

УДК 551.4.08:631.6(470.45)

ОЦЕНКА ЭРОЗИОННОЙ ОПАСНОСТИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ ПРАВОБЕРЕЖЬЯ р. ХОПЕР (В ПРЕДЕЛАХ ВОЛГОГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ)

© 2022 г. А. А. Тубалов^{1,*}

¹ФНЦ агроэкологии РАН, Волгоград, Россия

*E-mail: tubalovlexa1@rambler.ru

Поступила в редакцию 16.03.2021 г.

После доработки 05.04.2022 г.

Принята к публикации 15.07.2022 г.

Совместный анализ рельефа и современного землепользования правобережья р. Хопер, включая бассейны ее 5 притоков и собственно долину реки (территории общей площадью 3800 км²), выявил участки, в наибольшей степени нуждающиеся в проведении лесомелиоративных мероприятий. Анализ проводился как для собирающих водосборов, так и для междоводосборных участков склонов, обращенных к днищам долин рек, которые принципиально отличаются по особенностям доставки наносов, формирующихся на склонах междуречий и бортах долин, в днища и русла постоянных водотоков. Совместный анализ картографических материалов и космических снимков с полевой верификацией результатов дешифрирования позволил выявить морфометрические различия собирающих водосборов и междоводосборных участков склонов для каждого речного бассейна и территории в целом с учетом пространственного распределения различных типов землепользования в их пределах. В результате было установлено, что эрозионная пораженность выше у междоводосборных участков склонов (рассеивающих и прямых) в сравнении с собирающими водосборами. Среднеарифметическое значение показателя овражного расчленения, рассчитанное по всей выборке междоводосборных участков склонов, почти в два раза превышает значение, рассчитанное по выборке собирающих водосборов — 0.64 км/км² против 0.35 км/км². На основе полученных результатов проведена агролесомелиоративная типизация агроландшафтов региона с выделением четырех групп условных агроэкологических состояний территорий (“норма”, “риск”, “кризис”, “бедствие”) и даны рекомендации по проведению почвозащитных мероприятий для каждой группы.

Ключевые слова: эрозия, водосбор, междоводосборный участок склонов, лесомелиорация

DOI: 10.31857/S0435428122040113

ВВЕДЕНИЕ

Изучение процессов деградации почв — важная составляющая агролесомелиоративных исследований. Выявление закономерностей развития и распространения водной эрозии позволяет дифференцировать территории в зависимости от потребности в создании защитных насаждений различного назначения, определять объемы и очередность проведения мелиоративных работ.

Основные представления о развитии процесса эрозионно-аккумулятивного рельефообразования базируются на положениях учений как отечественных исследователей (Козменко, 1954; Курдюмов, 1977; Заславский и др., 1984; Сурмач, 1992; Литвин, 2002; Маккавеев, 2003; Голосов, 2006 и др.), так и зарубежных (Morgan, 2005; Gitas et al., 2009; Stone, 2012; Wang et al., 2013 и др.).

Тесным образом с исследованиями эрозионно-аккумулятивных процессов связан водосбор-

ный (бассейновый) подход к изучению ландшафтов. Водосборные ландшафтные структуры объединяют другие типы ландшафтных структур в общности, замкнутые по принципу поверхностного стекания (Мильков, 1966; Арманд, 1975; Швец, 1988).

При рассмотрении особенностей территориальной организации водосборных систем большое значение имеет вопрос уточнения некоторых терминов. В литературе, можно встретить употребление таких терминов, как “межбалочный водосбор” (Калиниченко, 1992), “вставочный водосбор” (Рожков, 1981), которые характеризуют участки водосборов с различными эрозионно-гидрологическими характеристиками (Гаршинев, 1988). Выделяются также различные типы склонов (Литвин, 2002): прямые, собирающие и рассеивающие. В данной статье для обозначения прямых и рассеивающих склонов (рис. 1) применяется термин “междоводосборные участки скло-

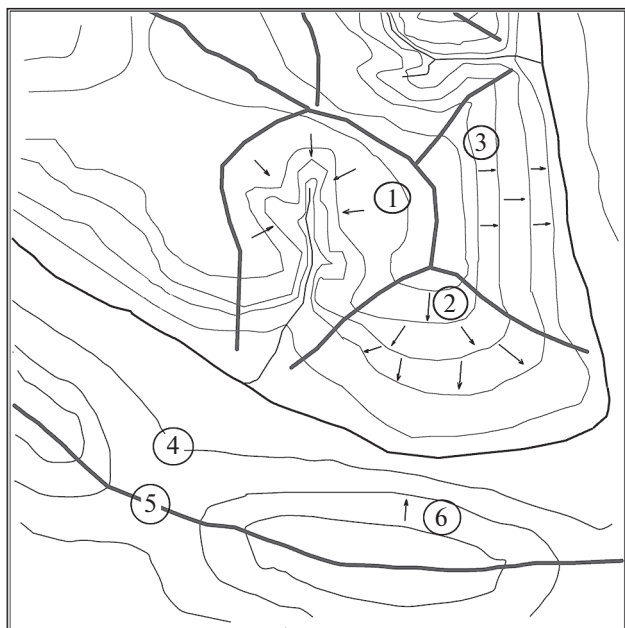


Рис. 1. Картограмма склонов различных типов. Склон: 1 – собирающий (водосбор), 2 – рассеивающий (межводосборный участок склонов), 3 – нейтральный (межводосборный участок склонов); 4 – изолиния рельефа; 5 – линия водораздела; 6 – линия стока поверхностных вод.

Fig. 1. Map of slopes of various types. Slope: 1 – collecting (catchment), 2 – scattering (intercatchment section of slopes), 3 – neutral (intercatchment section of slopes); 4 – relief isoline; 5 – watershed line; 6 – surface water runoff line.

нов” (Гаршинев, 1999), так как именно склоны данных типов представлены на участках разделяющих отдельные водосборы притоков (балок, оврагов, постоянных водотоков), по которым наносы доставляются в днище принимающей сток речной долины или непосредственно в русло реки.

Несмотря на то что существуют множество современных исследований с применением бассейнового подхода (Маркелов, 2004; Шынбергенов, 2018; Безухов, 2019; Тухта, 2019), научных работ, затрагивающих тему межводосборных участков склонов, крайне мало (Румянцева, 2016). Вместе с тем следует отметить важность изучения данных территорий, как с позиции практики, так и с позиции теории.

Для снижения негативного влияния земледелия на состояние постоянных водотоков представляется полезным определить предрасположенность различных участков речного бассейна к развитию процессов водной эрозии. На основе выявленных закономерностей в морфологии склонов и распространения линейных эрозионных форм, можно целенаправленно проводить почвозащитные и водоохранные мероприятия в зависимости от степени эрозионной опасности

территории и с учетом ее фактического использования. Участки речного бассейна, относящиеся к собирающим водосборам и межводосборным участкам склонов, являются территориями с различными путями доставки наносов в днище речных долин, что во многом определяет и различия последствий проявлений эрозии. Так, твердый сток, поступающий с межводосборных пространств, не имея возможности для аккумуляции в многочисленных ложбинах, лощинах, днище балок, в большей степени участвует в заилинии русла малых рек. Проблема выявления территорий, являющихся основным источником наносов, вызывающих деградацию малых рек, приобретает актуальность в контексте распаханности территории объекта исследований и связи количества поступающих наносов с долей пахотных земель в бассейнах рек.

Целью проводимых исследований являлось выявление морфометрических особенностей собирающих водосборов и межводосборных участков склонов при современном характере землепользования в пределах нижнего течения бассейна р. Хопер на территории Волгоградской области для разработки оптимальной структуры агро- и лесомелиоративных мероприятий.

ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследованный район расположен на северо-западе Волгоградской области на правобережье нижнего течения р. Хопер (рис. 2). Благодаря распространению наиболее ценных типов почв – черноземов южных и обыкновенных и аллювиальных пойменных (подтип аллювиальные луговые) – это исторический центр производства сельскохозяйственной продукции в Волгоградской области. Черноземы обладают наибольшим естественным плодородием из всех почв нашей страны и мира; их деградация приносит значительный экономический ущерб. Наряду с этим это район с одним из наибольших в Волгоградской области показателей эрозионного расчленения (Селезнева, Дедова, 2019), что, несомненно, способствует развитию процессов водной эрозии и деградации почвенных ресурсов, приносящих крупный экономический ущерб.

Территория исследования находится на Калачской пластовой возвышенности, которая является крайней юго-восточной частью Среднерусской возвышенности (Карандеева, 1957). На западе граница исследованного участка проходит по главному водоразделу рек Дон и Хопер, а на востоке она оканчивается в долине р. Хопер. С севера на юг территория протягивается более чем 250 км, а с востока на запад на 120 км. Общая площадь района составляет 3800 км².

