

О.П. Ермолаев¹, И.И. Рысин^{1,2}, В.Н. Голосов^{1,3}

КАРТОГРАФИРОВАНИЕ ОВРАЖНОЙ ЭРОЗИИ В РЕГИОНЕ ВОСТОКА РУССКОЙ РАВНИНЫ¹

¹Казанский федеральный университет, г. Казань, Россия;

oyermol@gmail.com

²Удмуртский государственный университет

³Московский государственный университет

Введение

В лесных, лесостепных и степных агроландшафтах гумидных равнин умеренного пояса Земли в спектре склоновых 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, 1:1:100 000, 1:50 000 и 1:25 000) [2,3,4,5,6,7 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.

¹Исследование выполнено при поддержке гранта Российского научного фонда (проект №15-17-20006).

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 протяжённости овражной сети, произведенные 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 [9,10,11,12 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 аэрофо- 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 проложение склонов, дающих контрастный фототон, и тальвег. Такие промоины уже не запахиваются, а земли исключаются из сельхозоборота. Главным критерием выделения оврага служили не задернованные (не заросшие) 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 эрозийная форма относилась к оврагу. Только при отсутствии следов размыва на всем протяжении эрозийной формы она не учитывалась в качестве оврага. Отработка региональ-

ных дешифровочных эталонов для надежной аэрофотографической экстраполяции данных проведена в полевых условиях.

С появлением после 2000-х гг. в открытом доступе материалов космической съемки Земли высокого и сверхвысокого временного и пространственного разрешения (1.65 – 0.4 м) на большие площади суши Земли открылись хорошие перспективы картографирования и мониторинга овражной эрозии. Одновременно с развитием геоинформационных технологий анализа рельефа сейчас формируется направление исследований по 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 и 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 так называемые бассейны рек и их межбассейновые пространства, отображенные на картах 1:50 000 и 1:100 000 масштаба. Затем они были перенесены на карту

1:200 000 масштаба и векторизованы. Каждый бассейн имеет ряд характерных признаков: код территории, номер, географическую привязку, координаты, уникальный идентификатор. Все показатели, характеризующие либо саму овражную эрозию, либо функционирование процесса, были также привязаны к бассейнам. Общегеографический электронный слой включает разреженную речную сеть, основные города каждого субъекта РФ и административные границы. В качестве средств ввода информации использовалось несколько программных продуктов: EasyTrace, DigitMap и его утилиты (при вводе пространственных объектов); FoxPro, Exell (цифровых данных). Процесс визуализации обеспечивался пакетом MapInfo, а пространственное моделирование – программами STATGRAF, SURFER, NN (нейронные сети) и др. В качестве основы для создания электронных картографических слоев были использованы топографические карты генерального штаба масштаба 1:200 000 в проекции Гаусса-Крюгера (координатная система Пулково 1942 года). Процесс создания базовых электронных векторных карт (карты бассейнов, овражного расчленения, факторов эрозии и др.) осуществлялся стандартными методами с использованием программы полуавтоматического векторизатора EasyTrace. Все полученные электронные картографические слои импортировались в систему MapInfo и совмещались на единой электронной карте. Результатом работ стала карта бассейнов и геоинформационная база данных. Территория исследования, покрытая этой сеткой бассейнов, включает следующие субъекты РФ: Республику Марий Эл, Удмуртию, Чувашию, Татарстан и Ульяновскую область. Общая площадь картографирования оврагов составляет 171.7 тыс.км², количество бассейнов рек (включая межбассейновые пространства) – 4575, их средняя площадь – 37.5 км² (рис.1). Выделенные бассейны рек, как правило, соответствуют второму и третьему порядку по классификации Стрелера-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 техноло-

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

Базовая характеристика – густота оврагов определялась путем измерения длины овражной сети в бассейнах циркулем-измерителем с раствором 2 мм в основном по аэрофотоснимкам масштаба 1:17 000. 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 составил 95-97% [12]. Полученные данные о длине овражной сети пересчитаны в густоту, понимаемую как отношение суммарной длины оврагов к площади бассейна. 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 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.

Используя, ГИС-технологии, построена электронная векторная карта густоты овражного расчленения в бассейнах, покрывающая весь регион исследования в масштабе 1:200 000, а также комплект тематических карт по всем показателям, включенным в геопространственную базу данных (рис.2, 3, 4).

