12].

Для исключения ошибок дешифрирования для ключевых участков производится полевая верификация данных. Преимущество полевого дешифрирования – это высокая степень достоверности получаемых результатов, которые применяются для корректировки векторизованного слоя овражной сети и пересчета показателей овражной эрозии.

1.3. Методика идентификации поясов эрозии на пахотных землях. Поскольку основные потери почвы на пашне происходят в результате микроручейковой и линейной эрозии, появляется возможность оценки произошедших изменений в структуре эрозии, наблюдающихся в этих звеньях склонового эрозионного процесса. Сделать это можно, на наш взгляд, используя результаты идентификации так называемых «поясов эрозии» на склонах водосборов [13, 14]. Концептуально сущность решения данной задачи заключается в том, что в условиях высокой распаханности склонов речных бассейнов возникающие на них в ходе поверхностного стока формы флювиального рельефа фиксируют все происходящие изменения поверхностного стока. Выявление этих качественных изменений позволяет установить особый тип пространственной организации флювиальных форм, представленный так называемыми «поясами эрозии» [15]. Каждый пояс эрозии обладает присущим только ему набором типических признаков, главными из которых является характерный набор форм эрозионного рельефа. Анализ структуры эрозии на распаханых склонах речных бассейнов позволяет установить спектр процессов, включающий следующие эрозионные пояса: 1) капельно-дождевой деструкции; 2) микроручейковой; 3) струйчатой; 4) овражной; 5) преобладающей аккумуляции; 6) ареалы отсутствия эрозии. При этом на пояс микроручейковой и струйчатой эрозии приходится до 80–90% всей поверхности распаханых склонов. Особенно хорошо по космическим снимкам выделяется пояс струйчатой эрозии, где наблюдаются максимальные потери почвы. В этой связи нами проведено изучение возможности определения пространственной динамики пояса струйчатых размывов на пашне. В качестве основного метода использовалось картографирование пояса струйчатой эрозии по материалам космических съемок и ГИС-технологии их обработки. Участки

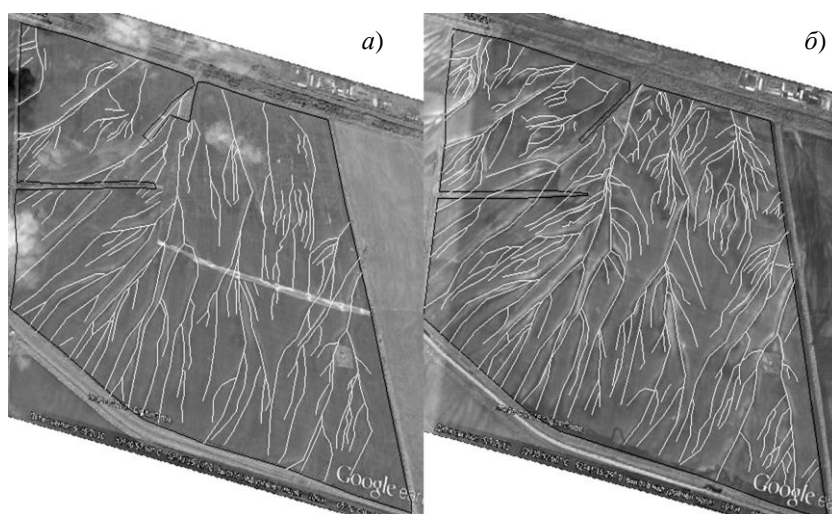


Рис. 5. Структура промоинной сети в поясе струйчатой эрозии по материалам дешифрирования космических снимков (с. Тоцкое в междуречье рек Самара и Сорока): а) 2010 г; б) 2013 г.

для исследования подбирались по нескольким критериям: 1) время съемки за наблюдаемые периоды должно быть примерно одинаковым; 2) участки должны быть полностью распахан, без какого-либо проективного покрытия агроценозами; 3) качество снимков (отсутствие облачности и пр.) должно быть хорошим; 4) снимки на участки должны быть в открытом доступе и иметь высокое и сверхвысокое разрешение; 5) для дешифрирования отбираются междуречные распаханые пространства с морфологически хорошо выраженной сетью промоин.

В процессе работы нами установлено, что идентификация пояса струйчатой эрозии наиболее надежно проводится по поздневесенним, осенним и раннелетним снимкам. В другие сезоны дешифрирование линейных форм эрозии на полях идет с большими ошибками за счет их нивелирования культурной растительностью. Исходные для оценки динамики поясов эрозии ресурсы космических снимков, а также методика их обработки аналогичны методике определения динамики оврагов, рассмотренной выше. С помощью программы Easy Trace были трассированы все формы струйчатой эрозии и границы пашни.

