

Научные сообщения

УДК 551.4:528.067.4→551.435.162(–924.8)

© 2017 г. О.П. ЕРМОЛАЕВ¹, И.И. РЫСИН^{1,2}, В.Н. ГОЛОСОВ^{1,3}КАРТОГРАФИРОВАНИЕ ОВРАЖНОЙ ЭРОЗИИ
НА ВОСТОКЕ РУССКОЙ РАВНИНЫ¹Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань, Россия²Удмуртский государственный университет, Ижевск, Россия³Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,

географический факультет, Москва, Россия

e-mail: oyermol@gmail.com

Для крупного региона на востоке Русской равнины по данным дистанционного зондирования Земли на основе бассейнового подхода проведено крупномасштабное картографирование овражной сети. Общее количество выделенных бассейнов 4575, а их средняя площадь 37.5 км². Сформированная геопространственная база данных по густоте оврагов, привязанная к границам бассейнов, позволила создать электронную карту районирования овражного расчленения. Выделено 8 типов такого расчленения. Карта отражает весьма сильное развитие оврагов на этой территории. Густота овражного расчленения в среднем составляет 0.21. Максимально высокое овражное расчленение приходится на диапазон 2–2.3. Оно характерно для бассейнов, расположенных в междуречье рек Волги и Цивилия, правобережье нижней Камы и в верховьях правого склона долины р. Свияга. По площади и по количеству бассейнов доминирует сильное (0.5–1.0) расчленение (28.3%). Отсутствие оврагов или их спорадическое развитие приурочено к более четверти всех бассейнов, очень сильно залесенных и расположенных в подзоне южной тайги Удмуртии и в Марийском Полесье. Повторное дешифрирование космо- и аэрофотоснимков позволило определить динамику развития оврагов на конец XX в. в пределах Удмуртии. За 23–25 лет здесь длина овражной сети уменьшилась на 2%. Снижение активности овражной эрозии наблюдается в основном в южной половине Удмуртии, где выше и степень ее овражного расчленения. В северных районах и в бассейне р. Кильмезь наблюдается усиление процессов оврагообразования за счет появления новых оврагов на ранее “неосвоенных” ими до этого склонах.

Ключевые слова: картографирование, овражное расчленение, бассейны, динамика, дешифрирование.

Введение

В лесных, лесостепных и степных агроландшафтах гумидных равнин умеренного пояса Земли в спектре экзогенных процессов значительное место занимает овражная эрозия [1]. Согласно ранее проведенным исследованиям восток Русской равнины является своеобразным “полюсом эрозии”. Вместе с тем ранее составленные карты овражной эрозии отличаются высокой степенью генерализации. Это связано с тем, что при создании таких карт на территорию бывшего СССР и ее отдельные регионы густота овражной сети определялась по топографическим картам разных масштабов (1:420 000, 1:100 000, 1:50 000 и 1:25 000) [2–7 и др.]. Учитывая большие размеры территории СССР, даже для отдельных регионов это было не

сплошное картографирование. Оно проводилось по ключевым участкам на основе предварительно проведенного экспертного районирования. Тем не менее в результате был выявлен ряд важных закономерностей в распространении овражной сети по площади различных регионов.

Вместе с тем сопоставление полученных ранее результатов с натурными наблюдениями и материалами дешифрирования аэрофотоснимков крупного масштаба показало, что топографические карты далеко не в полной мере отражают пространственную картину развития оврагов. Связано это с генерализацией картографического изображения. Как показало сопоставление измерений протяженности овражной сети, произведенных по аэрофотоснимкам и крупномасштабным картам, для разных территорий показатели овражности могут отличаться от данных, полученных по крупномасштабным картам от 50–60 до 200–300% [8]. Методика идентификации оврагов по материалам дистанционного зондирования Земли для региона исследования хорошо разработана [9–12 и др.]. Трудности при идентификации овражной формы, как известно, возникают на пограничных стадиях развития оврага. При каких условиях линейные формы размыва типа рытвин, промоин можно считать оврагом? Зарастающий овраг – это все же овраг или балка? Надо сказать, что у геоморфологов нет четких критериев для ответа на эти вопросы. Чаще всего применяется экспертный метод. В этой связи нами к оврагам относились промоины, имеющие хорошо выраженные на снимках морфологические элементы – обнаженные склоны и днище. Такие промоины на аэрофото- и космических снимках высокого разрешения имеют глубину более 1.5 м (при этом дренируются все морфологические горизонты почвы), ширину более 3 м, хорошо выраженное горизонтальное положение склонов, дающих контрастный фототон, и тальвег. Такие промоины уже не запахиваются, а земли исключаются из сельхозоборота. Главным критерием выделения оврага служили незадернованные (незаросшие) склоны, имеющие четкие границы бровки склона и характерный резкий (“пилообразный”) линейный рисунок изображения на аэрофотоснимках. В случае зарастания нижней части оврага при наличии линейных размывов в ее средней части и в верховьях вся эрозионная форма относилась к оврагу. Только при отсутствии следов размыва на всем протяжении эрозионной формы она не учитывалась в качестве оврага. Отработка региональных дешифровочных эталонов для надежной аэрофотографической экстраполяции данных проведена в полевых условиях.

В 2000-х гг. в открытом доступе появились материалы космической съемки сверхвысокого разрешения (1.65–0.4 м), в связи с чем открылись хорошие перспективы 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 [13–18 и др.]. Исследователи отмечают необходимость верификации результатов такого анализа на основе полевых исследований с привлечением аэрофотоснимков. Кроме того, необходимо создание региональных дешифровочных эталонов в связи со значительной вариабельностью плановых форм оврагов, сложностью идентификации стареющих оврагов в гумидных ландшафтах [17] из-за растительности и густой речной и балочной сети.

Основной целью данного исследования является анализ пространственного распространения и динамики изменений заовраженности территории востока Русской равнины по материалам дистанционного зондирования Земли средствами геоинформационных технологий.