Для характеристики динамики овражности нами использовался показатель, полученный как отношение изменения протяженности овражной сети к количеству вершин оврагов в пределах бассейна. Полученная величина отражает изменение, как густоты, так и плотности оврагов за определенный промежуток времени. Поскольку период повторных залетов различается и чтобы полученный показатель был сопоставим, его значение делится на число лет между аэросъёмками. 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 характеризует направленность развития овражной эрозии за последние десятилетия в пределах бассейнов. Данный показатель отражает соотношение двух процессов: скорости роста вершин оврагов и интенсивности зарастания (деградации) оврагов, поэтому его величина может быть как положительной, так и отрицательной. Положительное значение динамики овражной эрозии свидетельствует о преобладании на данной территории оврагов, находящихся на стадиях активного развития. При его отрицательном значении доминирующими являются овраги в стадии затухания. Здесь интенсивнее происходит выполаживание и зарастание бортов оврагов, они трансформируются в лога или логовины, 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. Восток Русской равнины, на который составлена карта овражности, занята в основном возвышенными и, реже, низменными лесными и лесостепными ландшафтами земледельчески хорошо освоенными. Площадь пашни в среднем составляет 55.5%, а в лесостепной зоне, где густота расчленения максимальна, – 67%.

Густота овражного расчленения на востоке Русской равнины колеблется от нуля до 4.19 км/км^2 , в среднем составляя 0.21 км/км^2 . В основном максимально высокое овражное расчленение приходится на диапазон $2-2.3 \text{ км/км}^2$. Оно характерно для бассейнов, расположенных в междуречье Волги и Цивилия, правобережье нижней Камы, в верховьях правого склона долины Свияги (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 км/км^2 [21,22], для территории востока Русской равнины сильное и очень сильное овражное расчленение придано районам, имеющим значения в диапазоне $0.3-0.5 \text{ км/км}^2$ и более 0.5 км/км^2 соответственно [11,12], тогда как часть этой же территории (Татарстан) при тех же значениях расчленения относится к районам со слабо развитой овражной сетью [23]. В монографии “География овражной эрозии” [24] районы с силь-

ным овражным расчленением в европейской части России имеют среднюю густоту 0.9 км/км^2 , а с очень сильным – более 1.3 км/км^2 .

Учитывая размеры территории картографирования, пространственное развитие оврагов и ранее опубликованные материалы по географическому распространению оврагов, проведено районирование овражной эрозии на востоке Русской равнины. В этом регионе по густоте овражного расчленения выделено 8 типологических районов (рис.5): 1) $0 - 0.005 \text{ км/км}^2$ (отсутствие или спорадическое овражное расчленение); 2) $0.005 - 0.01 \text{ км/км}^2$ (очень слабое овражное расчленение); 3) $0.01 - 0.02 \text{ км/км}^2$ (слабое овражное расчленение); 4) $0.02 - 0.05 \text{ км/км}^2$ (умеренное овражное расчленение); 5) $0.05 - 0.1 \text{ км/км}^2$ (значительное овражное расчленение); 6) $0,1 - 0,5 \text{ км/км}^2$ (сильное овражное расчленение); 7) $0.5 - 1.0 \text{ км/км}^2$ (очень сильное овражное расчленение); 8) более 1.0 км/км^2 (экстремально высокое овражное расчленение).

Географический анализ овражных районов. На районы с отсутствием или спорадическим (очаговым) овражным расчленением, где густота овражного расчленения находится в интервале с $0 - 0.005 \text{ км/км}^2$, приходится более четверти (25.7%) всех бассейнов имеют такое овражное расчленение. К ним относятся большие и компактно расположенные территории южно-таежных ландшафтов Верхнекамской возвышенности - Зачепецкий, Чепецкий и Лекминский 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 золовыми 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, здесь довольно значительные величины средней крутизны склонов – око-

ло 3,5°, обеспеченные преобладанием территорий с этой градацией овражности в пределах Верхнекамской возвышенности (без нее крутизна склонов резко падает до 1°). Отметим, что метеорологические факторы (в первую очередь осадки) распространяются в виде геофизических полей, мало изменчивы в пределах всей территории исследования, а сами районы – типологические (дискретные в пространстве), поэтому значения метеопараметров нами здесь и в других районах не приводятся.