Промоины на снимках хорошо идентифицируются по характерному для них линейному рисунку изображения. В отличие от оврагов они изображаются в виде тонких, чаще всего, темных полос и линий по склонам. Промоины изображаются извилистыми линиями, часто имеющими в плане дендритообразный рисунок с большой вариабельностью фототона (цвета) от почти белого до почти черного. Дешифрировались все визуально определяемые на снимке линейные формы (рис. 5).

Площадные, линейно вытянутые контура в вершинах струйчатых размывов на приводораздельных пространствах, имеющих древовидный рисунок, не относились к промоинной сети, поскольку эти участки формируются сетью ручейковых размывов, пространственно сильно меняющих свое плановое заложение от событий поверхностного стока и типа обработки пашни.

После дешифровки полученные векторные слои рисунков струйчатых размывов за разные периоды экспортировались, и в программе MapInfo подсчитывалась площадь участка пашни, суммарная длина промоинной сети, количество вершин струйчатых размывов, их густота и плотность. Показатель плотности определялся как количество вершин промоин на 1 км^2 площади пашни. В полевых условиях в ключевых бассейнах р. Меша (Республика Татарстан), р. Ведуга (Воронежская обл.) и р. Погромка (Оренбургская обл.) проведены проверка результатов дешифрирования и эталонирование. После этого схемы дешифрирования перепроверялись (не менее двумя дешифровщиками) и окончательно подсчитывались все количественные показатели промоинной сети.

2. Результаты

На основе космических снимков выполнено дешифрирование для ключевых бассейнов в пределах Республики Татарстан (р. Меша, р. Улема), Оренбургской области (р. Самара), Воронежской области (р. Девица 1, р. Девица 2, р. Ведуга) и Саратовской области (р. Медведица). В результате работы по всем ключевым бассейнам были составлены карты густоты овражной сети и карты плотности оврагов. Самые высокие средние значения густоты оврагов наблюдаются для бассейнов р. Улема (0.09 км/км^2) и р. Меша (0.04 км/км^2), а самое низкое – в бассейне р. Медведица (0.01 км/км^2). Средние значения плотности оврагов соответствуют распределению бассейнов по густоте оврагов, изменяясь от 0.1 до 1.4 ед./км^2 . Преобладающий тип оврагов во всех исследуемых бассейнах – склоновый. Максимальное значение суммарной протяженности овражной сети соответствует бассейну р. Меша (191.1 км), минимальное – бассейну р. Девица 2 (14.25 км). Для минимизации возникающих ошибок дешифрирования произведена полевая верификация данных в пределах бассейна р. Меша, а также на ключевых участках Оренбургской и Воронежской областей.

Для определения параметров, характеризующих динамику единичных оврагов, применялось совместное дешифрирование, которое предполагает совмещение двух или нескольких одновременных снимков. На основе полученных данных была создана геопространственная база данных по 230 оврагам, включающая следующие показатели: географическая привязка, период наблюдений, тип оврага, линейный и площадной приросты в метрах и в процентном отношении к первоначальной длине и площади, средняя ширина, экспозиция склона, на котором заложен овраг, и тип землепользования на водосборе. Почти половина оврагов имеет либо нулевой, либо очень незначительный (до 10 м^2) площадной прирост. В линейном приросте высокие значения (3–11 м) характерны только для 4.3% выборки, а для 60% оврагов имеют нулевой прирост. Средние значения линейного прироста оврагов по всей выборке уменьшаются от 0.83 м/год в возвышенных лесостепных ландшафтах, до 0.56 м/год в возвышенных ландшафтах смешанных лесов и 0.42 м/год в ландшафтах смешанных и таежных лесов.

В ходе исследований по определению динамики пояса струйчатых размывов разработана система дешифровочных признаков (региональных эталонов) определения струйчатых размывов, а также проведена полевая верификация

Табл. 1

Динамика пояса струйчатой эрозии

Показатели	25 сентября 2010 г.	3 мая 2013 г.
Площадь пашни (км ²)	6.36	6.36
Суммарная длина (км)	64.18	94.78
Количество вершин	144	204
Густота промоин (км/км ²)	10.09	14.9
Плотность промоин (ед./км ²)	22.6	32.07

результатов дешифрирования. Разработана методика геоинформационного картографирования динамики пояса струйчатой эрозии, получены основные параметры, количественно характеризующие динамику этого пояса (табл. 1).

