

Р.А. МЕДВЕДЕВА*, В.Н. ГОЛОСОВ*, **, О.П. ЕРМОЛАЕВ*

*Казанский (Приволжский) федеральный университет,
420008, Казань, ул. Кремлёвская, 18, Россия,
gregina8@mail.ru, golossov@gmail.com, oyermol@gmail.com

**Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова,
119991, Москва, Ленинские горы, 1, Россия, golossov@gmail.com

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ ОЦЕНКА ОБРАЖНОЙ ЭРОЗИИ В ЗОНЕ ИНТЕНСИВНОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ

Проведено исследование методом картографирования на основе космических снимков высокого разрешения по серии ключевых участков с помощью бассейнового подхода в пределах южной части лесной, лесостепной и степной зоны Татарстана, Оренбургской, Саратовской и Воронежской областей. Определены два ключевых показателя: густота и плотность оврагов в бассейнах, по итогам исследования составлены соответствующие карты в векторном формате. Установлено, что густота овражной сети по бассейнам изменяется в интервале от 0 до 0,5 км/км² (от отсутствия оврагов до сильного овражного расчленения); плотность оврагов — от 0 до 3 ед./км². Выявлен преобладающий тип оврагов во всех бассейнах — склоновый (около 80 %), в то время как береговые и донные имеют примерно одинаковую долю (14 и 10 % соответственно). Математико-статистическими методами установлена высокая прямо пропорциональная зависимость показателей современной овражной сети от распаханности бассейнов, среднегодового количества осадков и обратная — от залуженности. Выявлено резкое сокращение показателей овражности. Найдена одна из ведущих причин резкого сокращения оврагов в настоящее время — уменьшение темпов сельскохозяйственного освоения, дополнительный фактор — резкое снижение поверхностного стока с пахотных склонов в период весеннего снеготаяния, произошедшее в связи с потеплением климата. Сделан вывод о том, что большая часть овражных форм на изученной территории в настоящее время неактивна, они массово переходят в категорию балок.

Ключевые слова: бассейны, дешифрирование космических снимков, густота и плотность оврагов, динамика.

R.A. MEDVEDEVA*, V.N. GOLOSOV*, **, O.P. ERMOLAEV*

*Kazan (Volga Region) Federal University, 420008, Kazan, ul. Kremlevskaya, 18, Russia,
gregina8@mail.ru, golossov@gmail.com, oyermol@gmail.com

**Lomonosov Moscow State University,
119991, Moscow, Leninskie gory, 1, Russia, golossov@gmail.com

SPATIO-TEMPORAL ASSESSMENT OF GULLY EROSION IN THE ZONE OF INTENSIVE AGRICULTURE IN THE EUROPEAN PART OF RUSSIA

Using the method of mapping by high resolution satellite imagery mapping, a study was made of the key areas which are located in the southern part of the forest, forest-steppe and steppe zones of Tatarstan and of Orenburg, Saratov and Voronezh oblasts. Two key indicators were determined: the gully length density and gully head density within the basins; results of the investigation were used in compiling respective maps in vector format. It is established that the density of the gully length in the basins varies over the range from 0 to 0.5 km/km² (from the absence of gullies to strong gully erosion), and the density of gully heads from 0 to 3 units head/km². The slope type of gullies is dominant in all basins (about 80 %), while the coastal and bottom types have approximately the same proportion (14 and 10 %, respectively). Using methods of mathematical statistics we determined a high directly proportional dependence of the indicators of the contemporary gully network on the level of ploughness of the basins and the mean annual precipitation amount, and an indirectly proportional dependence on the level of sodding. An abrupt reduction in gullying indicators was determined. It was found that among the chief reasons behind an abrupt reduction in the gullies to date is a decrease of the rate of agricultural development, with an additional factor, namely, a dramatic decrease in surface runoff down the arable slopes during spring snowmelt caused by climate warming. It is concluded that that a significant part of the gully forms in the study area is currently inactive and massively passes into the balka stage.

Keywords: basins, satellite imagery interpretation, gully length and gully head density, dynamics.

ВВЕДЕНИЕ

Овражная эрозия — один из важнейших рельефообразующих процессов. Негативные последствия оврагообразования в наибольшей степени проявляются в деградации сельскохозяйственных угодий, а также в разрушении инженерных объектов и коммуникаций. Картографирование пространственного развития современных оврагов оценено в крупном регионе азиатской части России — на юге Восточной Сибири [1, 2]. Однако практически нет научных обобщений о темпах овражной эрозии за последние тридцать лет в наиболее освоенных сельскохозяйственных районах южной половины европейской территории России (ЕТР). Между тем за этот временной отрезок произошел ряд принципиальных изменений, с одной стороны, в климатической системе, а с другой — в характере землепользования. Кроме того, начиная с 2000-х гг. в открытом доступе появились космические снимки высокого и сверхвысокого разрешения, не уступающие по качеству аэрофотоснимкам крупного масштаба, и инструментарий методов их анализа. Все это обуславливает актуальность исследований по определению динамики современной овражной эрозии на сельскохозяйственных землях ЕТР.

Целью исследования стала пространственно-временная оценка овражной эрозии в зоне интенсивного земледелия европейской территории России. Спектр решаемых задач включал выбор ключевых участков, дешифрирование космических снимков высокого разрешения для определения основных количественных показателей, характеризующих овражность территории, — густоты и плотности овражной сети, а также установления направленности развития современных оврагов.