Район с очень слабым овражным расчленением (0.005 – 0.01 км/км²) самый небольшой по количеству входящих в него бассейнов - 158 (3.5%), более-менее компактно расположенных на левобережье Кильмези, правобережье Валы, в бассейне Сивы и Черемшанском Заволжье. Овражная эрозия развивается на пахотных землях, площадь которых достигает до 50%, а лесистость здесь уменьшается до 38%. В этом районе средняя крутизна склонов – 3°, а глубина расчленения 93 м.

Район слабого овражного расчленения (0.01 – 0.02 км/км²) включает 234 бассейна (6.1%), расположенных в водосборах рек Сивы, Ижа в среднем течении, на правобережье р. Ветлуга, на междуречье рек Большая и Малая Кокшага, в верхнем течении р. Черемшан. Лесистость этого района чуть более 41%, а на распаханые земли приходится более 45%. Средняя крутизна склонов в этом районе 2,5°, а глубина расчленения 82 м.

В районе умеренного овражного расчленения (0.02 – 0.05 км/км²) почти в полтора раза увеличивается количество бассейнов (до 458) по сравнению с предыдущим районом. Такое расчленение характерно для компактно расположенных бассейнов в междуречьях рек Большой, Малой Кокшаги и Илети, Ижа и Камы, в верховьях рр. Немда и Вала и довольно дискретно – в лесостепном низменном и возвышенном Закамье в пределах Татарстана. Средняя лесистость в этом районе 34%, а распаханность поверхности бассейнов – 51%. Значения годовой суммы осадков, запасов воды в снеге и эрозионного индек-

са дождевых осадков практически те же, что и в предыдущем районе. Средняя крутизна склонов около $2,5^\circ$, а глубина местных базисов эрозии 103 м.

Район значительного овражного расчленения ($0.05 - 0.1 \text{ км/км}^2$) занимает поверхности 571 бассейна (12.5%), расположенных на правом берегу р. Кама между устьями рек Сивы и Мулеш, в верховьях р. Карыкмас, в водосборах рек Степной Зай, Кичуй, Мензеля, на правом берегу 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%.

Район сильного овражного расчленения ($0.1 - 0.5 \text{ км/км}^2$) – самый большой как по площади, так и по количеству входящих в него бассейнов - 1293 (28.3%) с такой густотой овражного расчленения. Наибольшее развитие этот район получил в Ульяновском и Чувашском Предволжье на Приволжской возвышенности, в Предволжье, 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 ($0.5 - 1.0 \text{ км/км}^2$) и экстремально высокого (более 1.0 км/км^2) овражного расчленения включает 681 бассейн (15%). Больше всего бассейнов с высокой густотой овражного расчленения находится в пределах Ульяновского Предволжья в среднем и нижнем течении Свияги, Цивили, по крутым правобережным склонам крупных рек – Волги, Камы, Вятки. Повсеместно развиты мощные (15-20 м) шлейфы лессовидных суглинков. Средняя лесистость снижается с 11 до 17%, распаханность склонов увеличивается с 66 до 70%., средняя крутизна – $3,5^\circ$, а глубина расчленения более 120 м.

Таким образом, ключевыми факторами различий овражного расчленения между районами, где возникают овраги, является площадь пашни, которая по мере увеличения овражного расчленения постепенно нарастает, а так-

же средняя глубина расчленения, увеличивающаяся практически вдвое с 67 м до 124 м и крутизна склонов бассейнов (с 2° до 3,5°).

Картографирование динамики овражного расчленения. Такие работы проведены для части региона - Удмуртской Республики. Здесь динамика овражной сети была определена по повторным аэрофотоснимкам 1980-х годов залета [11]. Для большей части этой территории период повторных аэрофотосъемок составляет около 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).

Анализ полученных данных показывает, что в целом по республике за рассматриваемый период произошло уменьшение суммарной длины овражной сети лишь на 2% от ее общей протяженности. Наиболее существенные изменения протяженности оврагов наблюдаются на правом берегу р. Кама и в бассейне р. Вала [11]. Количество же вершин оврагов, наоборот, в большинстве речных бассейнов увеличилось (за исключением правого берега р. Кама и р. Сива). Полученные результаты 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.

Показатель динамики оврагообразования изменяется в пределах республики в больших пределах. Положительная динамика оврагообразования для отдельных ранее безовражных водосборов может достигать 12-14 м/год. Положительная динамика овражной эрозии отмечается в пределах 268 элементарных водосборов, из них 76% характеризуются невысоким значением (менее 4 м/год) рассматриваемого показателя. Очень высокие показатели динамики (более 8 м/год) наблюдаются лишь в пределах 21 бассейна.