Проведенные исследования по семи полевым участкам в лесостепной и степной зонах ЕЧР за период 2004–2015 гг. показали большую изменчивость суммарной длины, густоты и плотности струйчатых размывов, хотя не обнаруживается четкой временной тенденции их увеличения или уменьшения. Это не позволяет сделать вывод о наличии какого-то определенного тренда в динамике плановой структуры промоинной сети на пашне.

Заключение

Материалы космических съемок Земли высокого и сверхвысокого разрешения позволяют надежно идентифицировать линейные эрозионные формы, в том числе установить их морфологические особенности на склонах речных бассейнов, выраженных оврагами и промоинно-ручейковой сетью. Для территории юга лесной, лесостепной и степной зон ЕЧР на ключевых участках разработаны подходы по геоинформационному картографированию этих линейных форм эрозии, а также их динамики с помощью космических снимков высокого разрешения. Проведена верификация дешифровочных признаков в полевых условиях.

Для оценки современного овражного расчленения по космическим снимкам установлены основные региональные дешифровочные признаки оврагов, позволяющие отличить их от других эрозионных форм. Создана геопространственная база данных для определения динамики развития оврагов.

Для пояса струйчатой эрозии предложена система количественных показателей, характеризующих ее развитие на пахотных склонах. Полученные предварительные результаты по динамике пояса струйчатой эрозии не позволяют выявить четко выраженный тренд в его развитии за последнее десятилетие.

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

Литература

1. Дедков А.П. Экзогенное рельефообразование в Казанско-Ульяновском Поволжье. Казань: Изд-во Казан. ун-та. – 1970. – 256 с.
2. Овражная эрозия востока Русской равнины / Науч. ред. А.П. Дедков. – Казань: Изд-во Казан. ун-та, 1990. – 141 с.

3. Vanmaercke M., Poesen J., Van Mele B., Demuzere M., Bruynseels A., Golosov V., Fernando J., Bezerra R., Bolysov S., Dvinskih A., Frankl A., Fuseina Y., Guerra A., Haregeweyn N., Ionita I., Imwangana F., Moeyersons J., Moshe I., Samani A., Niacsu L., Nyssen J., Otsuki Y., Radoane M., Rysin I., Ryzhov Y., Yermolaev O. How fast do gully headcuts retreat? // *Earth Sci. Rev.* – 2016. – V. 154. – P. 336–355. – doi: 10.1016/j.earscirev.2016.01.009.
4. Mitchel C.W. Soil degradation mapping from Landsat imagery in North Africa and Middle East // Allan, J.A., Bradshaw, M. (Eds.), *Geological and Terrain Studies by Remote Sensing*. – London: Remote Sensing Society, 1981. – P. 49–68.
5. Bouaziz M., Wijaya A., Gloaguen R. Gully erosion mapping using ASTER data and drainage network analysis in the main Ethiopian rift // 2009 IEEE International Geoscience & Remote Sensing Symposium: Proceedings. – IEEE, 2009. – P. I-13–I-16. – doi: 10.1109/IGARSS.2009.5416927.
6. Shruthi R.B.V., Kerle N., Jetten V., Abdellah L., Machmach I. Quantifying temporal changes in gully erosion areas with object oriented analysis // *Catena*. – 2015. – V. 128. – P. 262–277. – doi: 10.1016/j.catena.2014.01.010.
7. Desprats J.F., Raclot D., Rousseau M., Cerdan O., Garcin M., Le Bissonnais Y., Ben Slimane A., Fouche J., Monfort-Climont D. Mapping linear erosion features using high and very high resolution satellite imagery // *Land Degrad. Develop.* – 2013. – V. 24, No 1. – P. 24–32. – doi: 10.1002/Ldr.1094.
8. Johansen K., Arroyo L.A., Phinn S. Comparison of geo-object based and pixel-based change detection of riparian environments using high spatial resolution multi-spectral imagery // *Photogramm. Eng. Remote Sens.* – 2010. – V. 76, No 2. – P. 123–136. – doi: 10.14358/PERS.76.2.123.
9. Vrieling A., Rodrigues S.C., Bartholomeus H., Sterk G. Automatic identification of erosion gullies with ASTER imagery in the Brazilian Cerrados // *Int. J. Remote Sens.* – 2007. – V. 28, No 12. – P. 2723–2738. – doi: 10.1080/01431160600857469.
10. Соболев С.С. Развитие эрозионных процессов на территории Европейской части СССР и борьба с ними. Т. 1. – М.-Л.: Изд-во АН СССР. – 1948. – 307 с.
11. Мальцев К.А., Ермолаев О.П. Использование цифровых моделей рельефа для автоматизированного построения границ водосборов // *Геоморфология*. – 2014. – № 1. – С. 45–53.
12. Лабутина И.А. Дешифрирование аэрокосмических снимков. – М.: Аспект Пресс, 2004. – 184 с.
13. Ермолаев О.П. Эрозия в бассейновых геосистемах. – Казань: Унипресс, 2002. – 265 с.
14. Yermolaev O.P. Geoinformation mapping of soil erosion in the Middle Volga region // *Eurasian Soil Sci.* – 2017. – V. 50, No 1. – P. 118–131. – doi: 10.1134/S1064229317010070.
15. Ермолаев О.П. Пояса эрозии в природно-антропогенных ландшафтах речных бассейнов. – Казань: Изд-во Казан. ун-та, 1992. – 150 с.