Материалы и методы

Заовраженность территории исследования определялась по показателю густоты овражного расчленения. Эти значения привязывались к операционно-территориальным единицам, в качестве которых выступали бассейны рек и межбассейновые пространства, определяемые по картам м-ба 1:50000 и 1:100000. Затем бассейны были перенесены на карту м-ба 1:200000 и векторизованы. Каждый бассейн получил ряд показателей: код территории, номер, географическую привязку, координаты, уникальный идентификатор. Признаки, характеризующие либо саму овражную эрозию, либо функционирование процесса, были также привязаны к бассейнам. Общегоеографический электронный слой включает разреженную речную сеть, основные города каждого субъекта РФ и административные границы. В качестве средств ввода информации использовались несколько программных продуктов: EasyTrace (векторные карты бассейнов, овражного расчленения, факторов эрозии и др.), DigitMap и его утилиты (при вводе пространственных объектов); FoxPro, Excel (цифровых данных). Процесс визуализации

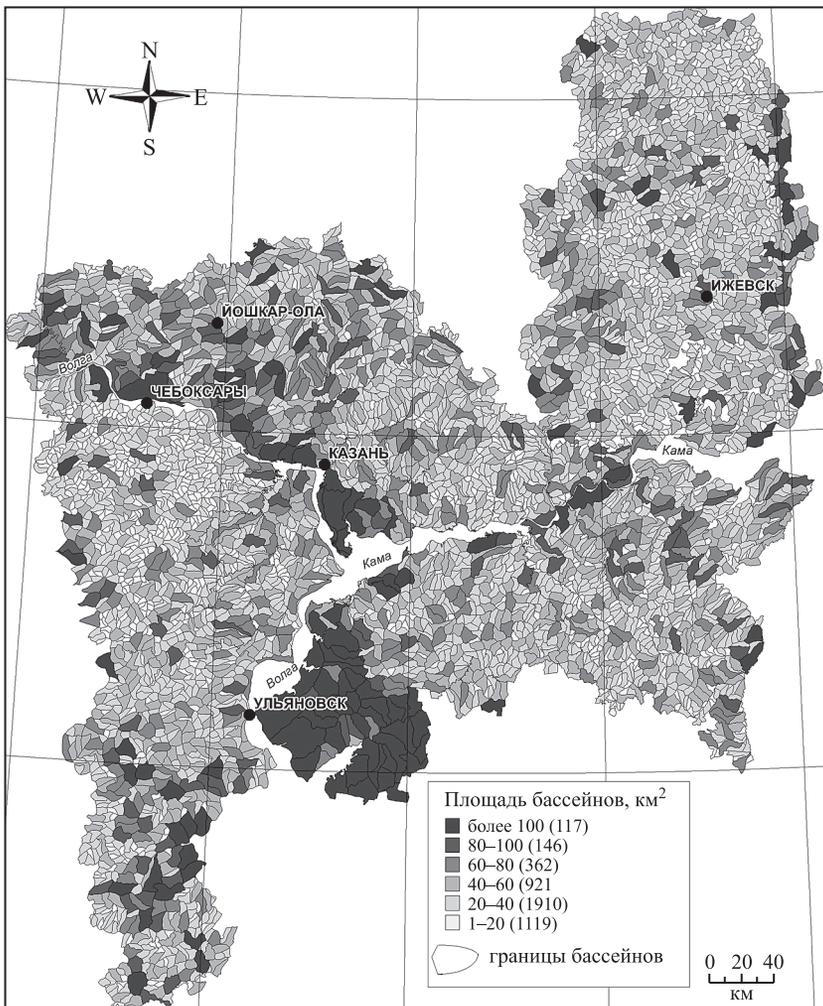


Рис. 1. Границы и площади элементарных бассейнов (здесь и далее в легенде: в скобках дается количество бассейнов)

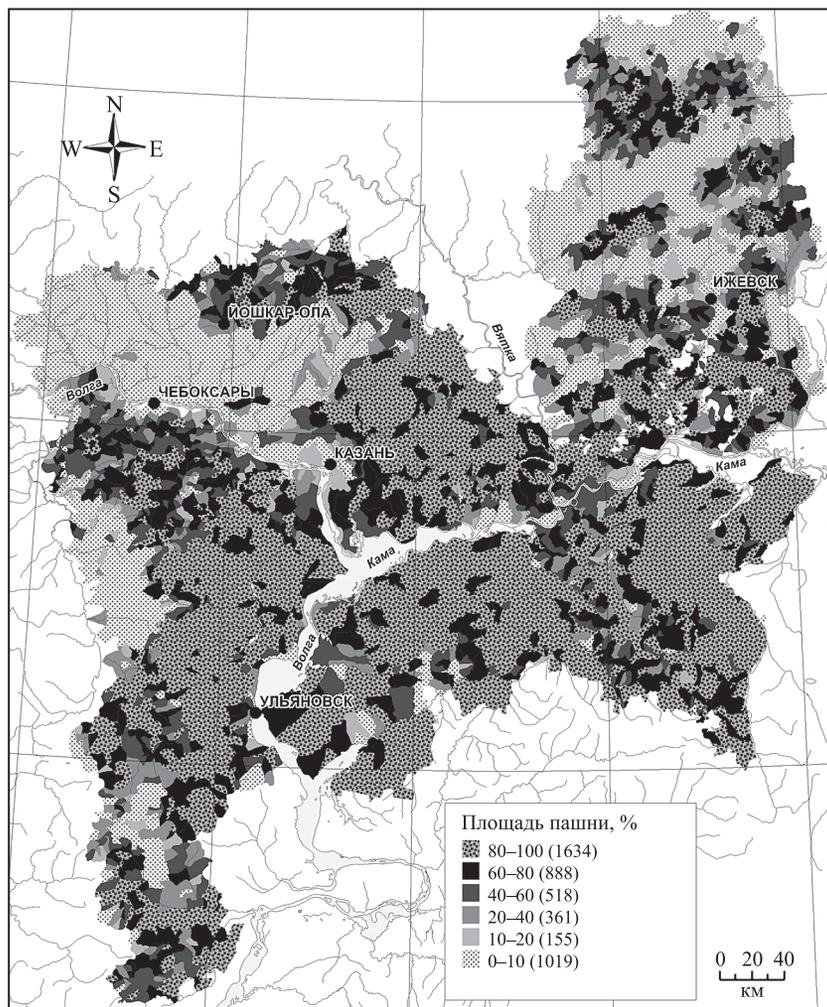


Рис. 2. Земледельческая освоенность бассейнов

обеспечивался пакетом MapInfo, а пространственное моделирование – программами STATGRAF, SURFER, NN (нейронные сети) и др. Полученные слои импортировались в систему MapInfo и совмещались на единой электронной карте. Результатом работ стала карта бассейнов и геоинформационная база данных.