Примечание [B1]: Олег, здесь и далее уточни термины, которые ты используешь. Я так понимаю, что выделяются элементарные бассейны, а также речь идет о юлее крупных речных водосборах, в которые эти бассейны входят.

Отрицательная динамика оврагообразования характерна для 304 речных бассейнов, где в 1980-е годы 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 1.

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.Тойма 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 и 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 левом берегу р. Кама также происходило сокращение длины овражной сети, хотя количество их вершин практически не изменилось. За исключением верхний 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 20-го века на территории Удмуртии процессы оврагообразования существенно различались по своей направленности в разных её частях. Общее снижение активности овражной эрозии в большей мере было характерно для южной половине республики. В северных районах и в бассейне р. Кильмезь наблюдалось усиление процессов оврагообразования в основном за счет появления “новых” овра-

гов на “неосвоенных” ими ранее землях. Главным стимулом для их возникновения является отсутствие в хозяйствах научно-обоснованных почвозащитных систем земледелия, созданных на ландшафтной основе.

Заключение

Таким образом, впервые для восточной части 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 годов. Густота овражного расчленения привязана к площадям 4575 бассейнов 2-3-го порядка со средней площадью 37.5 км². На карте представлено 8 типологических районов, различающихся по густоте овражного расчленения. Карта свидетельствует о весьма сильном развитии оврагов на востоке Русской равнины. Густота овражного расчленения в среднем составляет 0.21 км/км². Максимально высокое овражное расчленение (2 - 2.3 км/км²) характерно для бассейнов, расположенных в междуречье рек Волги и Цивилия, на правобережье нижней Камы и в верховьях правого склона долины р. Свияга. Среди овражных районов по площади и по количеству бассейнов доминирует район с сильным (0.5 – 1.0 км/км²) овражным расчленением (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 пределах Удмуртии за период 23-25 лет после первого картографирования произошло уменьшение суммарной длины овражной сети лишь на

Примечание [B2]: Непонятно, уточни

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.

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, Y., Guerra, A.J.T., Haregeweyn, N., Ionita, I., Makanzu Imwangana, F., Moeuyersons, J., Moshe, I., Nazari Samani, A., Niacsu, L., Nyssen, J., Otsuki, Y., Radoane, M., Rysin, I., Ryzhov, Y.V., Yermolaev, O. How fast do gully headcuts retreat? *Earth-Science Reviews*, 2016, №154, pp.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 Казан 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, т.1, 1948. 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 КГУ, 1970. 255 с.

9. Дуглав В.А. изучение овражного расчленения и составление эрозионных карт по аэрофотоснимкам // Вопросы геоморфологии Среднего Поволжья. “Уч.Зап. Казан.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 Казан. ун-та, 1992. 150 с.
11. Рысин И.И. Овражная эрозия в Удмуртии. Ижевск: Изд-во Удмурт. ун-та, 1998. 274 с.
12. Овражная эрозия востока Русской равнины // под ред. проф. А.П. Дедкова. Казань: Изд-во Казан. ун-та, 1990. 145 с.
13. Bouaziz, M., Wijaya, A., 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, pp.13-16.
14. ~~J.F.~~ Desprats J.F., ~~D.~~ Raclot D., ~~M.~~ Rousseau M., ~~O.~~ Cerdan O., ~~M.~~ Garcin M., ~~Y.~~ Le Bissonnais Y., ~~A.~~ Ben Slimane A., ~~J.~~ Fouche J. & ~~A.~~ ~~D.~~ Monfort-Climent D.. Mapping Linear Erosion Features Using High And Very High Resolution Satellite Imagery. *Land Degradation & Development*, 2013, №22, pp.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. In: Addink, E.A., Van Coillie, F.M.B. (Eds.), Ghent, Belgium, 2010, ISPRS Vol. No. XXXVIII-4/C7, Archives ISSN, pp.1682–1777.
16. Rajesh B.V. Shruthi, Norman Kerle, Victor Jetten, Laouina Abdellah, Issam Machmach Quantifying temporal changes in gully erosion areas with object oriented analysis – *Catena*, 2015, №128, pp.262–277.
17. Vrieling, A. Satellite remote sensing for water erosion assessment: A review. – *Catena*, 2006, №65, pp.2–18.