При картографировании овражного расчленения территорий эффективно привлекать данные дистанционного зондирования (ДДЗ) Земли. Еще полвека назад при оценке пространственного развития оврагов и его динамики большое внимание уделялось дешифрированию аэрофотоснимков и полевому картографированию [3, 4]. Появление в открытом доступе космических снимков высокого и сверхвысокого разрешения в настоящее время открыло новые возможности их обработки и анализа для идентификации процессов овражной эрозии [5–8].

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Интенсивная сельскохозяйственная деятельность приурочена к лесостепной и степной зонам территории России. Крупнейшие производители зерна в Российской Федерации сосредоточены в Южном и Приволжском федеральных округах [9]. Учитывая большие размеры территории, высокую трудоемкость работ на детальном (крупномасштабном) уровне генерализации, ограничивающей сплошное картографирование оврагов для оценки современной заовраженности, нами отобрано четыре ключевых участка. В пределах каждого из них выбрано от одного до трех речных бассейнов, для которых проводились оценки современной овражности. Исследуемые участки расположены в различных ландшафтных зонах с высоким уровнем земледельческой освоенности. При выборе предпочтение отдавалось бассейнам рек в пределах возвышенностей, где, согласно составленным еще около 30 лет назад картам овражной эрозии, густота и плотность оврагов были аномально высоки [10]. Исследуемые бассейны располагались в различных частях Русской равнины (рис. 1).

Ключевой участок на территории Республики Татарстан охватывает два бассейна (реки Мёша и Улема, правый приток р. Свияги) с различным положением: бассейн Улемы расположен на севере Приволжской возвышенности в лесостепной зоне, тогда как бассейн Мёши — в Заволжье, на границе лесной и лесостепной зон. Геологическую основу рельефа создают породы пермского возраста, представленные типичными красноцветными глинистыми породами татарского возраста [11].

Ключевой участок в пределах Воронежской области (запад лесостепной зоны) состоит из бассейнов трех рек: Ведуги, Девицы (1) и Девицы (2) (правые притоки Дона). В качестве доминирующих коренных выступают породы меловой системы мезозойской группы (мел, мергели, пески). Четвертичные отложения представлены гляциальными и флювиогляциальными (пески, суглинки, глины), перекрытыми покровными суглинками [12].

Два ключевых участка в степной зоне расположены на территориях Саратовской (бассейн р. Медведицы) и Оренбургской (бассейн р. Самары) областей. В исследование включена часть бассейнов в верхнем течении рек. Бассейн Медведицы сложен нерасчлененными отложениями (пески, алевриты, песчаники, глины) палеогенового возраста, тогда как на территории бассейна Самары представлены отложения триасовой системы (глинистые сланцы, алевролиты, песчаники, конгломераты), перекрытые элювиально-делювиальными четвертичными суглинками.

В табл. 1 приведены характеристики природно-антропогенного фона развития оврагов в пределах исследуемых речных бассейнов.

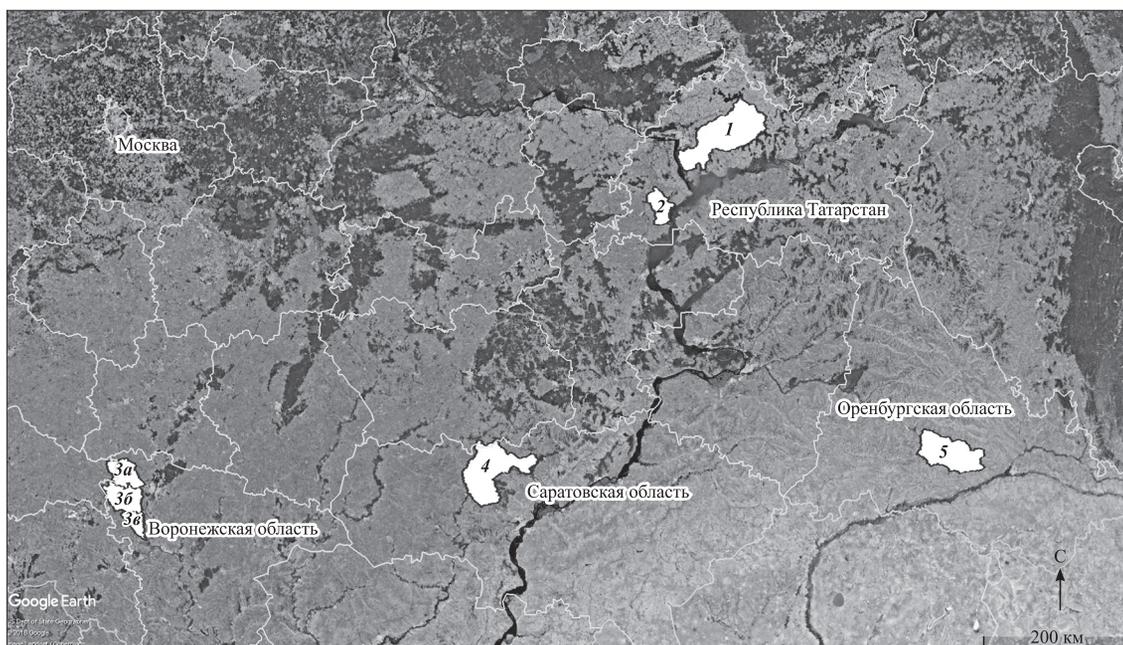


Рис. 1. Расположение исследованных речных бассейнов в пределах европейской части России.