Восточная окраина Калачской возвышенности представляет собой приподнятое (до 200–240 м над у. м.) неогеновое денудационно-эрозионное плато, слегка наклоненное на восток, юго-восток. Южная часть возвышенности, расположенной между Доном и Хопром, снижена (до 180 м) и имеет более плавные черты рельефа.

В климатическом отношении исследуемая территория относится к континентальной Восточно-Европейской провинции (Справочник..., 1968). Среднегодовое количество осадков составляет 393 мм. Гидротермический коэффициент равен 0.7–0.8. Необходимо отметить то, что большая часть атмосферных осадков выпадает в теплое время года и часто носит ливневый характер, что сильно влияет на развитие эрозионных процессов. За прошедшее десятилетие наблюдается тенденция увеличения слоя выпадающих осадков. Величина прибавки за период года с положительными температурами составляет порядка 20–30 мм.

Пахотные земли занимают 50% от общей площади территории, пастбища и луга – 35%, естественные леса – 14%, селитебные угодья – 1%. В последнее десятилетие отмечается тенденция увеличения доли пахотных земель. В сельскохозяйственный оборот вводятся залежи. Ранее заброшенные поля представляют собой территории, которые, как правило, прилегают к придолинным участкам склонов и отличаются высокой долей эродированных почв.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Основными материалами, используемыми в данном исследовании, служат топографические карты масштаба 1:100 000, изданные Главным управлением геодезии и картографии при Совете Министров СССР в 1989 г., и мозаики космических снимков QuikBird (2017 и 2019 гг.), находящиеся в открытом доступе в сети интернет.

Основой методики проводимых исследований служат методические наработки лаборатории геоинформационного моделирования и картографирования агролесоландшафтов ФНЦ Агроэкологии РАН (Кулик, 1991; Кулик и др., 2015).

Исследования проводились в несколько этапов: предварительное дешифрирование космических снимков, полевая верификация результатов дешифрирования, использование откорректированных по результатам полевой верификации дешифровочных признаков для проведения, окончательного дешифрирования и составления тематических карт.

Полевая верификация – важнейший этап итогового картографирования, так как в результате корректируются дешифровочные признаки. Корректировка выполняется путем многократного

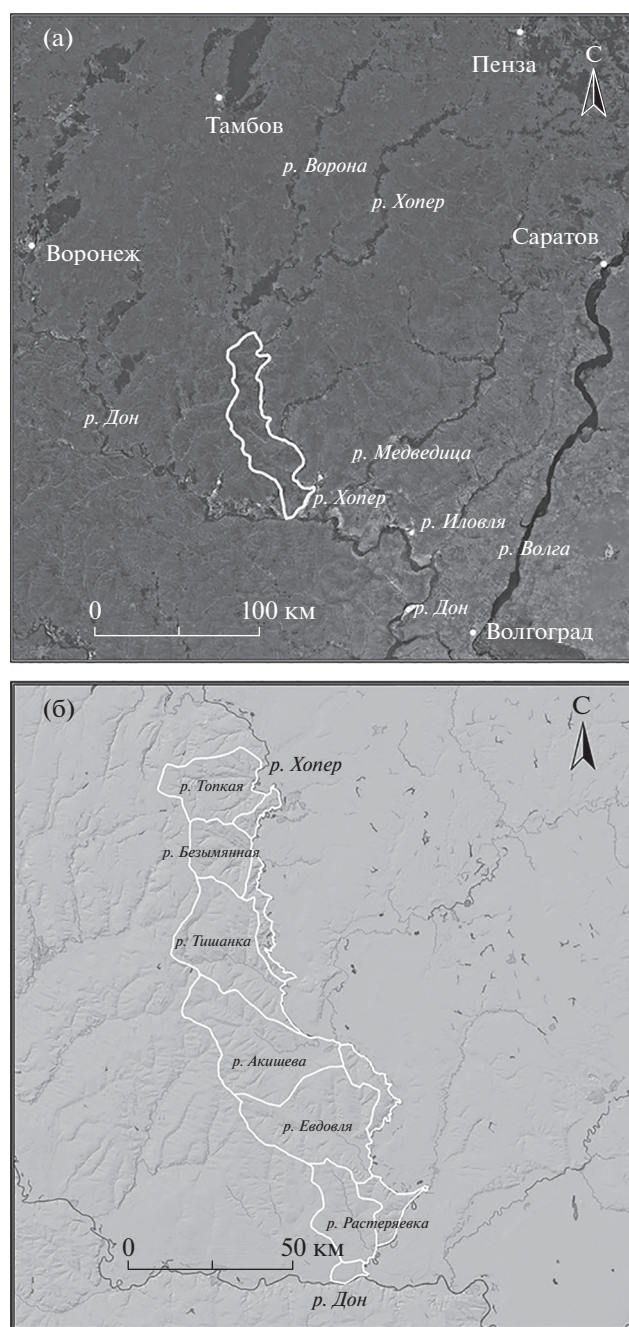


Рис. 2. Картограммы расположения и структуры водосборов объекта исследований: (а) – расположение объекта, (б) – структура водосборов объекта.

Fig. 2. Maps of the location and structure of the watersheds of the research object: (a) – map of the location of the research object, (b) – map of the structure of the watersheds of the research object.

сопоставления объекта и его изображения, выполненного при оптимальных условиях съемки. Объем выполненных полевых работ при данном исследовании соответствует методическим требованиям обеспечения достоверности дешифрирования (Кулик, 1991). Общая площадь обследо-

ванных ключевых участков 401 км², что составляет 10.7% от площади региона исследований.

В процессах дешифрирования, составления карт, сбора морфометрических данных, создания и статистического анализа массива данных, оформления созданных изображений использовались компьютерные средства обработки информации. Основными пакетами прикладных программ, примененных при данном исследовании, являются “MapInfo”, “Photoshop”, “Excel”.

При создании картографических моделей исследуемой территории важными методическими моментами стали:

а) создание карт структуры речных бассейнов с выделением собирающих водосборов (водосборы балок) и межводосборных участков склонов (прямые и рассеивающие склоны) по топографическим картам масштаба 1:100000 (Энциклопедия..., 2004);

б) применение дешифровочных признаков, выработанных в ходе полевого этапа проведения исследований, к задаче распознавания и классификации эрозионных проявлений при создании карты распространения эрозионных процессов (Козменко, 1954; Калиниченко, Зыков, 1986; Кулик, 1991). К дешифровочным признакам оврагов относят специфичные для оврагов формы, отличающиеся хорошо выраженными границами с светлым тоном изображения. В изображении оврагов четко распознаются их элементы: вершина, тальвег, устье, склоны. Светлый тон изображения обусловлен выходом на поверхность подстилающих пород, открывающихся в результате процессов подмыва склонов временными водными потоками и их дальнейшего осыпания (сползания при оползневых явлениях). Склоны балок в сравнении с оврагами имеют почвенный и растительный покров, изображение их бровок и тальвега менее четкое, размытое. При распознавании оврагов важно оценивать не только фототон, но и осуществлять привязку местоположения опознаваемых объектов к элементам балочных водосборов. Данное сопоставление служит основой при разделении оврагов на различные типы (склоновые, донные и береговые). Относительные размеры эрозионных форм и особенности их строения являются основанием для определения стадии развития оврага. Так, в стадии промоины овраг имеет ширину в несколько метров, и длину до нескольких сотен метров. Устье оврага располагается на склоне. Смыкание промоины с существующей гидрологической сетью — свидетельство перехода оврага в стадию активного роста. У оврагов, находящихся на данной стадии, быстро увеличиваются длина и глубина. Поперечный профиль имеет V-образный вид. С течением времени продвижение основного оврага замедляется, происходит активное образование и рост боковых отвершков. В стадии затухания наблюда-

ются многочисленные оползневые явления, задернение склонов. Поперечный профиль приобретает трапециевидную форму;

в) выбор диапазонов градаций при создании карты крутизны склонов на основе топографических карт масштаба 1:100000. Значения диапазонов крутизны поверхности (0–0.5°; 0.6–3°; 4–7°; 8–35°; 0–1.5° (для элементов днищ балок и речных долин)) соответствуют критериям выделения земельных фондов (Кочетов др., 1999);

г) оценка разнообразия и форм антропогенного воздействия на окружающую среду при создании карт структуры использования земель и защитных лесных насаждений. Был применен подход, используемый при создании типологической и геоэкологической классификации ландшафтов (Струмилин, 1969). Основой служит деление геосистем в зависимости от степени их преобразования хозяйственной деятельностью. Геоэкологическая классификация позволяет выделять территории в зависимости от степени оптимизированности взаимоотношений между природными и антропогенными компонентами ландшафта.

Агролесомелиоративная типизация агроландшафтов исследуемого региона основывалась на применении метода взвешенных оценок и выделении четырех групп условных агроэкологических состояний территорий (“норма”, “риск”, “кризис”, “бедствие”) (Струмилин, 1969; Виноградов, 1998).