18. 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, № 28, pp.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., 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. pp. 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: Академическое издательство “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 КГУ, 1980. – 152 с.
24. География овражной эрозии. Под ред. Е.Ф. Зориной. М.: Изд-во МГУ, 2006. 324с.

Отформатировано: Отступ: Слева: 0 см, Выступ: 1 см

Отформатировано: Английский (США)

Отформатировано: Английский (США)

Отформатировано: Английский (США)

Отформатировано: Английский (США)

Отформатировано: Английский (США)

Отформатировано: Английский (США)

Отформатировано: Английский (США)

Отформатировано: Английский (США)

REFERENCES

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, Y., Guerra, A.J.T., Haregeweyn, N., Ionita, I., Makanzu Imwangana, F., Moeuyersons, J., Moshe, I., Nazari Samani, A., Niacsu, L., Nyssen, J., Otsuki, Y., Radoane, M., Rysin, I., Ryzhov, Y.V., Yermolaev, O. How fast do gully headcuts retreat? *Earth-Science Reviews*, 2016, №154, pp.336–355. <http://dx.doi.org/10.1016/j.earscirev.2016.01.009>.
2. **РУС.:** *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.
АНГЛ.: Aver'yanova G.A., Petrov G.P. The density of the hydrographic network of the Middle Volga. *Proceedings of the Kazan Branch of the USSR. Series Energy and Water Resources*, 1961. Issue 2, pp. 81 96. (in Russ.).
3. **РУС.:** *Сементовский В.Н.* Закономерности морфологии платформенного рельефа (на примере территории Татарии). Казань: Изд-во Казан ун-та, 1963. 170 с.
АНГЛ.: Sementovskiy A.N. *Zakonomernosti morfologii platformennogo rel'yefa (na primere territorii Tatarii)* (Regularities of relief morphology platform (for example, the territory of Tatarstan)). Ed. Kazan: Kazan University (Publ.), 1963, 170 p.
4. **РУС.:** *Соболев С.С.* Развитие эрозионных процессов на территории Европейской части СССР и борьба с ними. М. – Л., Изд-во АН СССР, т.1, 1948. 305 с.
АНГЛ.: Sobolev S.S. *Razvitiye erozionnykh protsessov na territorii Yevropeyskoy chasti SSSR i bor'ba s nimi* (Development of erosion in the European Part of the USSR and the fight against them.). Moscow – Leningrad: Ed. The USSR Academy of Sciences (Publ.), Volume 1, 1948, 305 p.

5. **РУС.:** Зорина Е.Ф. Овражная эрозия: закономерности и потенциал развития. – М.: ГЕОС, 2003. 170 с.
АНГЛ.: Zorina Ye.F. *Ovrazhnaya eroziya: zakonomernosti i potentsial razvitiya* (Gully erosion: patterns and potential for development). Ed. Moscow: GEOS (Publ.), 2003, 170 p.
6. **РУС.:** Косов Б.Ф., Константинова Г.С. Комплексная карта овражности равнинной территории СССР // Геоморфология. 1973. №3. С.3–9.
АНГЛ.: Kosov B.F., Konstantinova G.S. *Kompleksnaya karta ovrazhnosti ravninnoy territorii SSSR* (A comprehensive map of gully plain territory the USSR). *Geomorfologiya (Geomorphology RAS)*, 1973, No. 3, pp. 3–9 (in Russ.).
7. **РУС.:** Никольская И.И., Прохорова С.Д. Картографический метод исследования овражной эрозии // Геоморфология, 2005. №1. С.44–52.
АНГЛ.: Nikol'skaya I.A., Prokhorova M.D. *Kartograficheskiy metod issledovaniya ovrazhnoy erozii* (Cartographic method of gully erosion studies). *Geomorfologiya (Geomorphology RAS)*, 2005, No. 1, pp. 44–52 (in Russ.).
8. **РУС.:** Дедков А.П. Экзогенное рельефообразование в Казанско-Ульяновском Приволжье. Казань, Изд-во КГУ, 1970. 255 с.
АНГЛ.: Dedkov A.P. *Ekzogennoye rel'yefoobrazovaniye v Kazansko-Ulyanovskom Povolzh'ye* (Exogenous relief formation in Kazan-Ulyanovsk Volga). Ed. Kazan: Kazan University (Publ.), 1970, 255 p.
9. **РУС.:** Дуглав В.А. изучение овражного расчленения и составление эрозионных карт по аэрофотоснимкам // Вопросы геоморфологии Среднего Поволжья. “Уч.Зап. Казан.ун-та”, 1964. Т.124, кн.4. С.22–23.
АНГЛ.: Duglav V.A. *Izucheniye ovrazhnogo raschleneniya i sostavleniye erozionnykh kart po aerofotosnimkam* (Study of gully erosion dissection and preparation of maps from aerial photographs). *Scientific notes of the Kazan University*, 1964, T.124, kn.4., pp. 22-23 (in Russ.).