Исследования проводились на территории Республик Марий Эл, Удмуртия, Чувашия, Татарстан и Ульяновской области. Общая площадь картографирования оврагов составляет 171.7 тыс. км², количество бассейнов рек – 4575, их средняя площадь – 37.5 км² (рис. 1). Выделенные бассейны рек, как правило, соответствуют второму и третьему порядку по классификации Стралера–Философова. Отметим также, что в настоящее время нами отработана технология автоматизированного выделения границ бассейнов по цифровым моделям рельефа. Проверка по ключевым участкам “ручной” и машинной технологии показала их хорошую сходимость. Погрешность машинного выделения границ бассейнов в сравнении с “ручной” технологией не превышает 2–3% [19, 20]. Площади бассейнов, первоначально определенные планиметрами, были пересчитаны электронным способом. Соответствие площадям, измеренным по топокартам традиционными методами по контрольным участкам, составляет более 99%. Таким

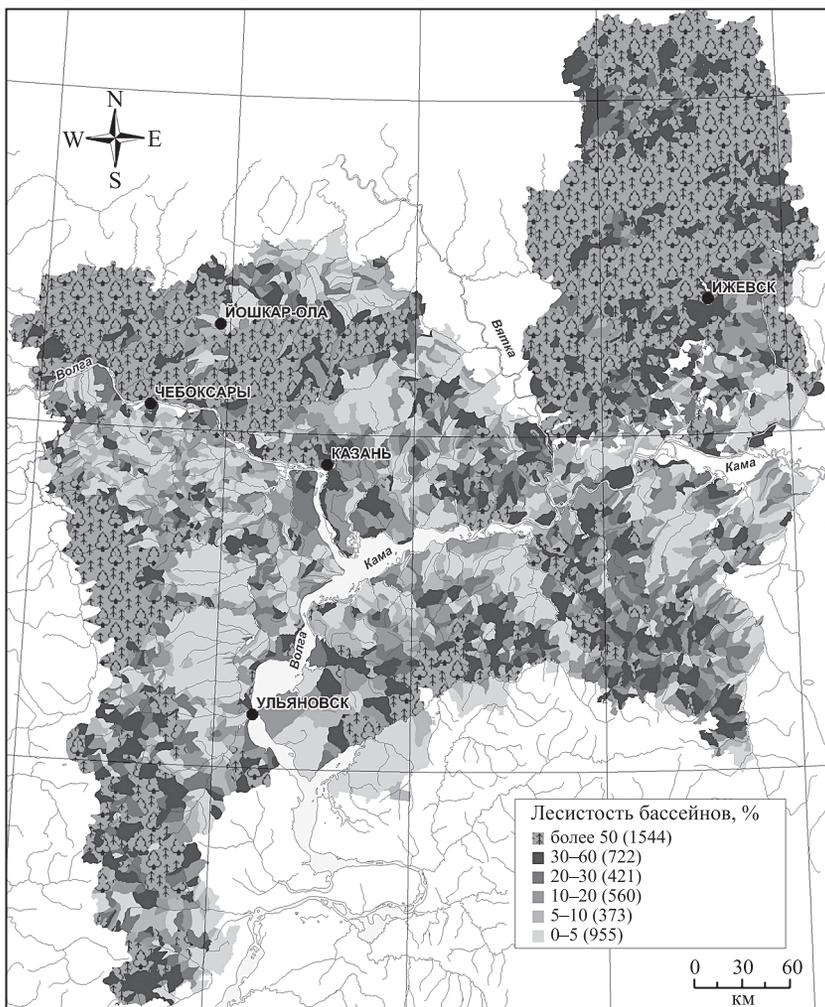


Рис. 3. Карта лесистости бассейнов

образом, подготовлена основа для создания средствами ГИС-технологий карты овражности территории.

Базовая характеристика – густота оврагов – определялась в основном по аэрофотоснимкам м-ба 1:17000 путем измерения длины овражной сети в бассейнах циркулем-измерителем с раствором 2 мм. Таким образом, картографирование оврагов для столь обширного региона России проведено в максимально крупном масштабе. Результаты камерального дешифрирования оврагов проверялись в поле по характерным геоморфологическим районам. Соответствие форм овражной эрозии на аэрофотоснимках формам в поле составило 95–97% [12]. Полученные данные о длине овражной сети пересчитаны в густоту, понимаемую как отношение суммарной длины оврагов в бассейне к его площади. Важно отметить, что эти материалы получены по снимкам за период с 1960-х по 1970-е гг. Для каждого бассейна определен спектр параметров для анализа их роли в развитии оврагов. К сожалению, полученные уникальные материалы научной группы под руководством проф. А.П. Дедкова еще в начале 1980-х гг., так и не были преобразованы в электронную базу данных, не были построены тематические карты как самой овражности, так и факторов ее определяющих.

Используя современные информационные технологии и ранее полученные результаты картирования оврагов, в настоящее время создана геопространственная база

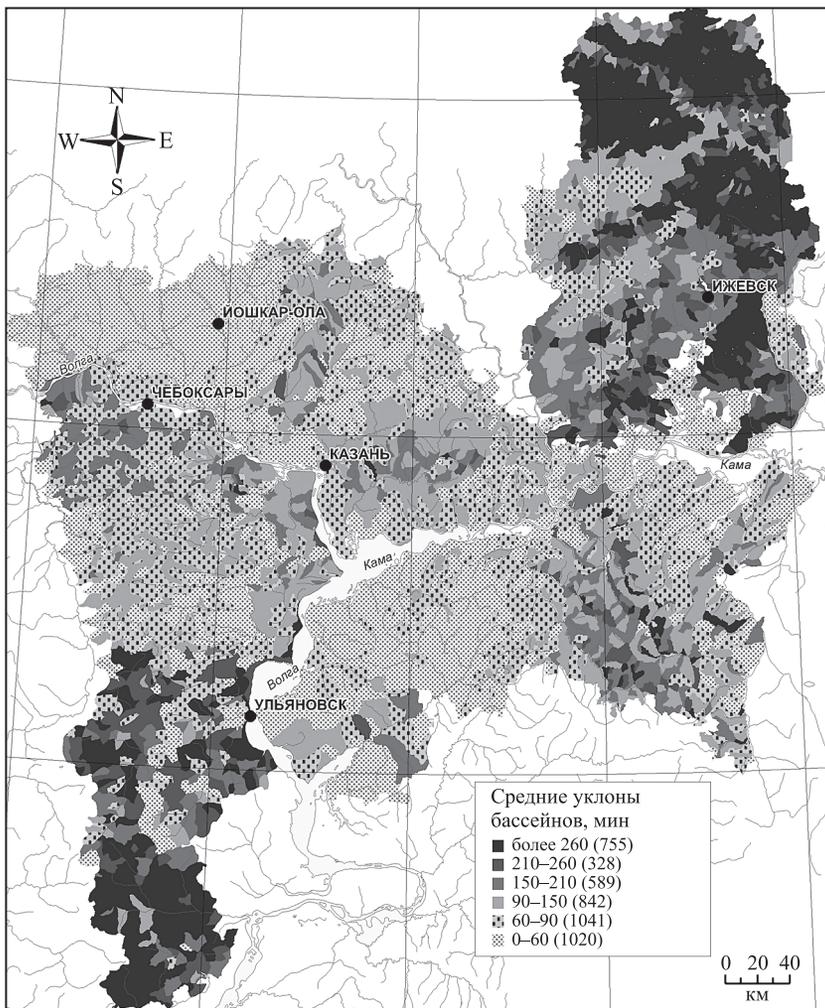


Рис. 4. Карта средней крутизны склонов бассейнов

данных по овражному расчленению и условиям развития оврагов. В ней содержится информация на несколько десятков параметров, прямо или косвенно влияющих на овражную эрозию. Вот некоторые из них: средняя крутизна склонов бассейнов, глубина расчленения, длина склонов, эрозионный индекс дождевых осадков, средний многолетний сток воды за год, средний весенний сток с зяби и с уплотненной пашни, запасы воды в снежном покрове, состав подстилающих горных пород, мощность делювиально-солифлюкционных суглинков, преобладающий тип почв и их гранулометрический состав, площадь пашни, лесистость и др.