Бассейны рек: 1 – Мёша; 2 – Улема; 3 – Ведуга (а), Девица (1) (б), Девица (2) (в); 4 – Медведица; 5 – Самара.

Бассейн Улемы в сравнении с другими ключевыми участками имеет максимальные показатели распаханности и размывающей скорости для подстилающих пород, минимальный показатель залуженности территории.

Рассматривая роль антропогенного фактора в развитии овражной эрозии, Б.Ф. Косов пишет, что в большинстве случаев современная овражная сеть своим происхождением обязана сельскохозяйственному освоению и распашке земель [10]. В пределах Русской равнины густота овражной эрозии закономерно убывает в северном направлении от границы лесной и лесостепной зон, что связано с уменьшением распаханности и увеличением лесистости, а также плотности сельского населения. В трудах А.П. Дедкова [3] отмечено, что овражная эрозия зональна в той степени, в какой зонален антропогенный фактор и обусловленная им современная залесенность. Многие зарубежные специалисты главным фактором, способствующим развитию овражных форм, также считают землепользование [14, 15], поэтому важно рассмотреть его подробнее.

В течение последних десятилетий площади заброшенных сельскохозяйственных земель в мире составили примерно 2 197 000 км² [16]. Причины забрасывания пахотных угодий различны в зависимости от страны и исторического времени, включая интенсификацию сельского хозяйства и увеличение производства, войны, экологические и экономические кризисы. Россия занимает первое место в спис-

Таблица 1

Характеристики ключевых бассейнов [10, 13]

Бассейн реки	Площадь водосбора, тыс. км ²	Абсолютные высоты, м	Среднее годовое количество осадков, мм	Распаханность, %	Залуженность, %	Лесистость, %	Размывающая скорость для подстилающих пород, м/с	Средний уклон, град
Мёша	4,4	160–207	475	52,3	32	15	1,2	1,52
Улема	0,9	140–200	463	62,2	28,9	7,1	3,7	1,71
Ведуга	1,2							
Девица (1)	1,4	180–250	504	56,3	30,9	4,7	1,2	2,31
Девица (2)	0,6							
Медведица	3,6	180–257	414	53,6	33,9	9,1	1,2	1,24
Самара	2,9	140–266	321	33,6	53,1	2,4	1,2	1,86

ке стран по заброшенным пахотным землям. Так, за период с 1887 по 2007 г. было заброшено около 706 тыс. км² пахотных земель, в том числе в европейской части России — 562 тыс. км² [17]. По другим данным, за счет системного экономического кризиса в начале 1990-х гг. и реструктуризации сельского хозяйства на территории России заброшено 50 млн га пахотных земель и 20 млн га лугов [18–20].

По данным о сельскохозяйственных угодьях ЕТР [17, 21] можно проследить динамику площадей пашни за 150 лет для исследуемых регионов. Положительный прирост пашни на протяжении всего периода (с 1843 по 1990 г.) наблюдался только в Оренбургской области и происходил прежде всего за счет освоения целинных земель в ее восточной части, расположенной в Зауралье. Бассейн Самары расположен в западной части области. В Саратовской области и в Республике Татарстан площадь пахотных земель уменьшается с 1960-х гг., тогда как в Воронежской области пашня — с конца XIX в. Причины сокращения пашни в этот период в основном были связаны с расширением площадей городов и других населенных пунктов. Значительный прирост площади пашни в середине XX в. в Оренбургской области обусловлен распахивкой целинных земель.

Начало XX в. в губерниях Европейской России отмечено повсеместными оврагоукрепительными работами и лесопосадками: с 1901 г. — в Воронежской губернии (с 1909 г. — лесные посадки), в 1903 г. — в Саратовской, Казанской и Оренбургской губерниях [21]. Причиной их стало осознание масштабов ущерба, причиняемого сельскому хозяйству овражной эрозией и так называемыми летучими песками. Была заложена основа противоэрозионной системы борьбы с растущими оврагами. Кроме того, на сформировавшихся в результате забрасывания пашни в 1990-х гг. залежных землях площадью около 7 млн га только на европейской части бывшего Советского Союза идет процесс естественного лесовосстановления (3,6 млн га), что значительно превышает площади вырубок [22]. Этот фактор также необходимо учитывать при оценке трендов современного оврагообразования на территории ЕТР.

Картографирование оврагов внутри исследованных бассейнов малых рек проводилось по подбассейнам, выделенным автоматизированным методом с использованием цифровой модели рельефа GMTED2010 [24, 25]. Использование космических снимков, распространяемых на бесплатной основе в цифровом виде и за разные временные интервалы, позволяет определить различные показатели заовраженности: густоту овражной сети (в км/км²), плотность оврагов (в ед./км²), площадную и линейную динамику овражной сети. С помощью разработанного отечественного ресурса «SAS.Планета» для конкретной территории можно подобрать наиболее качественные космические снимки за требуемые интервалы времени, оцифровать все овражные формы и создать базовый векторизованный слой овражной сети, который затем может быть обработан в любой ГИС [23].

Для каждого подбассейна высчитывались суммарная протяженность и густота овражной сети, а также плотность оврагов. Базовым методом исследования стала визуальная идентификация овражных форм. Использовались снимки высокого и сверхвысокого разрешения. Взят период наблюдений с 2009 по 2015 г., поскольку именно с 2009 г. в открытом доступе появился большой фонд снимков высокого разрешения. При дешифрировании выделялись овраги разных типов: склоновые, донные и береговые.