10. **РУС.:** Ермолаев О.П. Пояса эрозии в природно-антропогенных ландшафтах речных бассейнов. Казань: Изд-во Казан. ун-та, 1992. 150 с.
АНГЛ.: Yermolaev O.P. *Poyasa erozii v prirodno-antropogennykh landshaftakh rechnykh basseynov* (Belts erosion in natural and natural-anthropogenic landscapes of river basins). Ed. Kazan: Kazan University (Publ.), 1992, 150 p.
11. **РУС.:** Рысин И.И. Овражная эрозия в Удмуртии. Ижевск: Изд-во Удмурт. ун-та, 1998. 274 с.
АНГЛ.: Rysin I.I. *Ovrazhnaya eroziya v Udmurti* (Gully erosion in Udmurtia). Ed. Izhevsk: Udmurt State University (Publ.), 1998, 274 p.
12. **РУС.:** Овражная эрозия востока Русской равнины // под ред. проф. А.П. Дедкова. Казань: Изд-во Казан. ун-та, 1990. 145 с.
АНГЛ.: *Ovrazhnaya eroziya vostoka Russkoy ravniny* (Gully erosion East of the Russian Plain). Edited by prof. A.P. Dedkov. Ed. Kazan: Kazan University (Publ.), 1990, 145 p.
13. Bouaziz, M., Wijaya, A., 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, pp.13-16.
14. ~~Desprats J.F., Raclot D., Rousseau M., Cerdan O., Garcin M., Le Bissonnais Y., Ben Slimane A., Fouche J. & Monfort-Climent D. J.F. Desprats, D. Raclot, M. Rousseau, O. Cerdan, M. Garcin, Y. Le Bissonnais, A. Ben Slimane, J. Fouche And D. Monfort-Climent~~ Mapping Linear Erosion Features Using High And Very High Resolution Satellite Imagery. *Land Degradation & Development*, 2013, №22, pp.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. In: Addink, E.A., Van Coillie, F.M.B. (Eds.), Ghent, Belgium, 2010, ISPRS Vol. No. XXXVIII-4/C7, Archives ISSN, pp.1682–1777.

АНГЛ.: Ryzhov YU.V. *Formirovaniye ovragov na yuge Vostochnoy Sibiri* (Formation of gullies in the south of Eastern Siberia). Ed. Novosibirsk: "GEO"(Publ.), 2015, 249 p.

23. **РУС.:** *Ступишин А.В., Дуглав В.А., Лантева Н.Н.* Географический анализ овражно-балочных систем в пределах Татарской АССР. Казань: Изд-во КГУ, 1980. – 152 с.

АНГЛ.: Stupishin A.V., Duglav V.A., Lapteva N.N. *Geograficheskiy analiz ovrazhno-balochnykh sistem v predelakh Tatarskoy ASSR* (Geographical analysis of gullies and dry valley systems in the Tatar ASSR). Ed. Kazan: Kazan University (Publ.), 1980, 152 p.

24. **РУС.:** География овражной эрозии. Под ред. Е.Ф. Зориной. М.: Изд-во МГУ, 2006. 324с.

АНГЛ.: *Geografiya ovrazhnoy erozii* (Geography of gully erosion). . Edited by EF Zorina. Ed. Moscow: MSU (Publ.), 2006, 324 p.