Построена электронная векторная карта густоты овражного расчленения в бассейнах, покрывающая весь регион исследования, в м-бе 1:200000, а также комплект тематических карт по всем показателям, включенным в геопространственную базу данных (рис. 2–4).

Для характеристики динамики овражности нами использовался показатель, полученный как отношение изменения протяженности овражной сети к количеству вершин оврагов в пределах бассейна. Этот показатель отражает изменение как густоты, так и плотности оврагов. Чтобы он был сопоставим для съемок через разные временные интервалы,

его значение делится на число лет между повторными аэросъемками. Таким образом, получаем изменение длины на единицу оврага в пределах водосбора за один год, выраженное в м/год. Этот показатель, отражающий направленность процесса, характеризует динамику оврагообразования.

Динамика оврагообразования отражает соотношение двух процессов: скорости роста вершин оврагов и интенсивности зарастания (деградации) оврагов, поэтому она может быть как положительной, так и отрицательной. Положительное значение свидетельствует о преобладании оврагов на стадии активного развития. При его отрицательном значении доминирующими являются овраги в стадии зарастания. В них происходит выполаживание бортов, овраги трансформируются в лога или логвины, вследствие чего протяженность оврагов сокращается.

Динамику овражной эрозии можно использовать также в качестве показателя, характеризующего потенциальную оврагоопасность территории. При его положительном значении потенциальная опасность овражной эрозии для данной территории высокая, а при отрицательном – степень оврагоопасности уменьшается. Этот показатель ни в коем случае нельзя отождествлять со средней многолетней скоростью роста оврагов. Величина последней обычно всегда положительная или же равна нулю.

Результаты и их обсуждение

Картографирование овражного расчленения. Территория субъектов Федерации, на которые составлена карта овражности, занята в основном возвышенными и, реже, низменными лесными и лесостепными ландшафтами, сельскохозяйственно хорошо освоенными. Площадь пашни в среднем составляет 55.5%, а в лесостепной зоне, где густота расчленения максимальна, – 67%.

Густота овражного расчленения на рассматриваемой территории колеблется от 0 до 4.19, в среднем составляя 0.21. В основном максимально высокое овражное расчленение приходится на диапазон 2–2.3. Оно характерно для бассейнов, расположенных в междуречье Волги и Цивилия, на правобережье нижней Камы, в верховьях долины Свяги (рис. 5).

При районировании овражной эрозии различных территорий, выраженной через густоту овражного расчленения, исследователи применяют разные шкалы. Особенно большие контрасты наблюдаются в значениях расчленения, придаваемых районам с сильной и очень сильной овражной эрозией. Так, при районировании юга Восточной Сибири высоким овражным расчленением считается величина более 0.5 [21, 22], для территории востока Русской равнины сильное и очень сильное овражное расчленение придано районам, имеющим значения в диапазоне 0.3–0.5 [11] и более 0.5 [12]. Тогда как часть этой же территории (Татарстан) при тех же значениях расчленения другими авторами относится к районам со слабо развитой овражной сетью [23]. В монографии “География овражной эрозии” [24] районы с сильным овражным расчленением в европейской части России имеют среднюю густоту 0.9, а с очень сильным – более 1.3.

Районирование овражной эрозии проведено с учетом размеров территории картографирования, пространственного развития оврагов и ранее опубликованных материалов. По густоте овражного расчленения выделено 8 градаций (рис. 5): 1) 0–0.005 (отсутствие или спорадическое овражное расчленение); 2) 0.005–0.01 (очень слабое овражное расчленение); 3) 0.01–0.02 (слабое овражное расчленение); 4) 0.02–0.05 (умеренное овражное расчленение); 5) 0.05–0.1 (значительное овражное расчленение); 6) 0.1–0.5 (сильное овражное расчленение); 7) 0.5–1.0 (очень сильное овражное расчленение); 8) более 1.0 (экстремально высокое овражное расчленение).

Географический анализ овражных районов. Более чем для четверти (25.7%) всех бассейнов характерно отсутствие или спорадическое (очаговое) развитие овражного расчленения, его густота находится в интервале 0–0.005. Они относятся к южно-таежным ландшафтам Верхнекамской возвышенности – Зачепецкий, Чепецкий и Лекминский