Учитывая размеры территории исследования, пространственное развитие оврагов и ранее опубликованные материалы по их распространению [5], при картографировании использовалось шесть градаций густоты овражного расчленения: 0–0,005 км/км² (отсутствие или спорадическое овражное расчленение); 0,005–0,01 (очень слабое); 0,01–0,02 (слабое); 0,02–0,05 (умеренное); 0,05–0,1 (значительное); 0,1–0,5 км/км² (сильное овражное расчленение).

Для исключения ошибок дешифрирования в пределах бассейнов Мёши, Самары и Ведуги была проведена полевая верификация полученных данных. По ее результатам сделаны корректировки векторизованного слоя овражной сети и пересчет показателей овражной эрозии.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Густота оврагов на исследуемой территории (рис. 2) колеблется в пределах от 0 до 0,5 км/км². Прослеживается тенденция уменьшения показателя с севера на юг в направлении увеличения доли степных бассейнов. Изменения плотности оврагов совпадают по направлениям с изменениями густоты (рис. 3). Максимальное значение (3 ед./км²) отмечается в более северных бассейнах.

В табл. 2 представлены соотношения типов оврагов в пределах ключевых участков исследования. Во всех рассматриваемых бассейнах преобладают склоновые овраги (свыше 70 %). В бассейнах Улемы, Мёши и Медведицы береговые овраги по численности превосходят донные в 2–4 раза.

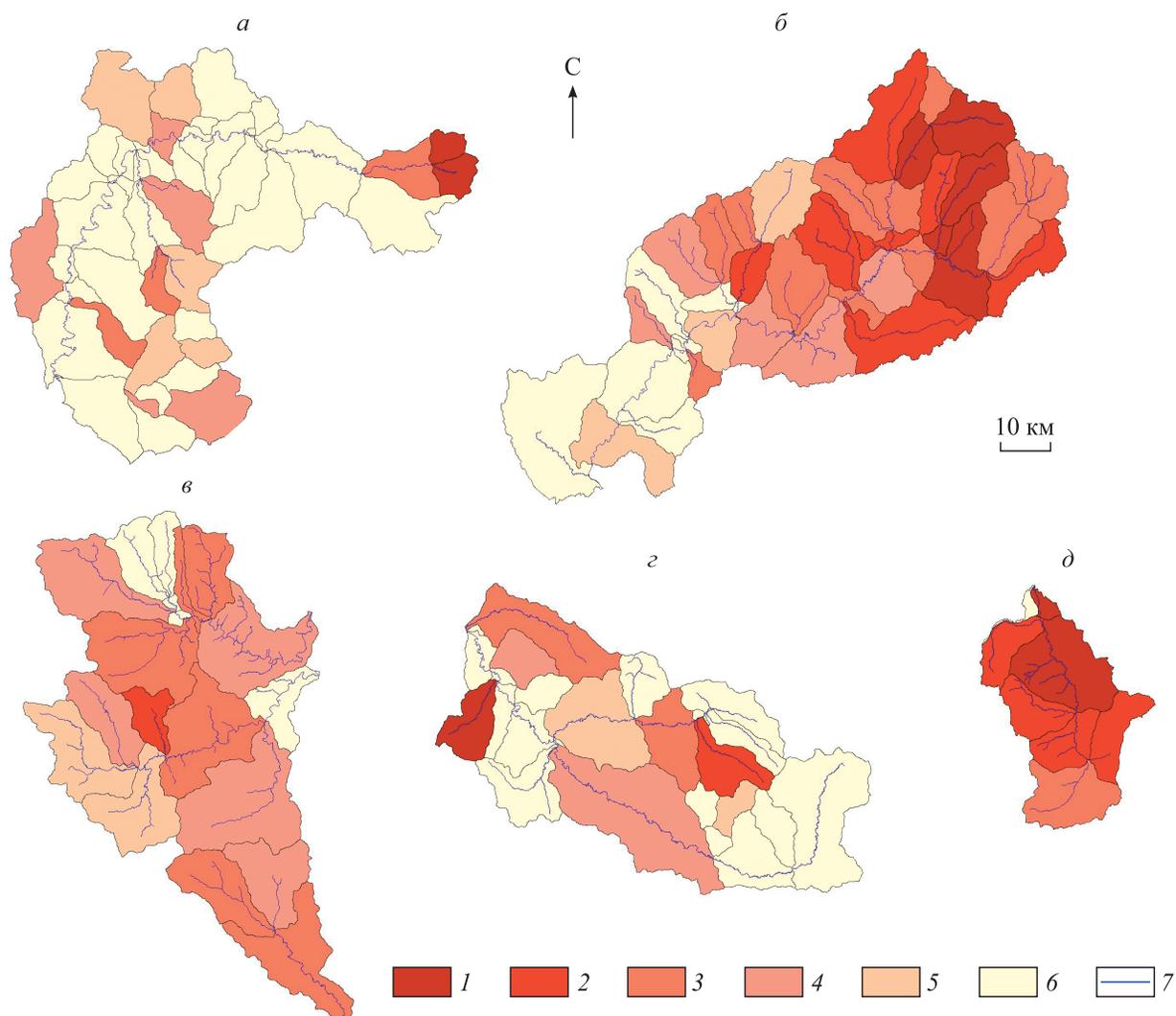


Рис. 2. Густота оврагов в исследуемых бассейнах по данным за 2009–2015 гг., км/км².