Для проведения агролесомелиоративной оценки территорий были применены четыре параметра: густота оврагов (км/км²); плотность вершин оврагов (шт./км²); площадь пашни в водосборе, расположенной на склонах крутизной более 3° (%); площадь склонов крутизной более 8° непокрытых лесом (%). Первые два показателя непосредственно характеризуют развитие эрозионных процессов в регионе; вторые два косвенно указывают на это. Они были выбраны по результатам корреляционного анализа взаимосвязей между параметрами эрозионного развития и всеми остальными картографируемыми параметрами. Показатели — площадь пашни в водосборе, расположенной на склонах крутизной более 3° и площадь склонов крутизной более 8° непокрытых лесом — были получены в результате наложения картографических моделей крутизны склонов и структуры сельскохозяйственных угодий друг на друга. Среднеарифметические значения оцениваемых параметров по группам следующие: группа агроэкологического состояния “норма” — овражное расчленение 0.1 км/км², плотность вершин оврагов 0.1 шт./км²; площадь пашни в водосборе, расположенной на склонах крутизной более 3° — 23%; площадь склонов крутизной более 8° непокрытых лесом — 17%; группа агроэкологического состояния “риск” — овражное расчленение

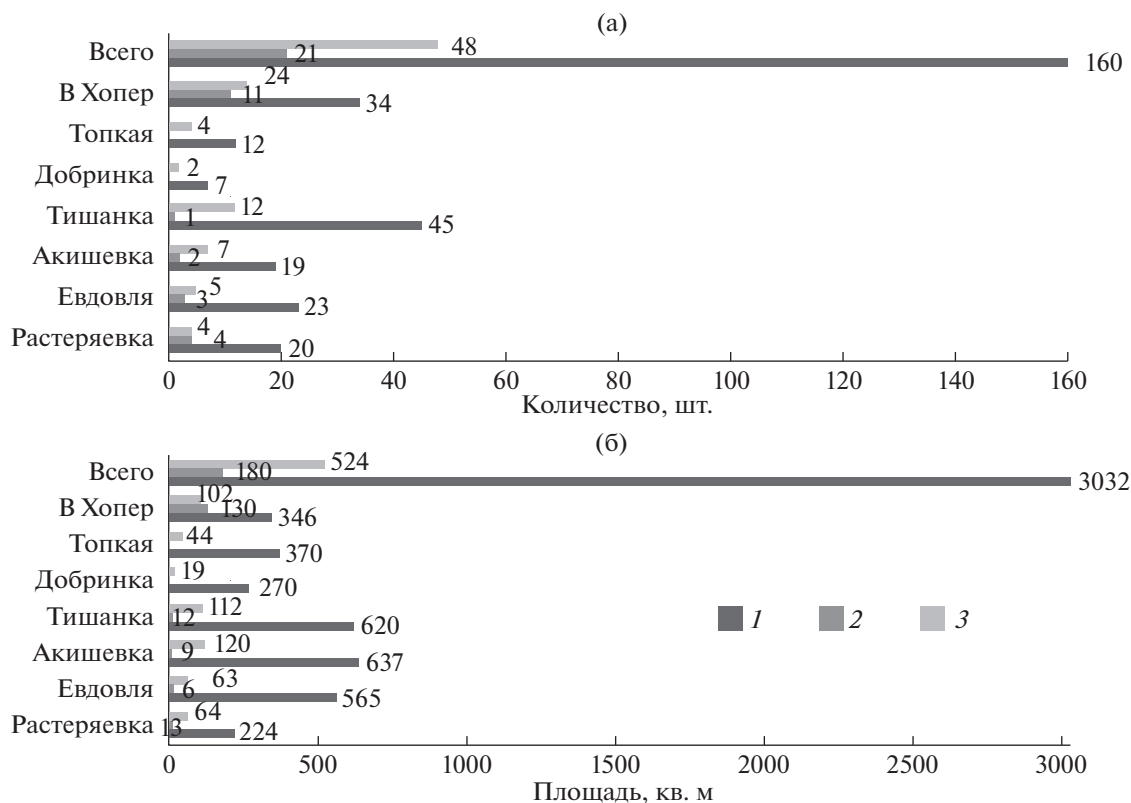


Рис. 3. Структура водосборов правобережья р. Хопер: (а) — количество собирающих водосборов и междоводосборных участков склонов, (б) — занимаемая площадь собирающими водосборами и междоводосборными участками склонов. 1 — собирающие водосборы; склоны (междоводосборные участки склонов): 2 — прямые, 3 — рассеивающие.

Fig. 3. Characteristics of the structure of the catchment of the right bank of the Khoher River: (a) — the number of catchment and intercatchment areas of slopes, (б) — the area occupied by catchments and intercatchment areas of slopes. 1 — catchment; slopes: 2 — straight (intercatchment sections of slopes), 3 — dispersing (intercatchment sections of slopes).

0.3 км/км², плотность вершин оврагов 0.4 шт./км², площадь пашни в водосборе, расположенной на склонах крутизной более 3° — 42%; площадь склонов крутизной более 8° не покрытых лесом — 33%; группа агроэкологического состояния “кризис” — овражное расчленение 0.6 км/км², плотность вершин оврагов 1.1 шт./км²; площадь пашни в водосборе, расположенной на склонах крутизной более 3° — 36%; площадь склонов крутизной более 8° не покрытых лесом — 46%; группа агроэкологического состояния “бедствие” — овражное расчленение 1.4 км/км², плотность вершин оврагов 3.5 шт./км², площадь пашни в водосборе, расположенной на склонах крутизной более 3° — 25%; площадь склонов крутизной более 8° не покрытых лесом — 61%.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

Выполненные исследования позволили оценить соотношение площадей и числа собирающих водосборов и междоводосборных участков склонов для расположенных в пределах исследуе-

мой территории бассейнов малых рек, притоков Хопра, и в целом для всего региона. Установлено, что собирающие водосборы занимают 82% от общей площади региона. Оставшиеся 18% приходятся на междоводосборные участки склонов и прилегающие к ним элементы речных пойм; 78% междоводосборных участков представлено рассеивающими склонами, а 22% — прямыми (рис. 3). Элементы речных пойм и днищ балок занимают 7% площади собирающих водосборов и 23% междоводосборных участков. Важной пространственной особенностью распространения междоводосборных участков склонов служит их значительная доля (40%) участия в структуре водосборов, открывающихся непосредственно в русло р. Хопер.

Особенности формирования стока воды и наносов в пределах исследуемого региона во многом определяются морфометрическими характеристиками собирающих водосборов и междоводосборных участков склонов и особенностями землепользования в их пределах.

Проведенный анализ основных морфометрических характеристик исследуемых единиц тер-