Поступила в редакцию
22.03.17

Ермолаев Олег Петрович, доктор географических наук, профессор кафедры ландшафтной экологии

Казанский (Приволжский) федеральный университет
ул. Кремлевская, д. 18, г. Казань, 420008, Россия
E-mail: oyermol@gmail.com

Медведева Регина Азатовна, аспирант кафедры ландшафтной экологии

Казанский (Приволжский) федеральный университет
ул. Кремлевская, д. 18, г. Казань, 420008, Россия
E-mail: regina8@mail.ru

Платончева Евгения Викторовна, аспирант кафедры ландшафтной экологии

Казанский (Приволжский) федеральный университет

ул. Кремлевская, д. 18, г. Казань, 420008, Россия

E-mail: *evgeniya689@mail.ru*

ISSN 2542-064X (Print)

ISSN 2500-218X (Online)

UCHENYE ZAPISKI KAZANSKOGO UNIVERSITETA. SERIYA ESTESTVENNYE NAUKI

(Proceedings of Kazan University. Natural Sciences Series)

2017, vol. 159, no. 4, pp. 668–680

Methodological Approaches to Monitoring Erosion of Agricultural Lands in the European Part of Russia by Using Satellite Imagery

O.P. Yermolaev^{*}, *R.A. Medvedeva*^{**}, *E.V. Platoncheva*^{***}

Kazan Federal University, Kazan, 420008 Russia

E-mail: **oyermol@gmail.com*, ***gregina8@mail.ru*, ****evgeniya689@mail.ru*

Received March 22, 2017

Abstract

Erosion is the main process of soil cover degradation in agricultural lands. Among all erosion processes, linear (rill and gully) erosion is the most unfavorable one. Assessment of linear erosion dynamics in the area of intensive agriculture in the European part of Russia is important due to the absence of any generalized data on its development during the post-Soviet period. The advance in information technologies, appearance of satellite images with high and very high resolution allow to successfully solve the task of analysis of the current gully dissection, dynamics of gullies, and identification of zones of rill erosion in arable lands. The paper focuses on the methodological aspects of the use of satellite images for estimation of modern dynamics of rill and gully erosion. Gully dissection has been analyzed by the identification of the indicators of gully density, as well as the areal and linear dynamics of gully network. The maps of gully network density have been elaborated for five key basins. A new method has been developed for geoinformation mapping of rill erosion belt dynamics. We have also suggested a system of indicators that quantitatively characterize erosion development on arable slopes.

Keywords: erosion, satellite imagery, GIS, gullies, rill erosion, dynamics

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

Figure Captions

Fig. 1. Narrow gully.

Fig. 2. The ravine based on satellite images and field observations.

Fig. 3. The gullies based on satellite images and field observations.

Fig. 4. Digitalization of the gully rim and thalweg, superposition of the decode circuits of the gully (on the left – 2009, on the right – 2015).

Fig. 5. The structure of rill network in the rill erosion belt based on the data from decoding of the satellite images (Totskoe village in the interfluvium area of the Samara and Soroka Rivers): *a*) 2010; *b*) 2013.