Густота: 1 — 0,1–0,5; 2 — 0,05–0,1; 3 — 0,02–0,05; 4 — 0,01–0,02; 5 — 0,005–0,01; 6 — 0–0,005. 7 — основные водотоки. Бассейны рек: а — Медведица, б — Мёша; в — Ведуга, Девица (1), Девица (2); г — Самара; д — Улема.

В настоящее время возрастает доля техногенно обусловленных оврагов (в населенных пунктах, при прокладке дорог, трубопроводов, добыче полезных ископаемых). При этом для сельскохозяйственных оврагов характерно затухание активности, а техногенные, наоборот, активизируются в своем развитии [26]. Оценена доля техногенных оврагов: во всех ключевых бассейнах она оказалась незначительной (от 0,4 до 1,4 %). Определен преобладающий тип техногенных оврагов — придорожный.

В научно-исследовательской лаборатории эрозии почв и русловых процессов им. Н.И. Маккавеева МГУ была составлена карта современной густоты овражной сети на ЕТР в м-бе 1:2 500 000. Этот показатель определялся для каждого водосбора 1-го порядка. Полученные значения густоты варьируют от 0,01 до 1,3 км/км² и более [27]. Анализ карты позволяет сравнить представленные выше результаты изучения ключевых бассейнов с данными, полученными в 1990 г. (табл. 3).

Видно (см. табл. 3), что густота овражного расчленения во всех рассматриваемых бассейнах в настоящее время резко сокращается. При этом наиболее сильное редуцирование оврагов отмечается в бассейнах Ведуги, Девицы (1), Девицы (2) и Медведицы, для бассейна Улемы характерны максимальные значения густоты овражной сети.

Выявленные изменения данного показателя на ключевых участках за двадцатилетний период могут быть обусловлены не только разным временем проведения исследований, но и тем, что оценка густоты овражной сети в 1990 г. проводилась на основе топографических карт, которые по качеству

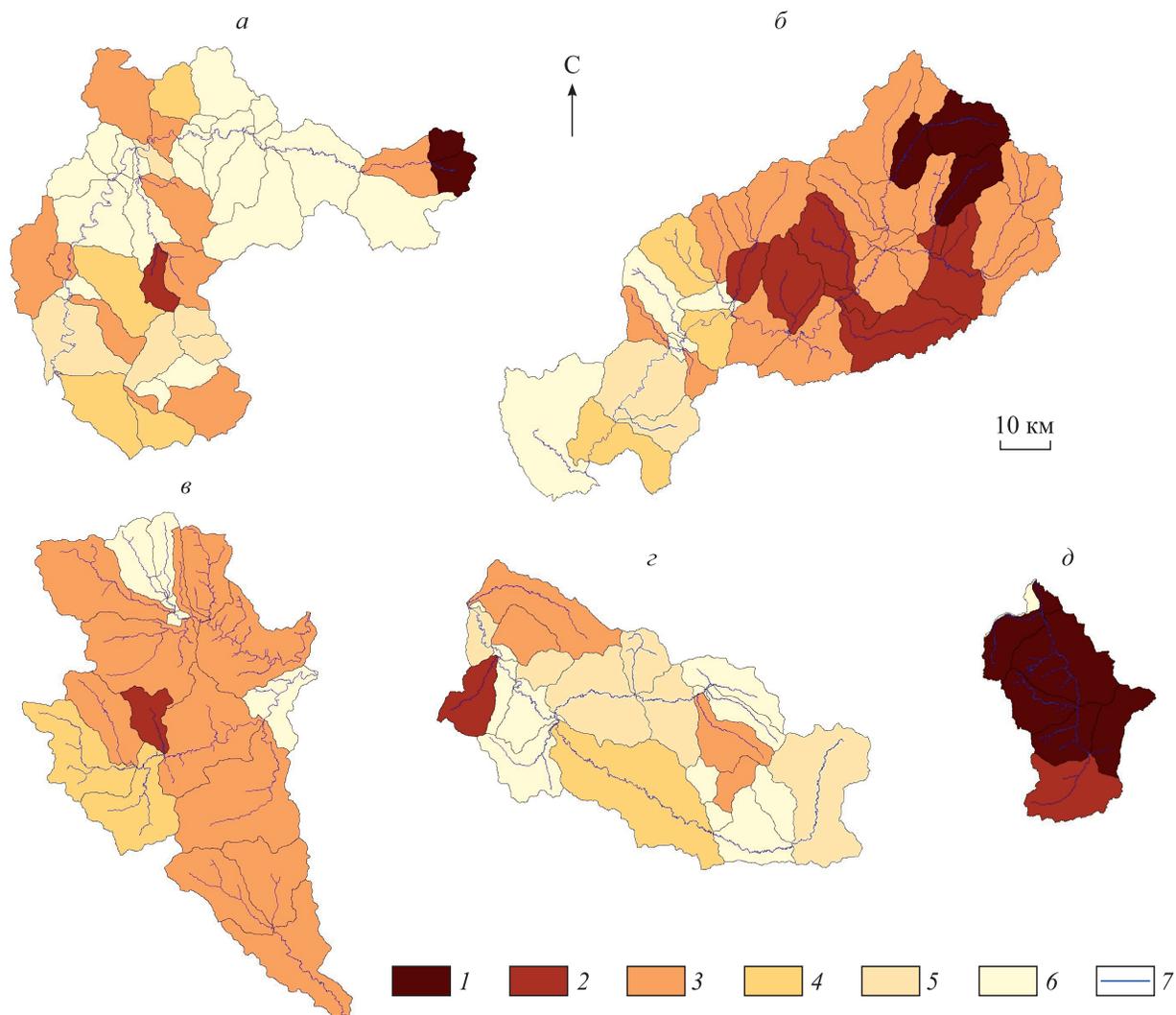


Рис. 3. Плотность оврагов в исследуемых бассейнах по данным за 2009–2015 гг., ед./км².