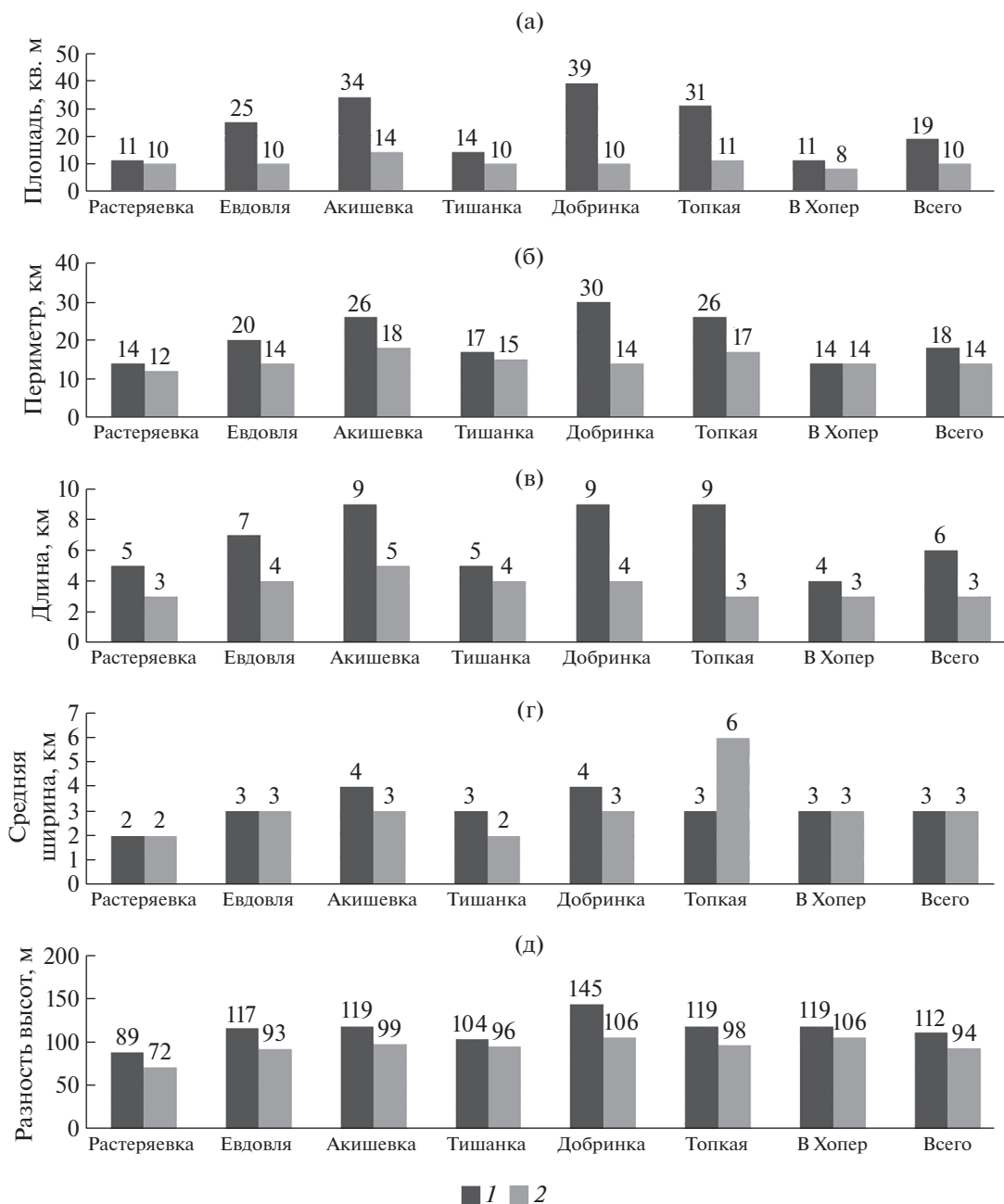


Рис. 4. Среднеарифметические морфометрические показатели балочных водосборов и межбалочных участков склонов правобережья р. Хопер: (а) – площадь, (б) – периметр, (в) – длина, (г) – средняя ширина (отношение площади водосбора к его длине), (д) – относительная высота. 1 – собирающие водосборы, 2 – межводосборные участки склонов.

Fig. 4. Arithmetic mean morphometric parameters of catchment and intercatchment areas of slopes of the right bank of the Kholer River: (a) – area, (b) – perimeter, (v) – length, (r) – average width (equal to the ratio of the catchment area to its length), (d) – relative height. 1 – catchment, 2 – intercatchment areas of slopes.

риториального деления выявил ряд отличий межводосборных участков склонов в сравнении с собирающими водосборами (рис. 4). Площадь собирающих водосборов, как правило, в два и более раз больше, чем у межводосборных участков склонов.

Исключением являются собирающие водосборы, открывающиеся непосредственно в пойму реки Хопер, у них среднеарифметические показатели больше лишь на 1/3. Это связано с тем, что собирающие водосборы представлены здесь преимущественно небольшими балками различного

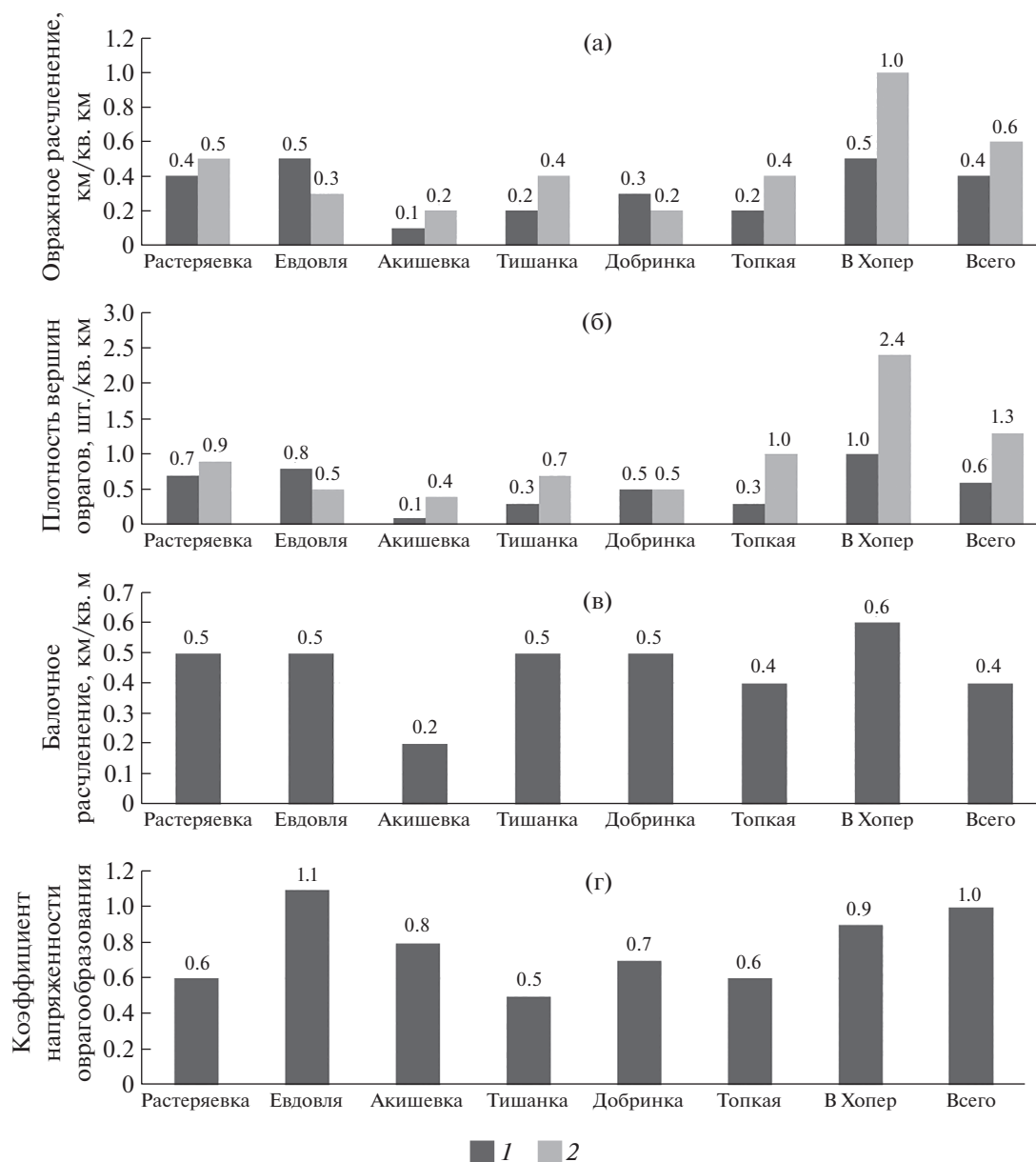


Рис. 5. Среднеарифметические показатели эрозионного состояния собирающих водосборов и междовосборных участков склонов: (а) – овражного расчленения, (б) – плотности вершин оврагов, (в) – балочного расчленения, (г) – коэффициента напряженности оврагообразования (отношение овражного расчленения к древнему (балочному)). 1 – собирающие водосборы, 2 – междовосборные участки склонов.

Fig. 5. Arithmetic mean indicators of the erosion state of collecting catchment and intercatchment areas of slopes: (a) – ravine subdivision, (б) – density of ravine tops, (в) – ravine subdivision, (г) – gully intensity coefficient (equal to the ratio of ravine subdivision to the ravine subdivision). 1 – catchment, 2 – intercatchment areas of slopes.

возраста, часть из которых трансформировались в балки из оврагов. Можно предположить, что данные эрозионные формы рельефа моложе протяженных овражно-балочных систем, характерных для бассейнов малых рек, притоков р. Хопер. Длины склонов на междовосборных участках короче, чем на собирающих водосборах, тогда как относительные высоты выше у собирающих водосборов. Междовосборные участки склонов, в сравнении с собирающими водосборами, характеризуются: а) меньшей долей, которую занима-

ют склоны с крутизной $0-0.5^\circ$ – данный показатель более чем в три раза меньше (4.4% площади междовосборных участков склонов против 14% площади балочных водосборов); б) приблизительно равными значениями площадей, соответствующих показателю доли склонов с крутизной $0.6-3^\circ$ (41% для междовосборных участков склонов и 43% для собирающих водосборов); большей долей, которую занимают территории крутизной $4-7^\circ$ (37% против 34%) (рис. 5).