References

1. Dedkov A.P. Exogenous Relief Formation in the Kazan-Ulyanovsk Volga Region. Kazan, Izd. Kazan. Univ., 1970. 255 p. (In Russian)
2. Dedkov A.P. (Ed.) Gully Erosion in the East of the Russian Plain. Kazan, Izd. Kazan. Univ., 1990. 140 p. (In Russian)

3. Vanmaercke M., Poesen J., Van Mele B., Demuzere M., Bruynseels A., Golosov V., Fernando J., Bezerra R., Bolysov S., Dvinskih A., Frankl A., Fuseina Y., Guerra A., Haregeweyn N., Ionita I., Imwangana F., Moeyersons J., Moshe I., Samani A., Niacsu L., Nyssen J., Otsuki Y., Radoane M., Rysin I., Ryzhov Y., Yermolaev O. How fast do gully headcuts retreat? *Earth Sci. Rev.*, 2016, vol. 154, pp. 336–355. doi: 10.1016/j.earscirev.2016.01.009.
4. Mitchel C.W., Geological and Terrain Studies by Remote Sensing. Allan J.A., Bradshaw M. (Eds.). *Soil Degradation Mapping from Landsat Imagery in North Africa and Middle East*. London, Remote Sens. Soc., 1981, pp. 49–68.
5. Bouaziz M., Wijaya A., Gloaguen R. Gully erosion mapping using ASTER data and drainage network analysis in the main Ethiopian rift. *Proc. 2009 IEEE Int. Geoscience and Remote Sensing Symposium*. IEEE, 2009. pp. I-13–I-16. doi: 10.1109/IGARSS.2009.5416927.
6. Shruthi R.B.V., Kerle N., Jetten V., Abdellah L., Machmach I. Quantifying temporal changes in gully erosion areas with object oriented analysis. *Catena*, 2015, vol. 128, pp. 262–277. doi: 10.1016/j.catena.2014.01.010.
7. Desprats J.F., Raclot D., Rousseau M., Cerdan O., Garcin M., Le Bissonnais Y., Ben Slimane A., Fouche J., Monfort-Climont D. Mapping linear erosion features using high and very high resolution satellite imagery. *Land Degrad. Dev.*, 2013, vol. 24, no. 1, pp.24–32. doi: 10.1002/Ldr.1094.
8. Johansen K., Arroyo L.A., Phinn S. Comparison of geo-object based and pixel-based change detection of riparian environments using high spatial resolution multi-spectral imagery. *Photogramm. Eng. Remote Sens.*, 2010, vol. 76, no. 2, pp. 123–136. doi: 10.14358/PERS.76.2.123.
9. Vrieling A., Rodrigues S.C., Bartholomeus H., Sterk G. Automatic identification of erosion gullies with ASTER imagery in the Brazilian Cerrados. *Int. J. Remote Sens*, 2007, vol. 28, no. 12, pp. 2723–2738. doi: 10.1080/01431160600857469.
10. Sobolev S.S. Development of Erosion in the European Part of the USSR and the Fight against Them. Vol. 1. Moscow, Leningrad, Izd. Akad. Nauk SSSR, 1948. 307 p. (In Russian)
11. Mal'tsev K.A., Yermolaev O.P. Using digital elevation models in automated reconstruction of catchment boundaries. *Geomorfologiya*, 2014, no. 1, pp. 45–53. (In Russian)
12. Labutina I.A. Interpretation of Satellite Images. Moscow, Aspekt Press, 2004. 184 p. (In Russian)
13. Yermolaev O.P. Erosion in Basin Geosystems. Kazan, Unipress, 2002. 265 p. (In Russian)
14. Yermolaev O.P., Geoinformation mapping of soil erosion in the Middle Volga region. *Eurasian Soil Sci.*, 2017, vol. 50, no. 1, pp. 118–131. doi: 10.1134/S1064229317010070.
15. Yermolaev O.P. Erosion Belts in Natural and Anthropogenic Landscapes of River Basins. Kazan, Izd. Kazan. Univ., 1992. 150 p. (In Russian)

Для цитирования: Ермолаев О.П., Медведева Р.А., Платончева Е.В. Методические подходы к мониторингу процессов эрозии на сельскохозяйственных землях Европейской части России с помощью материалов космических съемок // Учен. зап. Казан. ун-та. Сер. Естеств. науки. – 2017. – Т. 159, кн. 4. – С. 668–680.

For citation: Yermolaev O.P., Medvedeva R.A., Platoncheva E.V. Methodological approaches to monitoring erosion of agricultural lands in the European part of Russia by using satellite imagery. *Uchenye Zapiski Kazanskogo Universiteta. Seriya Estestvennye Nauki*, 2017, vol. 159, no. 4, pp. 668–680. (In Russian)