Плотность: 1 – 1–3; 2 – 0,5–1; 3 – 0,1–0,5; 4 – 0,05–0,1; 5 – 0,0–0,05; 6 – 0–0,01. 7, а–д – см. рис. 2.

идентификации овражных форм сильно уступают ДДЗ. Космические снимки высокого и сверхвысокого разрешения позволяют достаточно надежно определить овраги во всех стадиях его развития, отличить их от других крупных линейных эрозионных форм (промоина, балка). Подтверждением резкого затухания овражной эрозии за последние 20–25 лет могут быть результаты проведенных исследований территории Удмуртии, где в качестве метода картографирования использовались ДДЗ Земли с одинаковым качеством отображения оврагов, — аэрофотоснимки за 1980–1990 гг. и современные космические снимки [28, 29].

Таблица 2

Соотношение оврагов в ключевых бассейнах по типам, %

Тип оврагов	Бассейны рек				
	Мёша	Улема	Ведуга, Девица (1), Девица (2)	Медведица	Самара
Склоновые	76,7	72,1	79,6	83,4	73,4
Береговые	14,5	20,7	8,8	12,9	10,5
Донные	8,9	7,3	11,7	3,6	16,1

Таблица 3

Густота овражной сети за разные периоды, км/км²

Временной период, годы	Бассейн рек				
	Мёша	Улема	Ведуга, Девица (1), Девица (2)	Медведица	Самара
1990	0,56	0,8	0,8	0,43	0,26
2009–2015	0,04	0,09	0,02	0,01	0,02

Для оценки динамики овражной эрозии в пределах Республики Татарстан (реки Мёша и Улема) результаты дешифрирования космических снимков сравнивались с данными аэрофотоснимков 1960–1970-х гг. залета. Сопоставление показало резкое сокращение густоты овражного расчленения в настоящее время. В среднем для всех подбассейнов в бассейнах Мёши и Улемы густота овражной эрозии сократилась на 0,3 км/км² (в три раза).

С середины 1980-х гг. началось сокращение площадей пахотных угодий в результате их забрасывания и дальнейшего зарастания [30]. В 1985–2015 гг. максимальное сокращение произошло в бассейне Самары — 13,5 %, в бассейнах Мёши, Улемы, Ведуги и Медведицы — 10; 6,5; 9 и 9,6 % соответственно.

Еще большему сокращению числа оврагов в стадии активного развития способствовало снижение поверхностного стока с пахотных склонов в период весеннего снеготаяния на фоне общего потепления климата на ЕТР, что особенно усилилось с середины 1990-х гг. Данный вывод подтверждается результатами полевого мониторинга роста оврагов на Вятско-Камском междуречье с 1978 г. по настоящее время [28, 29].

Методом корреляционного анализа густота и плотность оврагов были сопоставлены с разными природно-антропогенными характеристиками изучаемых бассейнов: залесенность, распаханность, уклон, среднегодовое количество осадков, среднее количество осадков за холодный и теплый периоды года [13]. Выборка по всем значениям густоты оврагов разбивалась на шесть интервалов (см. рис. 2), для каждого из них рассчитано среднее значение. Аналогичным образом соответствующее каждому интервалу среднее значение было определено для всех анализируемых характеристик. Наибольшая корреляция, что ожидаемо, установлена между густотой оврагов и распаханностью территории.

Не обнаружена связь между залесенностью бассейнов и густотой овражного расчленения. Возможно, это связано с низкой природно обусловленной лесистостью бассейнов, находящихся в лесостепной и степной зоне, что, естественно, уменьшает ее влияние на овражную эрозию. В связи с этим предпринята попытка выявления корреляции между густотой оврагов и залуженностью бассейнов. Установлено, что чем выше залуженность склонов бассейна, тем ниже густота овражного расчленения ($r = -0,9$). При рассмотрении среднего годового количества осадков как одного из факторов развития овражной эрозии выявлена очень высокая связь ($r = 0,8$).

Для тех же показателей (залесенность, распаханность, уклон, среднее годовое количество осадков, среднее количество осадков за холодный и теплый периоды года) определялись их зависимости с плотностью оврагов. Изначально выборка по всем значениям плотности оврагов была разбита на шесть интервалов с последующим определением среднего значения, а также соответствующего в этом интервале среднего значения каждой анализируемой характеристики. Получены схожие зависимости со значениями, рассмотренными выше. Отличие результатов состоит в том, что связь плотности оврагов со среднегодовым количеством осадков оказалась выше.