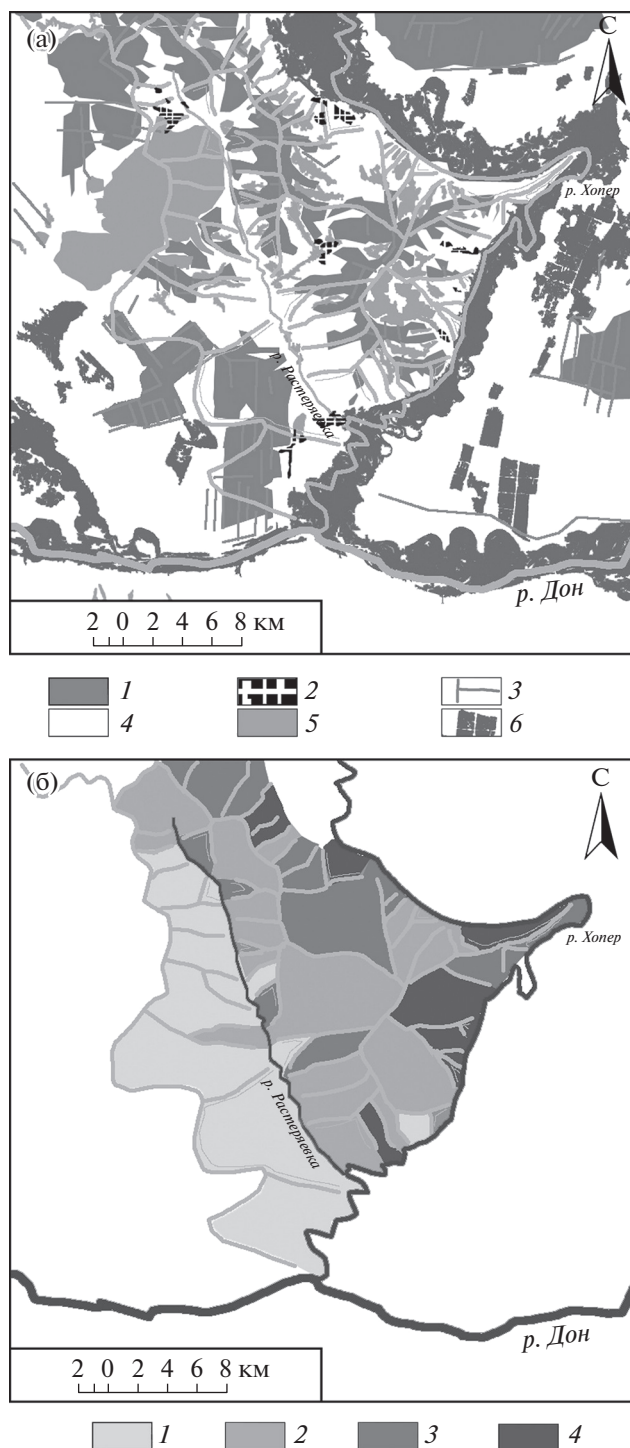


Рис. 6. Фрагменты карт правобережья р. Хопер. Структура: (а) – сельскохозяйственных угодий и распространение защитных лесных насаждений и лесов, (б) – агролесомелиоративной группировки водосборов. (а) – 1 – пашня, 2 – селитебные угодья, 3 – защитные лесные полосы, 4 – пастбища, 5 – леса, 6 – массивные защитные лесные насаждения. (б) – агролесомелиоративная группа водосборов: 1 – “норма”, 2 – “риск”, 3 – “кризис”, 4 – “бедствие”.

Fig. 6. Fragments of the created maps of the right bank of the Khoper River. Structure: (a) – of agricultural lands and the distribution of protective forest plantations and forests, (б) – agroforest reclamation grouping of catchment. (a) – 1 – arable land, 2 – residential areas, 3 – protective forest belts, 4 – pastures, 5 – forests, 6 – massive protective forest plantations. (б) – agroforestry group of catchment: 1 – “norm”, 2 – “risk”, 3 – “crisis”, 4 – “calamity”.

Используя карту эрозионного расчленения территории, мы определили параметры протяженности овражной и балочной сети и число оврагов, что позволило установить показатели эрозионного расчленения собирающих водосборов и междоводосборных участков склонов по потокам р. Хопер (рис. 6).

Среднеарифметические значения показателя овражного расчленения и плотности вершин оврагов, рассчитанные по всей выборке междоводосборных участков склонов, почти в два раза превышают значения, рассчитанные для собирающих водосборов (рис. 7).

Выявленные особенности долевого участия междоводосборных участков склонов в структуре речных бассейнов региона исследований, а также особенности морфометрических характеристик междоводосборных участков склонов согласуются с данными С.А. Румянцевой (2016), полученными при исследованиях, проведенных в Ростовской области. Ею установлено, что доля междоводосборных участков склонов от общей площади исследуемых пяти гидро-геоморфологических бассейнов находится в диапазоне от 21 до 30%, а их средняя площадь, как правило, в два раза меньше, чем у собирающих водосборов.

Следует отметить, что высокое овражное расчленение междоводосборных участков склонов потенциально способствует поступлению наносов и транспортируемых с ними загрязняющих веществ непосредственно в днища речных долин, а также в русла рек. В то же время наносы, формирующиеся в процессе смыва на пашне, и транспортируемые далее по балочной сети в основном переоткладываются по пути транспортировки. Коэффициент доставки наносов в днища речных долин с балочных водосборов зависит от протяженности сухоходной сети, а также наличия или отсутствия в днище балок вторичных овражных врезов (Безухов, 2019). Кроме того, определенная часть наносов переоткладывается в искусственных водоемах, создаваемых в днищах балок. Число подобных водоемов существенно выросло в последние десятилетия. Схожие выводы можно найти в исследованиях других авторов, проведенных в том числе и в регионе правобережья

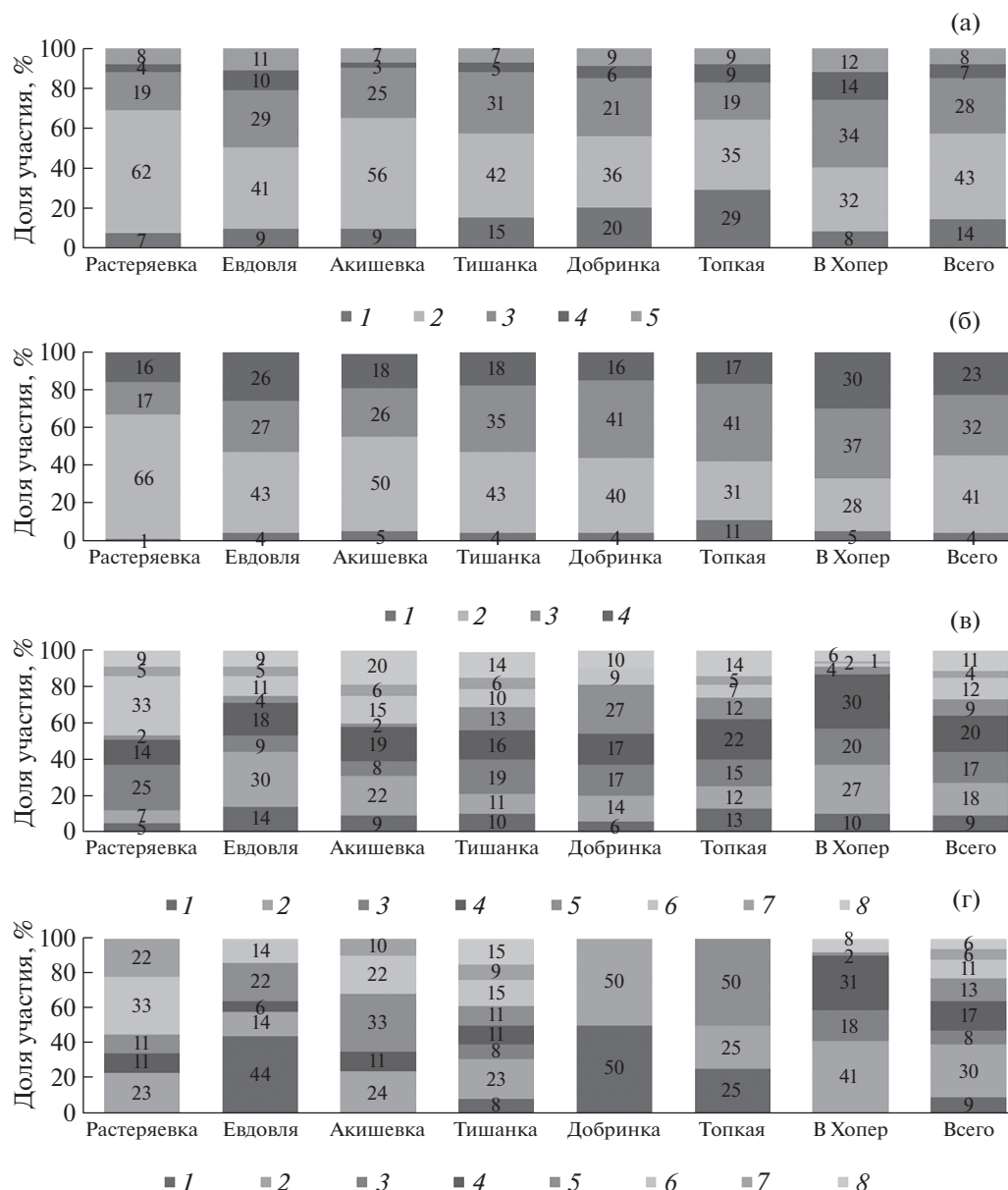


Рис. 7. Среднеарифметические показатели: (а) – участия в структуре балочных водосборов склонов с различной крутизной рельефа и элементов речных долин; (б) – участия в структуре межбалочных участков склонов поверхностей с различной крутизной рельефа, и элементов речных долин; (в) – участия в структуре балочных водосборов склонов с различными экспозициями; (г) – участия в структуре межбалочных участков склонов поверхностей с различными экспозициями. (а) – крутизна склонов: 1 – 0–0,5°, 2 – 0,6–3°, 3 – 4–7°; 4 – речные долины; 5 – крутые склоны (8–35°). (б) – крутизна склонов: 1 – 0–0,5°, 2 – 0,6–3°, 3 – 4–7°; 4 – элементы речных долин. (в–г) – экспозиция склонов: 1 – северная, 2 – северо-восточная, 3 – восточная, 4 – юго-восточная, 5 – южная, 6 – юго-западная, 7 – западная, 8 – северо-западная.