Резюме

Для крупного региона России – восточной части 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 типологических районов. Карта отражает весьма сильное развитие оврагов на этой территории. Густота овражного расчленения в среднем составляет 0.21 км/км². Максимально высокое овражное расчленение приходится на диапазон 2 - 2.3 км/км². Оно характерно для бассейнов, расположенных в междуречье рек Волги и Цивилия, правобережье нижней Камы и в верховьях правого склона долины р. Свияга. Среди овражных районов по площади и по количеству бассейнов доминирует район с сильным (0.5 – 1.0 км/км²) овражным расчленением (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 космических и аэрофотоснимков позволило определить динамику развития оврагов на конец XX века в северо-восточной части исследуемого региона. В пределах Удмуртии за период 23-25 лет произошло уменьшение суммарной длины овражной сети 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

Summary

A large-scale mapping of gully network carried out for a large region of Russia - the eastern part of the Russian Plain using remote sensing data and based on a river basin approach. The total number of selected catchments is 4575, while their average area of catchment is 37.5 km². GIS map of regions with different gully dissection was created based on formed geospatial database on the density of gullies adapted for elementary catchments. Studied area was split on 8 typological areas. Map reflects the very strong gully development in the area. The gully dissection on average is 0.21 km/km². Maximum high gully dissection accounts for the range 2-2.3 km/km². It is characteristic of basins located between the rivers Volga and Tsvil, the right bank of the lower Kama and in the upper right slope of the valley of Sviyaga River. The area with a strong (0.5 - 1.0 km/km²) gully dissection dominates with 28,3% from total number of elementary catchments. Area of the lack or sporadic development of gullies is confined to the more than a quarter of all the elementary catchments. It is occupied the southern taiga subzone of Udmurtia Republic and forested part of Mari El Republic. The interpretation of space and aerial images for two time intervals allowed to determine the gully length dynamics at the end of the XX century for the North-western part of studied area. It was evaluated that there has been a decrease in the total length of the gully network by 2% within Udmurtia Republic for the 23-25 time interval. Gully erosion activity decrease was observed mainly in the southern half of Udmurtia, where the higher the degree of the gully dissection. Intensification of gully erosion processes with 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.

Key words: mapping, gully dissection, catchments, dynamic, interpretation

Подрисуночные подписи:

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

Рис.2 Земледельческая освоенность бассейнов

Рис. 3 Карта лесистости бассейнов

Рис. 4 Карта средних уклонов бассейнов

Рис.5 Карта районирования овражного расчленения востока Русской равнины

Рис.6 Карта динамики овражного расчленения территории Удмуртской Республики

Данные об авторах

Ермолаев Олег Петрович, доктор географических наук, профессор кафедры ландшафтной экологии; “Казанский (Приволжский) федеральный университет”, Институт экологии и природопользования

Домашний адрес: 420061 г. Казань, ул. Зинина, д.1, кв. 31.

Служебный адрес: 420008 г. Казань, ул. Кремлевская, 18, КФУ, Институт экологии и природопользования.

Тел.: 8(917)298-42-51; oyermol@gmail.com

Рысин Иван Иванович, ФГАОУ ВО “Казанский (Приволжский) федеральный университет”, Институт экологии и природопользования, в.н.с. и ФГБОУ ВО “Удмуртский государственный университет”, Институт естественных наук, заведующий кафедрой экологии и природопользования, профессор, д. геогр. н. ,

Дом. адрес: 426008, г. Ижевск, ул. Пушкинская, д. 272, кв. 2 (тел. дом.7-3412-404-989);

Служ. адрес: 426034, г. Ижевск, ул. Университетская, 1. ФГБОУ ВПО “Удмуртский госуниверситет”, институт естественных наук, кафедра экологии и природопользования (тел. служ. 7-3412-916-433);

e-mail: rysin.iwan@yandex.ru

Голосов Валентин Николаевич, Golosov Valentin Nikolaevich, ФГАОУ ВО “Казанский (Приволжский) федеральный университет”, Институт экологии и природопользования и ФГАОУ ВО “Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова”, географический факультет, научно-исследовательская лаборатория эрозии почв и русловых процессов, в.н.с.

Служебный адрес: Кремлёвская ул.,18, Казань, 420000

e-mail: gollossov@gmail.com

Yermolayev Oleg Petrovich, Doctor of Sciences (Geography), Professor of the Landscape Ecological Department Institute of Ecology and Environmental Sciences of the Kazan Federal University

Rysin Ivan Ivanovich, Doctor of Sciences (Geography), Leading Researcher Institute of Ecology and Environmental Sciences of the Kazan Federal University; Professor, Head of the Department of Ecology and Environmental Science of the Udmurt State University

GolosoV Valentin Nikolayevich, Doctor of Sciences (Geography), Leading Researcher Institute of Ecology and Environmental Sciences of the Kazan Federal University; Leading Researcher Moscow State University, Faculty of Geography, Research Laboratory of Soil Erosion and Channel Processes