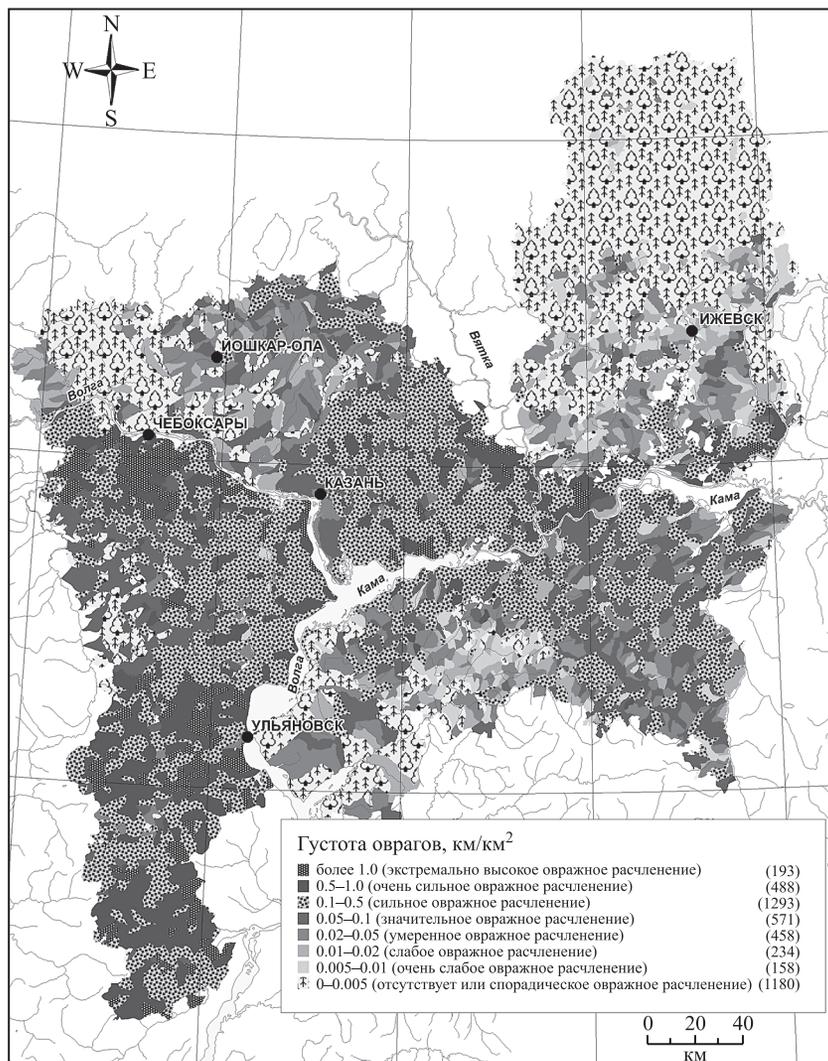


Рис. 5. Карта интенсивности овражного расчленения

овражные районы [11]. Спорадическое развитие оврагов встречается на левобережных террасах Волги ниже устья Камы, в Лесном Засурье и Марийском Полесье. Лесное Засурье и Марийское Полесье представляют собой неглубоко расчлененные равнины, сложенные аллювиальными, флювиогляциальными и эоловыми песками и до сих пор покрытые сосновыми и смешанными лесами. Верхнекамская возвышенность сложена пермскими породами, сильно залесенная, местами заболоченная. Для этих районов характерна очень высокая залесенность бассейнов (в среднем 71%) и низкая земледельческая освоенность (28%). Глубина местных базисов эрозии в среднем составляет 67 м, в пределах Верхнекамской возвышенности довольно значительные величины средней крутизны склонов – около 3.5° (за ее пределами крутизна склонов резко падает до 1°). Отметим, что метеорологические факторы (в первую очередь осадки) мало изменчивы в пределах всей территории исследования, поэтому их значения не приводятся.

Очень слабое овражное расчленение (0.005–0.01) охватывает наименьшее количество бассейнов – 158 (3.5%). Они компактно расположены на левобережье Кильмези,

правобережье Вала, в бассейне Сивы и Черемшанском Заволжье. Овражная эрозия здесь развивается на пахотных землях, которые занимают до 50% площади, при этом лесистость составляет менее 38%, средняя крутизна склонов – 3°, а глубина расчленения – 93 м.

Районы со слабым овражным расчленением (0.01–0.02) включают 234 бассейна (6.1%): в водосборах рек Сивы и Ижа, на правобережье р. Ветлуга, на междуречье рек Большая и Малая Кокшага, в верхнем течении р. Черемшан. Лесистость в их пределах чуть более 41%, а на распаханые земли приходится более 45% площади. Средняя крутизна склонов обычно 2.5°, а глубина расчленения 82 м.

Умеренное овражное расчленение (0.02–0.05) охватывает почти в полтора раза больше бассейнов (до 458). Такое расчленение характерно для междуречий рек Большой, Малой Кокшаги и Илети, Ижа и Камы, верховьев рр. Немда и Вала и местами – в лесостепном низменном и возвышенном Закамье в пределах Татарстана. Средняя лесистость при этом составляет 34%, распаханность – 51%, крутизна склонов – около 2.5°, глубина местных базисов эрозии – 103 м.

Значительное овражное расчленение (0.05–0.1) типично для 571 бассейна (12.5%): на правобережье р. Кама между устьями рек Сивы и Мулеш; в верховьях р. Карымас, в водосборах рек Степной Зай, Кичуй, Мензеля, на правобережье Суры в пределах Приволжской возвышенности; на северо-востоке Марий Эл в верховьях Немды. Овражная эрозия развивается в условиях возвышенного, хорошо расчлененного рельефа (глубина расчленения 108 м). Площадь пашни в среднем составляет 50%, лесистость – 33%.

Сильное овражное расчленение (0.1–0.5) – самое распространенное как по площади, так и по количеству входящих в него бассейнов: 1293 (28.3%). Наибольшее развитие оно получило на Приволжской возвышенности, в Предкамье и Восточном Закамье Татарстана. Здесь резко падает лесистость (в среднем 20.5%) и увеличивается площадь пашни – 61%. Средняя крутизна склонов бассейнов в этом районе около 2°, а глубина расчленения 115 м.

Район очень сильного (0.5–1.0) и экстремально высокого (более 1.0) овражного расчленения включает 681 бассейн (15%). Больше всего бассейнов с высокой плотностью овражного расчленения находится в пределах Ульяновского Предволжья в среднем и нижнем течении Свияги, Цивилия, по крутым правобережным склонам крупных рек – Волги, Камы, Вятки. Повсеместно развиты мощные (15–20 м) шлейфы лессовидных суглинков. Средняя лесистость снижается до 11–17%, распаханность склонов увеличивается до 66–70%, средняя – крутизна – 3.5°, а глубина расчленения – более 120 м.

Таким образом, ключевыми факторами различий овражного расчленения между районами является площадь пашни, которая по мере увеличения овражного расчленения постепенно нарастает, а также средняя глубина расчленения, увеличивающаяся практически вдвое с 67 до 124 м и крутизна склонов (с 2° до 3,5°).

Картографирование динамики овражного расчленения. Такие работы проведены для Республики Удмуртия по повторным аэрофотоснимкам 1980-х гг. залета [11]. Для большей части ее территории время между аэрофотосъемками составляет 23–25 лет. Сопоставление разновременных карт овражности позволяет оценить общую направленность динамики современного оврагообразования, как по отдельным элементарным водосборам, так и по крупным речным бассейнам и в целом по всему региону. Итогом стала карта динамики оврагообразования в Удмуртии (рис. 6).

В целом по республике за рассматриваемый период произошло уменьшение длины овражной сети на 2%. Наиболее существенное сокращение оврагов наблюдается на правобережье р. Кама и в бассейне р. Вала [11]. Количество же вершин оврагов, наоборот, в большинстве речных бассейнов увеличилось (за исключением правобережья р. Кама и р. Сивы). Это можно объяснить тем, что в условиях стабилизации роста оврагов длина их сокращается, и при вершине могут появляться новые отвершки. Причем много коротких оврагов появилось за этот период в бассейнах рек Чепцы и Вала.