Fig. 7. Arithmetic mean indicators: (a) – participation of slopes with different relief steepness and elements of river valleys in the structure of catchment; (b) – participation in the structure of intercatchment areas of slopes of surfaces with different relief steepness, and elements of river valleys; (c) – participation of slopes with different exposures in the structure of catchment; (d) – participation in the structure of intercatchment areas of slopes of surfaces with different exposures. (a) – slopes with a steepness: 1 – of 0–0,5°, 2 – of 0,6–3°, 3 – of 4–7°; 4 – river valleys; 5 – slopes with a steepness of 8–35°. (б) – slopes with a steepness: 1 – of 0–0,5°, 2 – of 0,6–3°, 3 – of 4–7°; 4 – elements of river valleys. (в–г) – exposure slopes: 1 – northern, 2 – northeastern, 3 – eastern; 4 – southeastern, 5 – southern, 6 – southwestern, 7 – western, 8 – northwestern.

р. Хопер. Так, Н.П. Калиниченко в своей монографии приходит к выводу: “Первостепенным мероприятием, обеспечивающим предотвраще-

ние заиление малых рек ... закрепление оврагов, коренных, балочных и русловых берегов” (Калиниченко, 1992, с. 211). В исследованиях А.Ю. Си-

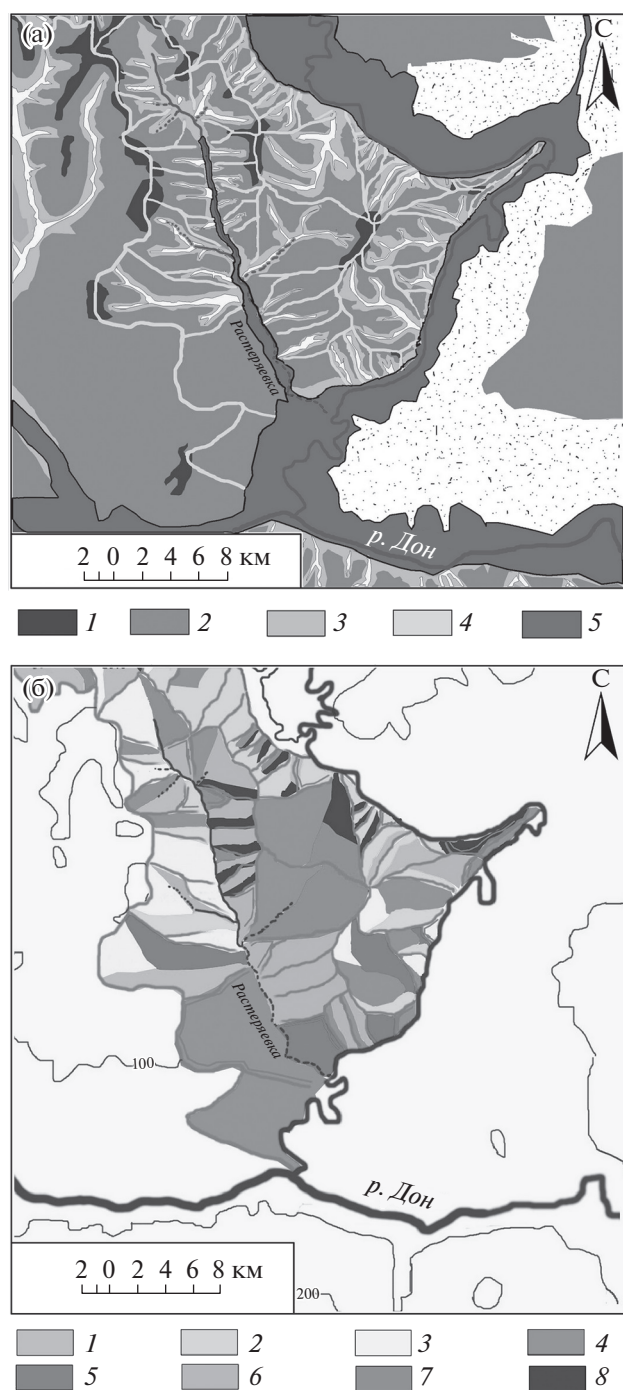


Рис. 8. Фрагменты карт правобережья р. Хопер: (а) — крутизна склонов водосборов и участие речных долин, (б) — экспозиция склонов водосборов. (а) — *крутизна склонов*: 1 — 0–0.5°; 2 — 0.6–3°; 3 — 4–7°; 4 — 8–35°; 5 — речные долины. (б) — *экспозиция склонов*: 1 — северная, 2 — северо-восточная, 3 — восточная, 4 — юго-восточная, 5 — южная, 6 — юго-западная, 7 — западная, 8 — северо-западная.

Fig. 8. Fragments of the created maps of the right bank of the Khoher River: (a) — steepness of catchment slopes and participation of river valleys, (b) — exposure of catchment slopes. (a) — *slopes with a steepness*: 1 — of 0–0.5°, 2 — of 0.6–3°, 3 — of 4–7°, 4 — of 8–35°; 5 — river valleys. (b) — *exposure slopes*: 1 — northern, 2 — northeastern, 3 — eastern; 4 — southeastern, 5 — southern, 6 — southwestern, 7 — western, 8 — northwestern.

дорчука (2015), посвященных типизации участков эрозионно-русловых систем, по балансу наносов (соотношению скоростей эрозии и аккумуляции) балки относятся к эрозионно-русловым системам, где преобладают процессы аккумуляции, а овраги — к эрозионным участкам.

На рис. 6 (а) представлен фрагмент карты структуры использования земель и распространения защитных лесных насаждений и лесов. Карта стала основой для расчета показателей соотношения сельскохозяйственных угодий и показателей облесенности водосборов (рис. 7). На рис. 8 (а, б) представлены фрагменты карт крутизны и экспозиций склонов, ставших источником для расчета показателей долевого участия с различной крутизной и экспозиционной характеристикой (рис. 9). Анализ диаграмм позволяет констатировать следующие отличия структуры угодий межводосборных участков склонов от остальной территории (собирающих водосборов):

— межводосборные участки склонов отличаются несколько большей долей селитебных угодий — 3% территорий против 1% у собирающих водосборов, что обусловлено предпочтительным размещением населенных пунктов на берегах постоянных водотоков. Учитывая, что в своем большинстве это сельские поселения, можно предположить, что здесь наблюдаются большие нагрузки на примыкающие к ним пастбища, а также большее количество грунтовых дорог, легко размываемых при формировании поверхностного стока. Скотопрогонные тропы и грунтовые дороги, которые располагаются вдоль склона, часто являются участками концентрации стока, что способствует развитию оврагов;

— межводосборные участки отличаются существенно меньшими показателями естественной лесистости — 8% против 14% у собирающих водосборов. Лес служит естественной защитой, предотвращающей развитие деградационных процессов. Для исследуемого региона данное обстоятельство чрезвычайно важно — естественные леса в регионе представлены байрачными лесами (за исключением леса Шакин, расположенного в водосборе р. Растеряевки — первого притока р. Хопер). Уменьшение общего показателя лесистости в водосборе свидетельствует о меньшей защищенности от воздействия эрозионных процессов наиболее крутых склонов (уклоны 4–7° и 8–35°);

— межводосборные участки отличаются большей долей пастбищ (55% против 35%) и меньшим количеством пашни (34% против 40%). Это связано с особенностями рельефа данных территорий — меньшей долей, которую занимают склоны крутизной 0–0.5° и большей долей склонов с уклоном 4–7° на данных участках.