Представленные результаты согласуются с основными выводами, полученными исследователями ранее [31] при обработке аэрофотоснимков разных лет залетов (1950–1990 гг.), а также при непосредственных стационарных наблюдениях в различных регионах Европейской России. Совпадают и общие тенденции развития овражной эрозии: уменьшение скоростей роста оврагов на пахотных землях. Причины подобного сокращения развития оврагов следующие: влияние комплекса противоэрозионных мероприятий, активно внедряемых в сельском хозяйстве до начала 1990-х гг.; снижение в 1990-е гг. площади пахотных земель; уменьшение поверхностного стока и интенсивности снеготаяния; трансформация многих оврагов в балочные системы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выявлено резкое сокращение густоты и плотности овражной сети в пределах исследованных ключевых бассейнов, расположенных в разных частях лесостепной и степной зон европейской части России. Анализ количественных показателей современной овражной эрозии и природно-антропогенных характеристик изучаемых бассейнов по-прежнему выявляет прямо пропорциональную высокую зависимость между густотой оврагов и распаханностью территории. Закономерно отмечается четкая обратная зависимость густоты овражного расчленения от залуженности бассейнов. Кроме того, густота и плотность овражной сети сильно зависят от среднегодового количества осадков. Общей особенностью пространственного развития оврагов можно считать неравномерное их распространение на территории бассейнов. Значения густоты овражной сети по отдельным бассейнам колеблются от 0 до 0,5 км/км² (от отсутствия оврагов до сильного овражного расчленения); плотность оврагов изменяет-

ся от 0 до 3 ед./км². Преобладающий тип оврагов во всех бассейнах — склоновый (доля от общего числа составляет от 72,1 до 83,4 %). В среднем на изучаемой территории береговые овраги преобладают над донными (14 и 10 % соответственно).

Одна из ведущих причин резкого сокращения густоты овражного расчленения — уменьшение темпов сельскохозяйственного освоения. Именно активная распашка земель, сокращение площади лугов и вырубка лесов в XIX в. привели к усилению темпов эрозионных процессов. Проведенные в 1970-е гг. противоэрозионные мероприятия, сокращение площадей пахотных угодий в связи с их забрасыванием и дальнейшим зарастанием в постсоветское время, а также достижение многими оврагами пика своего развития коренным образом изменили тренд развития оврагов: в настоящее время он нисходящий. Снижению темпов оврагообразования и сокращению числа оврагов, находящихся на стадии активного развития, способствуют следующие факторы: резкое снижение поверхностного стока с пахотных склонов в период весеннего снеготаяния на фоне потепления климата; саморазвитие овражной формы, естественное сокращение водосборной площади и стока в вершинах эрозионных форм по мере их регрессивного роста.

На основе полученных данных можно сделать вывод, что большая часть овражных форм на территории исследования в настоящее время неактивна и массово переходит в балочную стадию.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (15–17–20006).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Рыжов Ю.В.** Формирование оврагов на юге Восточной Сибири. — Новосибирск: Акад. изд-во «Гео», 2015. — 180 с.
2. **Баженова О.И.** Внутривековая организация систем экзогенного рельефообразования в степях Центральной Азии // География и природ. ресурсы. — 2007. — № 3. — С. 116–125.
3. **Овражная эрозия востока Русской равнины** / Науч. ред. А.П. Дедков. — Казань: Изд-во Казан. ун-та, 1990. — 141 с.
4. **Рысин И.И.** Овражная эрозия в Удмуртии. — Ижевск: Изд-во Удмурт. ун-та, 1998. — 274 с.
5. **Ермолаев О.П., Рысин И.И., Голосов В.Н.** Картографирование овражной эрозии в регионе востока Русской равнины // Геоморфология. — 2017. — № 2. — С. 38–51.
6. **Desprats J.F., Raclot D., Rousseau M., Cerdan O., Garcin M., Le Bissonnais Y., Ben Slimane A., Fouche J., Monfort-Climent D., Desprats D., Raclot M., Rousseau M., Cerdan O., Garcin M., Le Bissonnais Y., Ben Slimane A., Fouche J., Monfort D.** Climent mapping linear erosion features using high and very high resolution satellite imagery // Land Degradation & Development. — 2013. — N 22. — P. 24–32.
7. **McInnes J., Vigiak O., Roberts A. M.** Using Google Earth to map gully extent in the West Gippsland region (Victoria, Australia) // International Congress on Modelling and Simulation. — 2011. — N 49. — P. 3370–3376.
8. **Shruthi R., Kerle N., Jetten V., Stein A.** Quantifying temporal changes in gully erosion areas with object oriented analysis // Catena. — 2015. — N 128. — P. 262–277.
9. **Новая Российская энциклопедия: В 12 т. Т. 1: Россия** / Ред. А.Д. Некипелов. — М.: ООО «Издательство «Энциклопедия»», ИД «ИНФРА-М», 2006. — 960 с.
10. **География овражной эрозии** / Под ред. Е.Ф. Зориной. — М.: Изд-во Моск. ун-та, 2006. — 324 с.
11. **Ландшафты Республики Татарстан. Региональный ландшафтно-экологический анализ** / Под ред. О.П. Ермолаева. — Казань: Слово, 2007. — 411 с.
12. **Атлас Воронежской области** / Разраб. под рук. Н.Н. Ермоленко. — Воронеж: Укргеодезкартография, 1994. — 48 с.
13. **Речные бассейны европейской части России** [Электронный ресурс]. — <http://bassepr.kpfu.ru/> (дата обращения 15.01.2017).
14. **Kertesz A., Gergely J.** Gully erosion in Hungary, review and case study // Procedia Social and Behavioral Sciences. — 2011. — N 19. — P. 693–701.
15. **Caraballo-Arias N.A., Conoscenti C., Di Stefano C., Ferro V., Gomez-Gutierrez A.** Morphometric and hydraulic geometry assessment of a gully in SW Spain // Geomorphology. — 2016. — N 274. — P. 143–151.
16. **Kalinina O., Goryachkin S.V., Lyuri D.I., Giani L.** Post-agrogenic development of vegetation, soils, and carbon stocks under self-restoration in different climatic zones of European Russia // Catena. — 2015. — N 129. — P. 18–29.
17. **Динамика сельскохозяйственных земель России в XX веке и постагрогенное восстановление растительности и почв** / Ред. Д.И. Люри, С.В. Горячкин, Н.А. Караваева, Е.А. Денисенко, Т.Г. Нефёдова. — М.: ГЕОС, 2010. — 416 с.
18. **Alcantara C., Kuemmerle T., Baumann M., Bragina E.V., Griffiths P., Hostert P., Knorn J., Miller D., Prishchepov A.V., Schierhorn F., Sieber A., Radeloff V.C.** Mapping the extent of abandoned farmland in Central and Eastern Europe using MODIS time series satellite data // Environmental Research Letters. — 2013. — N 8 (3) [Электронный ресурс]. — <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/8/3/035035/meta> (дата обращения 15.01.2017).