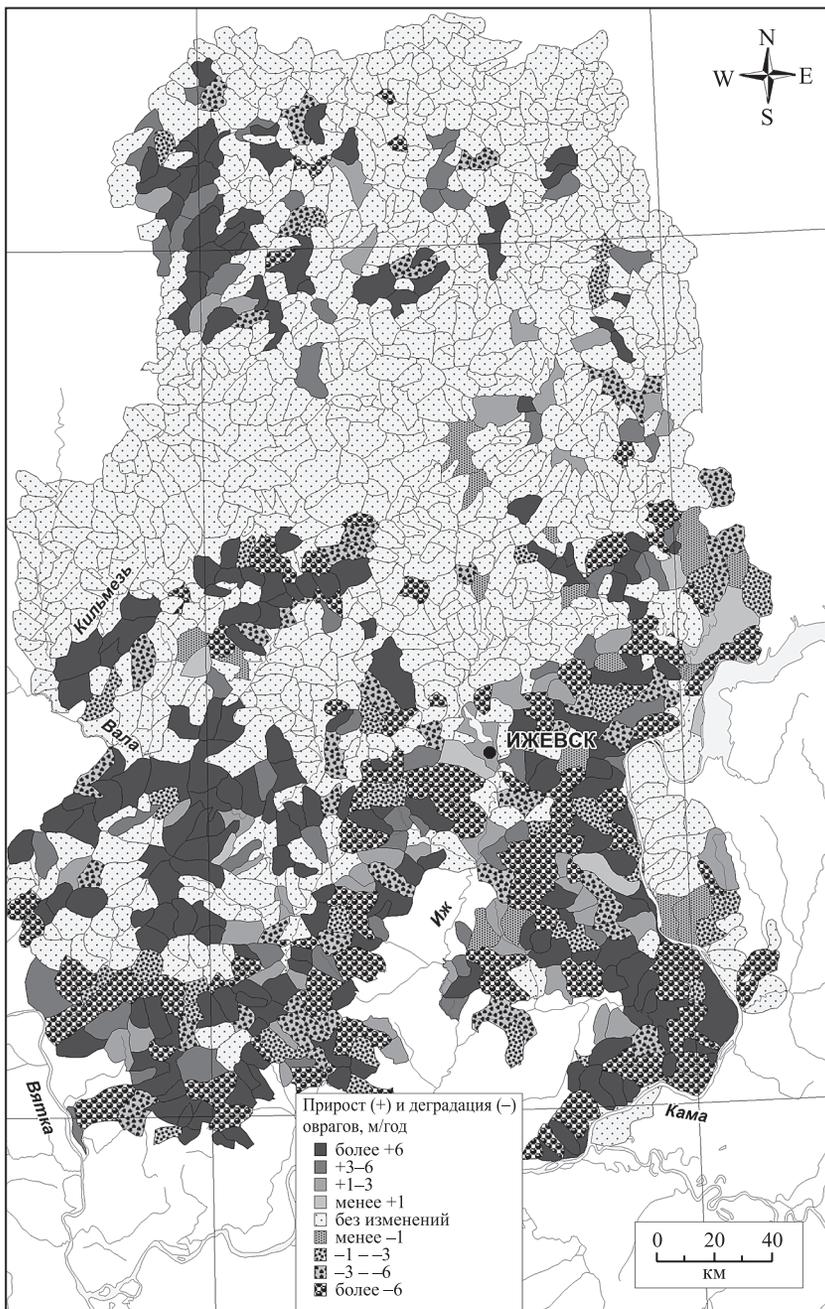


Рис. 6. Карта динамики овражного расчленения территории Удмуртской Республики

Показатель динамики оврагообразования изменяется в большом диапазоне. Положительная динамика для отдельных ранее безовражных водосборов может достигать 12–14 м/год. Она отмечается в пределах 268 водосборов, из них 76% характеризуются невысоким значением (менее 4 м/год). Очень высокие показатели динамики (более 8 м/год) наблюдаются лишь в пределах 21 водосбора.

Средние значения тенденции оврагообразования по основным речным бассейнам Удмуртии

| Речные бассейны | Количество бассейнов | | Средние значения тенденции оврагообразования, м/год |
|---------------------------|----------------------|-----------------------------------|---|
| | всего | с современными и бывшими оврагами | |
| Верховья Вятки и Камы | 66 | — | — |
| Правобережье Чепцы | 160 | 32 | 1.73 |
| Левобережье Чепцы | 250 | 58 | 1.74 |
| Кильмезь | 150 | 22 | 3.12 |
| Вала | 184 | 93 | 2.62 |
| Левобережье Вятки и Тойма | 103 | 85 | -0.47 |
| Иж | 208 | 157 | 0.47 |
| Сива | 71 | 51 | -0.86 |
| Правобережье Камы | 68 | 68 | -1.77 |
| Левобережье Камы | 25 | 6 | -1.54 |
| Всего | 1285 | 572 | -0.17 |

Примечание. (—) — уменьшение густоты оврагов.

Отрицательная динамика оврагообразования характерна для 304 речных бассейнов, где в 1980-е гг. интенсивность зарастания оврагов была выше скорости роста их вершин. Максимальные значения анализируемого показателя достигают $-7-9$ м/год, что наблюдается лишь в пределах 9 речных водосборов. Подавляющее большинство бассейнов (128) имеет низкий показатель динамики, не превышающий 2 м/год.

Для пространственного анализа динамики оврагообразования построена соответствующая электронная векторная карта (рис. 6). На этой карте хорошо прослеживается неравномерное распределение по территории республики анализируемого показателя. Средние значения динамики овражной эрозии для основных речных бассейнов Удмуртии приведены в таблице.

Для бассейна Чепцы в целом преобладают положительные значения динамики оврагообразования (1.0–3.5 м/год). На некоторых водосборах отмечается затухание овражной эрозии: низовье рек Юс, Омыть, Люли и Пудем ($-0.7 - -4.9$ м/год).

Сходная картина наблюдается и в левобережной части бассейна р. Чепца: положительные значения динамики оврагообразования доходят до 1.0–9.5 м/год, а отрицательные $-1.0 - -6.0$ м/год. Оврагообразование в бассейне р. Кильмезь отмечено только лишь на ее более возвышенном левобережье, где отмечается ее максимальная активизация (3.1 м/год). Интенсивное зарастание оврагов происходит в бассейнах рек Шаклейка, Пажгуртка, Жагилка и некоторых других ($-2.3 - -7.4$ м/год).

В оцениваемый период активное развитие оврагов происходило и в бассейне р. Вала. Свидетельством этому служит высокое для данной территории среднее значение динамики оврагообразования (2.6 м/год). Максимальные значения этого показателя (8–14 м/год) получены для бассейнов рек Кельвай, Лумпо, Итча и др. В некоторых бассейнах наблюдается заметный спад активности овражной эрозии: верховья рек Сюгинка, Нылга, Ува, Какмож, Пижил, Вала ($-0.9 - -6.8$ м/год).