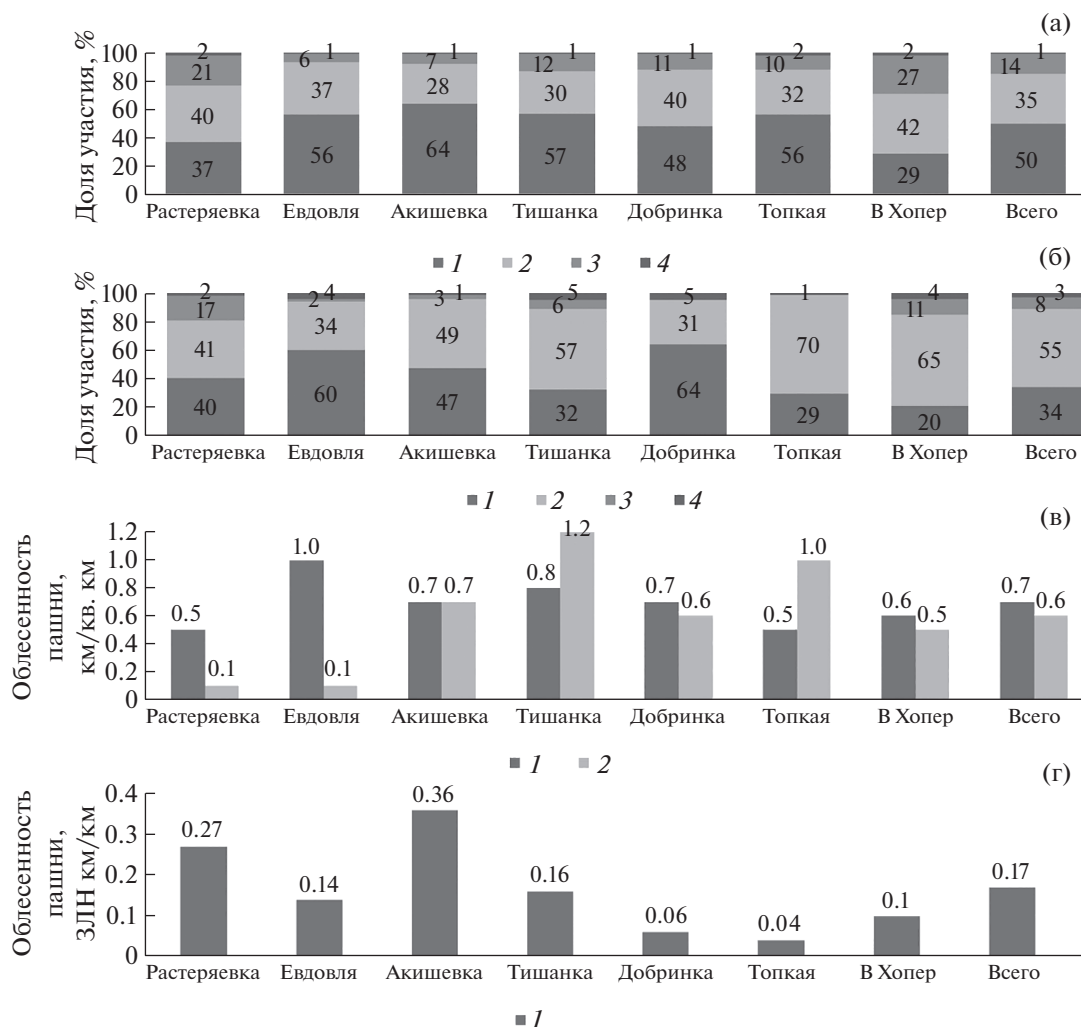


Рис. 9. Среднеарифметические показатели: (а) – участия различных угодий в структуре балочных водосборов, (б) – участия различных угодий в структуре межбалочных участков склонов, (в) – облесенности пашни, (г) – облесенности прибалочными защитными лесными насаждениями. (а–б) – 1 – пашня, 2 – пастбища, 3 – лес, 4 – селитебные. (в) – 1 – балочные водосборы, 2 – межбалочные участки склонов. (г) – 1 – балочные водосборы.

Fig. 9. Mean arithmetic indicators: (a) – participation of various lands in the structure of gully catchment, (б) – participation of various lands in the structure of intercatchment areas of slopes, (в) – afforestation of arable land, (г) – afforestation with protective forest plantations near the ravines. (а–б) – 1 – arable land, 2 – pastures, 3 – forest, 4 – residential. (в) – 1 – catchment, 2 – intercatchment areas of slopes. (г) – 1 – catchment.

На основе анализа зависимостей между ландшафтно-морфологическими параметрами собирающих водосборов (межводосборных участков склонов) и показателями современного эрозионного расчленения были выявлены величины с наибольшими коэффициентами корреляции (0.78 и 0.68). Данные показатели – площадь пашни на водосборе, расположенная на склонах крутизной более 3° (%), и площадь склонов крутизной более 8°, не покрытых лесом (%), наряду с величинами, характеризующими развитие линейной эрозии, были использованы для агролесомелиоративной типизации водосборов (рис. 6 (б)), выделения четырех групп условных агроэкологических

состояний территорий (“норма”, “риск”, “кризис”, “бедствие”).

Наиболее распространенной группой водосборов является группа “риск”. Площадь водосборов данной группы составляет 2035 км² или 52% от площади всего региона. Водосборы с выделяемым экологическим состоянием “норма” занимают площадь, равную 1212 км² или 31%. Водосборы группы “кризис” занимают 523 км² или 14%. Территории, экологическое состояние которых оценено как “бедствие”, занимают 141 км² или 4% площади региона исследования. Таким образом, в настоящее время на большей части ис-

следуемой территории с агроэкологической точки зрения не требуется значительных капитальных вложений для поддержания агроландшафтов в удовлетворительном состоянии. Тем не менее даже на территориях с агроэкологическим состоянием “норма”, где взаимодействие между компонентами агроландшафта рассматриваемой группы водосборов носит наиболее сбалансированный характер, существует небольшая потребность в проведении мелиоративных мероприятий. Агролесомелиоративные меры на данных водосборах должны быть направлены на увеличение потенциала защищенности от неблагоприятных факторов и обеспечение расширенного воспроизводства почвенных ресурсов.

Территории агроэкологического состояния “риск” являются основным источником производства сельскохозяйственной продукции. Взаимодействие природно-антропогенных факторов здесь носит довольно сбалансированный характер, поэтому радикальные методы борьбы с эрозией, такие как вывод части пашни под залужение, нецелесообразны. Основным направлением в комплексе адаптивно-ландшафтных мероприятий должно быть создание завершенных систем лесных полос, служащих каркасными элементами агроландшафта. Но при этом следует учитывать правильное расположение лесных полос. Недопустимо их размещение по направлению линий тока, так как это может спровоцировать развитие линейной эрозии на границе пашни и лесополосы.

Территории агроэкологического состояния “кризис” характеризуются развитием эрозионных процессов, обусловленных не только особенностями природных компонент агроландшафта (большая доля межводосборных участков склонов, минимальная лесистость), но и качественным характером антропогенной нагрузки. Особенностью ведения сельского хозяйства, которая была выявлена при проведении полевых исследований, является простота применяемых агротехнологий, не обеспечивающих воспроизводство почвенных ресурсов, а именно применение двухпольных севооборотов (пар – пшеница, пар – подсолнух). При условии выпадения экстремальных ливней это может спровоцировать катастрофический срыв, что наблюдалось в ряде регионов степной и лесостепной зоны Европейской части России (Belyaev et al., 2008; Шабаев, 2017). Приоритеты развития данной территории заключаются в обеспечении эффективного сельскохозяйственного производства, которое может быть достигнуто при обоснованном применении различных мероприятий комплекса адаптивно-ландшафтного земледелия (организационных, лесомелиоративных, агротехнических, лугомели-

оративных, гидротехнических). Особую роль при этом приобретают организационные мероприятия.

Наибольшего внимания требуют территории с агроэкологическим состоянием “бедствие”, где необходимо предотвратить дальнейшее катастрофическое развитие эрозионных процессов. Здесь требуются выведение значительных площадей пашни из активного сельскохозяйственного использования и их залужение, а также проведение лесомелиоративных мероприятий. Для увеличения скорости процессов восстановления естественной травяной растительности на выводимых из-под пашни участках следует проводить лугомелиоративные мероприятия (создание кольматирующих насаждений по днищу балок и долин малых рек, а также посадки леса на склонах).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Применяя геоинформационные пакеты прикладных программ и используя данные дешифрирования мозаик космических снимков и полевых исследований, созданы картографические модели агроландшафтов правобережья р. Хопер: структуры водосборов, эрозионного расчленения, крутизны и экспозиций склонов, сельскохозяйственного использования земель, защитных лесных насаждений и лесов.

Создана база параметрических данных для 160 собирающих водосборов и 69 межводосборных участков склонов. Полученная база данных проанализирована, при этом были выявлены основные статистические величины, характеризующие картографируемые параметры и особенности их пространственного распределения.

Важной особенностью эрозионных процессов правобережья р. Хопер является их активное развитие на межводосборных участках склонов. Среднее значение овражного расчленения для собирающих водосборов – 0.35 км/км^2 , для межводосборных участков склонов – 0.64 км/км^2 . Среднее значение плотности вершин оврагов для собирающих водосборов – 0.6 шт./км^2 , для межводосборных участков склонов – 1.3 шт./км^2 .