19. Prishchepov A.V., Miller D., Baumann M., Kuemmerle T., Alcantara C., Radeloff V.C. Underlying Drivers and Spatial Determinants of post-Soviet Agricultural Land Abandonment in Temperate Eastern Europe // Land-Cover and Land-Use Changes in Eastern Europe after the Collapse of the Soviet Union in 1991. — Cham: Springer, 2016. — P. 91–117.
20. Prishchepov A.V., Miller D., Dubinin M., Baumann M., Radeloff V.C. Determinants of agricultural land abandonment in post-Soviet European Russia // Land Use Policy. — 2013. — N 30 (1). — P. 873–884.
21. Цветков М.А. Изменение лесистости Европейской России с конца XVII столетия по 1914 год. — М.: Изд-во АН СССР, 1957. — 213 с.
22. Potapov P.V., Turubanova S.A., Tyukavina A., Krylov A.M., McCarty J.L., Radeloff V.C., Hansen M.C. Eastern Europe's forest cover dynamics from 1985 to 2012 quantified from the full Landsat archive // Remote Sensing of Environment. — 2014. — N 159. — P. 28–43.
23. Медведева Р.А. Динамика ображной эрозии в бассейне реки Мёша // Эрозионные, русловые и устьевые процессы (исследования молодых ученых университетов): Сб. статей по материалам XI семинара молодых ученых вузов, объединяемых Межвузовским научно-координационным советом по проблеме эрозионных, русловых и устьевых процессов. — Нижний Новгород: Изд-во Мининск. ун-та, 2016. — С. 162–168.
24. Ермолаев О.П., Мальцев К.А., Иванов М.А. Автоматизированное построение границ бассейновых геосистем для Приволжского федерального округа // География и природ. ресурсы. — 2014. — № 3. — С. 32–39.
25. Ермолаев О.П., Мальцев К.А., Мухарамова С.С., Харченко С.В., Веденеева Е.А. Картографическая модель речных бассейнов Европейской России // География и природ. ресурсы. — 2017. — № 2. — С. 27–36.
26. Григорьев И.И., Рысин И.И. Исследования техногенных и сельскохозяйственных оврагов в Удмуртии // Вестн. Удмурт. ун-та. Сер. Науки о Земле. — 2006. — № 11 — С. 83–92.
27. Ковалёв С.Н., Никольская И.И. Вероятность достижения предельной густоты ображной сети // Эрозия почв и русловые процессы. — 2015. — Т. 19. — С. 104–112.
28. Рысин И.И., Голосов В.Н., Григорьев И.И., Зайцева М.Ю. Влияние изменений климата на динамику темпов роста оврагов Вятско-Камского междуречья // Геоморфология. — 2017. — № 1. — С. 90–102.
29. Rysin I., Grigoriev I., Zaytseva M., Golosov V., Sharifullin A. Long-term monitoring of gully erosion in Udmurt republic, Russia: ICCE Symposium 2016 — Integrating monitoring and modelling for sediment dynamics, Okehampton, UK, 11–15 July 2017 // Proc. IAHS. — 2017. — N 375. — P. 1–4.
30. Иванов М.А., Мальцев К.А. Оценка динамики землепользования в бассейнах рек европейской территории России по данным Landsat // Эрозионные, русловые и устьевые процессы (исследования молодых ученых университетов): Сб. статей по материалам XI семинара молодых ученых вузов, объединяемых Межвузовским научно-координационным советом по проблеме эрозионных, русловых и устьевых процессов. — Нижний Новгород: Изд-во Мининск. ун-та, 2016. — С. 117–124.
31. Бутаков Г.Н., Зорина Е.Ф., Никольская И.И., Рысин И.И., Серебrenникова И.А., Юсупова В.В. Тенденции развития ображной эрозии в Европейской России // Эрозионные и русловые процессы. — 2000. — Т. 3. — С. 52–62.

Поступила в редакцию 10 августа 2017 г.