В отличие от рассмотренных территорий в бассейнах левобережья Вятки и Тоймы в целом преобладают процессы затухания овражной эрозии. Несмотря на это, активность развития эрозионных процессов здесь еще высокая, об этом свидетельствует и тот факт, что за рассматриваемый период количество вершин оврагов там несколько прибавилось. Угроза активизации линейной эрозии наиболее актуальна здесь для ряда водосборов (рр. Пыжманка, Адамка, Ямышка, Лубянка и др.). В бассейне р. Тоймы высокой оврагоопасностью характеризуются ее верховья и правые притоки.

Для бассейна р. Иж среднее значение динамики оврагообразования положительное, хотя ее величина сравнительно небольшая (0.47 м/год). Данный показатель обусловлен

возросшей длиной овражной сети и незначительным увеличением количества активных вершин оврагов. Результаты расчетов подтверждаются и данными полевых исследований: здесь, как правило, встречаются длинные одиночные овраги, редко разделяющиеся на отвершки. В рассматриваемый период активное формирование линейных форм эрозии временных водотоков отмечалось в пределах водосборов низовий рек Позими, Пироговки, Постолки, Агрызки, Юринки и большинства притоков Кырыкмаса.

Отрицательная динамика овражной эрозии обычно характерна для тех участков, где оврагообразование началось давно и продолжается длительное время, достигнув к настоящему времени пределов своего роста. Для этих территорий, как правило, свойственны и более высокие показатели овражного расчленения. К ним относятся бассейны верховий рек Позимь (за исключением нижнего течения), Сепыч, Яганка, Чаж, Варзи, Варзинка, Кырыкмас. Значения рассматриваемого показателя здесь чаще всего составляют -1.5 — -3.0 м/год.

Существенное уменьшение общей протяженности овражной сети наблюдалось и в бассейне р. Сива, поэтому среднее значение динамики оврагообразования оказалось здесь отрицательным (-0.86 м/год). Высокая потенциальная оврагоопасность сохраняется в бассейнах рек Светлянка, Быгинка, Талица, Билибка, в притоках р. Шаркан в среднем течении, в верховьях р. Мал. Вотка, Ольховка и Удебка. Показатели тенденции овражной эрозии здесь обычно изменяются в пределах 0.3 – 2.0 м.

Наибольшее уменьшение суммарной длины и количества вершин оврагов произошло на правом берегу р. Кама. Это связано с тем, что здесь оврагообразование началось давно и к настоящему времени практически освоило все подходящие для этого участки, создав достаточно густую сеть форм современной линейной эрозии. Именно поэтому здесь не возникают новые овраги, за исключением случаев, обычно связанных с непосредственным влиянием хозяйственной деятельности человека.

В местах появления “свежих” оврагов показатели динамики овражной эрозии, как правило, оказываются положительными и изменяются в широких пределах: от 0.1 до 6.4 м/год. Активное оврагообразование продолжается в речных водосборах, где идет разработка нефтяных месторождений.

В большинстве же речных бассейнов темпы отступления вершин оврагов значительно уступают интенсивности склоновых процессов, сглаживающих борта оврагов, и способствующих их зарастанию, поскольку овраги находятся на последних стадиях развития. Показатели динамики оврагообразования здесь отрицательные и в среднем составляют -2 — -4 м/год.

На левобережье р. Кама также происходило сокращение длины овражной сети, хотя количество их вершин практически не изменилось. За исключением верховий р. Шолья, на большинстве заовраженных водосборов показатели динамики оврагообразования оказались здесь отрицательными (менее -2.0 м/год), что свидетельствует об их более интенсивном зарастании, нежели росте.

Как следует из сопоставления разновременных карт овражности, в конце XX в. на территории Удмуртии процессы оврагообразования существенно различались по своей направленности в разных ее частях. Общее снижение активности овражной эрозии в большей мере было характерно для южной половины республики. В северных районах и в бассейне р. Кильмезь наблюдалось усиление процессов оврагообразования в основном за счет появления “новых” оврагов на “неосвоенных” ими ранее землях. Главным стимулом для их возникновения является отсутствие в хозяйствах научно-обоснованных почвозащитных систем земледелия, созданных на ландшафтном уровне.

Заключение

Таким образом, впервые для ряда регионов на востоке Русской равнины составлена электронная векторная карта густоты овражного расчленения в малых речных бассейнах и их межбассейновых пространствах. Карта подготовлена на основе сплошного

крупномасштабного картографирования оврагов по материалам дешифрирования аэрофотосъемок 1950–1970-х гг. Густота овражного расчленения привязана к площадям 4575 бассейнов 2–3-го порядка со средней площадью 37.5 км². На карте представлено 8 типов густоты овражного расчленения. Карта свидетельствует о весьма сильном развитии оврагов на востоке Русской равнины. Густота овражного расчленения в среднем составляет 0.21. Максимально высокое овражное расчленение (2–2.3) характерно для бассейнов, расположенных в междуречье рек Волги и Цивилия, на правобережье нижней Камы и в верховьях правого склона долины р. Свияга. По площади и по количеству бассейнов доминирует сильное (0.5–1.0) овражное расчленение (28.3%). Отсутствие оврагов или их спорадическое развитие приурочено к более четверти всех бассейнов, как правило, очень сильно залесенных и расположенных в подзоне южной тайги Удмуртии и в Марийском Полесье. Сформированная геопространственная база данных позволила также впервые для этой территории создать комплект электронных карт по природно-антропогенным условиям территории, дающих хорошее представление о роли ведущих факторов в развитии оврагов. Проведенное повторное дешифрирование космо- и аэрофотоснимков позволило определить для части региона динамику развития оврагов на конец XX и начало XI столетия. В частности, установлено, что в пределах Удмуртии за период 23–25 лет после первого картографирования произошло уменьшение суммарной длины овражной сети лишь на 2% от ее общей протяженности. Снижение активности овражной эрозии наблюдается в основном в южной половине Удмуртии, где выше и степень ее овражного расчленения. В северных районах и в бассейне Кильмези наблюдается усиление процессов оврагообразования за счет появления новых оврагов на ранее “неосвоенных” ими до этого склонах.

Благодарность. Исследование выполнено при поддержке гранта РНФ (проект № 15-17-20006).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Vanmaercke M., Poesen J., Van Mele B., Demuzere M., Bruynseels A., Golosov V., Bezerra J.F.R., Bolysov S., Dvinskih A., Frankl A., Fuseina Yu., Guerra A.J.T., Haregeweyn N., Ionita I., Makanzu Imwangana F., Moeyersons J., Moshe I., Nazari Samani A., Niacsu L., Nyssen J., Otsuki Y., Radoane M., Rysin I., Ryzhov Yu., and Yermolaev O.* How fast do gully headcuts retreat? // *Earth-Science Reviews*. 2016. No. 154. P. 336–355. <http://dx.doi.org/10.1016/j.earscirev.2016.01.009>.
2. *Аверьянова Г.А., Петров Г.П.* Плотность гидрографической сети Среднего Поволжья // *Изв. Казанского филиала АН СССР. Серия энергетики и водного хозяйства*. 1961. Вып. 2. С. 81–96.
3. *Сементовский В.Н.* Закономерности морфологии платформенного рельефа (на примере территории Татарии). Казань: Изд-во Казанск. ун-та, 1963. 170 с.
4. *Соболев С.С.* Развитие эрозионных процессов на территории Европейской части СССР и борьба с ними. М. – Л.: Изд-во АН СССР, 1948. Т. 1. 305 с.
5. *Зорина Е.Ф.* Овражная эрозия: закономерности и потенциал развития. М.: ГЕОС, 2003. 170 с.
6. *Косов Б.Ф., Константинова Г.С.* Комплексная карта овражности равнинной территории СССР // *Геоморфология*. 1973. № 3. С. 3–9.
7. *Никольская И.И., Прохорова С.Д.* Картографический метод исследования овражной эрозии // *Геоморфология*. 2005. № 1. С. 44–52.
8. *Дедков А.П.* Экзогенное рельефообразование в Казанско-Ульяновском Приволжье. Казань: Изд-во КазГУ, 1970. 255 с.
9. *Дуглав В.А.* Изучение овражного расчленения и составление эрозионных карт по аэрофотоснимкам // *Вопросы геоморфологии Среднего Поволжья / Уч. зап. Казанск. ун-та*. 1964. Т. 124. Кн. 4. С. 22–23.
10. *Ермолаев О.П.* Пояса эрозии в природно-антропогенных ландшафтах речных бассейнов. Казань: Изд-во Казанск. ун-та, 1992. 150 с.
11. *Рysin И.И.* Овражная эрозия в Удмуртии. Ижевск: Изд-во Удмурт. ун-та, 1998. 274 с.
12. *Овражная эрозия востока Русской равнины / А.П. Дедков.* Казань: Изд-во Казанск. ун-та, 1990. 145 с.
13. *Bouaziz M., Wijaya A., and Gloaguen R.* Gully erosion mapping using ASTER data and drainage network analysis in the main Ethiopian rift. IGARSS–Geoscience and Remote Sensing Symposium, Cape Town, South Africa. 2009. P. 13–16.

14. Desprats J.F., Raclot D., Rousseau M., Cerdan O., Garcin M., Le Bissonnais Y., Ben Slimane A., Fouche J., and Monfort-Climont D. Mapping Linear Erosion Features Using High And Very High Resolution Satellite Imagery // *Land Degradation & Development*. 2013. No. 22. P. 24–32. DOI: 10.1002/Ldr.1094.
15. Johansen K. Object-based mapping of gullies from SPOT-5 imagery and ancillary data over catchment extents / Addink E.A., Van Coillie F.M.B. (Eds). Ghent, Belgium, 2010, ISPRS Vol. XXXVIII-4/C7. Archives ISSN. P. 1682–1777.
16. Shruthi R.B.V., Kerle N., Jetten V., Abdellah L., and Machmach I. Quantifying temporal changes in gully erosion areas with object oriented analysis // *Catena*. 2015. No. 128. P. 262–277.
17. Vrieling A. Satellite remote sensing for water erosion assessment: A review // *Catena*. 2006. No. 65. P. 2–18.
18. Vrieling A., Rodrigues S.C., Bartholomeus H., and Sterk G. Automatic identification of erosion gullies with ASTER imagery in the Brazilian Cerrados // *Int. J. Remote Sens.* 2007. No. 28. P. 2723–2738.
19. Мальцев К.А., Ермолаев О.П. Использование цифровых моделей рельефа для автоматизированного построения границ водосборов // *Геоморфология*. 2014. № 1. С. 45–53.
20. Ermolaev O.P., Mal'tsev K.A., and Ivanov M.A. Automated Construction of the Boundaries of of Basin Geosystems for the Volga Federal District // *Geography and Natural Resources*. 2014. Vol. 35. No. 3. P. 222–228. DOI: 10.1134/1875372814030044.
21. Баженова О.И., Любцова Е.М., Рыжов Ю.В. Эрозионное районирование юга Восточной Сибири // *География и природные ресурсы*. 1997. № 2. С. 68–73.
22. Рыжов Ю.В. Формирование оврагов на юге Восточной Сибири. Новосибирск: ГЕО, 2015. 249 с.
23. Ступишин А.В., Дуглав В.А., Лаптева Н.Н. Географический анализ овражно-балочных систем в пределах Татарской АССР. Казань: Изд-во КазГУ, 1980. 152 с.
24. География овражной эрозии / Е.Ф. Зорина. М.: Изд-во МГУ, 2006. 324 с.

Поступила в редакцию 05.04.2016

MAPPING ASSESSMENT OF GULLY EROSION IN THE EAST OF THE RUSSIAN PLAIN

O.P. YERMOLAYEV, I.I. RYSIN, V.N. GOLOSOV

¹*Kazan Federal University, Kazan, Russia*

²*Udmurt State University, Izhevsk, Russia*

³*Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Moscow, Russia*
e-mail: oyermol@gmail.com

Summary

Detailed-scale mapping of gully network based on the river basin approach was carried out for the eastern part of the Russian Plain using remote sensing data. The total number of selected catchments was 4575, average catchment area – 37.5 km². GIS map of regions with different degree of gully dissection was created based on the produced geospatial database on the gully density in elementary catchments. Eight types of gully dissection were recognized in the studied area. Average gully density was estimated at 0.21 km/km², with local highs up to 2–2.3 km/km² in some basins between the rivers Volga and Tsvivil, at the right bank of the lower Kama and in the upper part of the right side of the Sviyaga River valley. Strong gully dissection (0.5–1.0 km/km²) is the dominating category characteristic for 28.3% of elementary catchments. More than a quarter of all the elementary catchments located in the southern taiga subzone of Udmurt Republic and forested part of Mari El Republic demonstrate the absence or sporadic occurrence of gullies.

The interpretation of repeated space and aerial images for two time intervals allowed to determine the changes of gully length in the north-western part of studied area at the end of the XX century. It was found that during the 23–25-year time interval, the total length of gully network in the Udmurt Republic decreased by 2%. Decline of gully erosion activity was observed mainly in the southern half of Udmurtia, which is marked by the higher degree of gully dissection. Rise of gully erosion exhibited by the appearance of new gullies on the previously non-eroded slopes was found in the northern part of Udmurtia and in the Kilmez' River basin.

Keywords: mapping, gully dissection, catchments, dynamic, interpretation.