Наибольшие коэффициенты корреляции с эрозионным расчленением выделенных водосборов и межводосборных участков склонов (0.78 и 0.68) были выявлены для показателей площади пашни на водосборе, расположенном на склонах крутизной более 3° (%) и площади склонов крутизной более 8° , не покрытых лесом (%). Данные параметры наряду с величинами, характеризующими развитие эрозионных процессов, были использованы для агролесомелиоративной типизации водосборов.

Выделены четыре агролесомелиоративные группы водосборов (“норма”, “риск”, “кризис”, “бедствие”). Задачи, стоящие перед лесомелиорацией, набор применяемых технологий и степень потребности в проведении мелиоративных мероприятий для каждой из групп различаются.

Наиболее распространенной группой водосборов является группа “риск”. Площадь водосборов в этом состоянии составляет 2035 км², или 52% от площади всего региона. Водосборы с выделяемым экологическим состоянием “норма” занимают площадь, равную 1212 км² или 31%. Водосборы группы “кризис” занимают 523 км² или 14%. Территории, экологическое состояние которых оценено как “бедственное”, занимают 141 км² или 4% площади региона исследования.

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена по теме Государственного задания № 0713-2016-0508 “Разработать концептуально-методологические и информационно-технологические основы формирования экологически сбалансированных агролесоландшафтов и адаптивных систем земледелия с применением химических средств нового поколения для прецизионного производства растениеводческой продукции при сохранении и воспроизводстве почвенного плодородия и эффективного использования природно-ресурсного потенциала” ФНЦ агроэкологии РАН.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Арманд Д.Л. Наука о ландшафте. М.: Мысль, 1975. 286 с.
- Безухов Д.А. Рельеф как фактор эрозионно-аккумулятивных процессов в бассейнах малых рек южного максклона Русской равнины. Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. Томск: ТГУ, 2019. 147 с.
- Виноградов Б.В. Основы ландшафтной экологии. М.: ГЕОС, 1998. 417 с.
- Гаршинев Е.А. Формально-генетический анализ горизонталей местности в связи с контурным размещением противоэрозионных лесонасаждений // Лесомелиорация при контурном земледелии / Сб. науч. трудов. Вып. 1 (93). Волгоград: ВНИАЛМИ, 1988. 153 с.
- Гаршинев Е.А. Эрозионно-гидрологический процесс и лесомелиорация: теория и модели. Волгоград: ВНИАЛМИ, 1999. 196 с.
- Голосов В.Н. Эрозионно-аккумулятивные процессы в речных бассейнах освоенных равнин. М.: ГЕОС, 2006. 296 с.
- Глушко Е.В., Ермаков Ю.Г. Геоэкологическая оценка антропогенного воздействия на современные ландшафты по космическим снимкам // Природа и ресурсы. 1988. № 2–4. С. 32–44.
- Заславский М.Н., Ларионов Г.А., Литвин Л.Ф. Механизм и закономерности проявления процесса // Эрозионные процессы (Географическая наука практике). Ч. 2. Эрозия почв. Под ред. Н.И. Маккавеева, Р.С. Чалова. М.: Мысль, 1984. С. 31–44.
- Калининченко Н.П. Защита малых рек. М.: Экология, 1992. 354 с.
- Калининченко Н.П., Зыков И.Г. Противоэрозионная лесомелиорация. М.: Агропромиздат, 1986. 280 с.
- Карандеева М.В. Геоморфология Европейской части СССР. М.: Изд-во МГУ, 1957. С. 10–25.
- Козменко А.С. Основы противоэрозионной мелиорации. М.: Сельхозгиз, 1954. 423 с.
- Кочетов И.С., Барабанов А.Т., Гаршинев Е.А., Зыков И.Г. Агролесомелиоративное адаптивно-ландшафтное обустройство водосборов. Волгоград: ВНИАЛМИ, 1999. 84 с.
- Кулик К.Н. Применение аэрокосмических методов в агролесомелиорации: методические рекомендации. М.: ВАСХНИЛ, 1991. 56 с.
- Кулик К.Н., Рулев А.С., Юферев В.Г. Геоинформационный анализ динамики опустынивания на территории Астраханской области // Аридные экосистемы. 2015. № 3 (64). С. 23–32. <https://doi.org/10.1134/S2079096115030087>
- Курдюмов Л.Д. Закономерности эрозионно-аккумулятивного процесса. Л.: Гидрометеиздат, 1977. 128 с.
- Литвин Л.Ф. География эрозии почв сельскохозяйственных земель России. М.: Академкнига, 2002. 255 с.
- Маккавеев Н.И. Русло реки и эрозия в ее бассейне. М.: Геогр. ф-т МГУ, 2003. 355 с.
- Маркелов М.В. Современные эрозионно-аккумулятивные процессы в верхних звеньях гидрографической сети лесной и лесостепной зон. Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. М.: МГУ, 2004. 199 с.
- Милюков Ф.Н. Парагенетические ландшафтные комплексы. Воронеж: Воронежское отд. ГО СССР, 1966. 167 с.
- Рожков А.Г. Борьба с оврагами. М.: Колос, 1981. 199 с.
- Румянцева С.А. Изучение эрозионных процессов на водосборах по топографическим картам (к 90-летию со дня рождения Н.П. Калининченко) // Лесохоз. информ. электрон. сетевой журн. 2016. № 2. С. 49–57.
- Селезнева А.В., Дедова И.С. Морфогенетический анализ эрозионного рельефа Волгоградского правобережья // Геоморфология. 2019. № 4. С. 88–101. <https://doi.org/10.31857/S0435-42812019488-101>
- Сидорчук А.Ю. Баланс наносов в эрозионно-руслых системах // Геоморфология. 2015. № 1. С. 14–21.
- Струмилин С.Г. Статистика. М.: Гос. статист. изд-во, 1969. 420 с.
- Сурмач Г.П. Рельефообразование, формирование лесостепи, современная эрозия и противоэрозионная мелиорация. Волгоград: ВНИАЛМИ, 1992. 174 с.
- Справочник по климату СССР. Вып. 13. Л.: Гидрометеиздат, 1968. С. 156–172.

- Тухта С.А. Эрозионно-аккумулятивные процессы в бассейне р. Куды (Верхнее Приангарье). Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. Томск: ТГУ, 2019. 151 с.
- Шабает А.И. Избранные труды. Эрозия почв и адаптивно-ландшафтное земледелие. Саратов: ФГБНУ "НИИСХЮВ", 2017. 648 с.
- Швебс Г.И. Концепция парagenетических ландшафтов и природопользование // География и практика. Л.: Наука, 1988. С. 107–108.
- Шинбергенев Е.А. Картографо-геоинформационный анализ бассейновых геосистем малых рек водосбора реки Лены. Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. Казань: Приволжский федеральный университет, 2018. 198 с.
- Энциклопедия агролесомелиорации / Павловский Е.С. Волгоград: ВНИАЛМИ, 2004. 675 с.
- Belyaev V.R., Golosov V.N., Kislenko K.S., Kuznetsova J.S., and Markelov M.V. Combining direct observations, modelling, and ^{137}Cs tracer for evaluating individual event contribution to long-term sediment budgets // *Sediment Dynamics in Changing Environments*. (Proceedings of a symposium held in Christchurch, New Zealand, December 2008). IAHS Publ. 325. 2008. P. 114–122.
- Gitas I.Z., Douros K., Minakou Ch., Silleos G.N., and Karydas G.N. Multi-Temporal Soil Erosion Risk Assessment in N. Chalkidiki Using a Modified USLE Raster-Model // *EARSeL eProceedings 2009*. Vol. 8. No. 1. P. 40–52.
- Morgan R.P.C. Soil erosion and conservation / 3-rd ed. 2005. Blackwell Science Ltd. P. 11–261.
- Stone R.P. and Hilborn D. Universal Soil Loss Equation (USLE) // *Factsheet*. 2012. 7 p.
- Wang B., Zheng F., Romkens M.J.M., and Darboux F.B. Soil erodibility for water erosion: A perspective and Chinese experiences // *Geomorphology*. 2013. Vol. 187. P. 1–10.
<https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2013.01.018>

FEATURES OF THE SPREAD OF GULLY EROSION ON THE RIGHT BANK OF THE KHOPER RIVER (WITHIN THE VOLGOGRAD REGION)

A. A. Tubalov^{a, #}

^aFSBI "Federal Scientific Centre of Agroecology, Complex Milioration and Protective Afforestation
of the Russian Academy of Sciences", Russia, Volgograd

[#]E-mail: tubalovlexa1@rambler.ru

The area on the right bank of the river Khoper is in high demand for agroforestry activity. Results of combined geomorphological and landuse analysis of 3800 km² of territory adjacent to Khoper River valley including its 5 tributary basins revealed the areas that need forest reclamation for the most.

Results of comparative geomorphological and remote-sensing analysis, and field investigations of catchments and interfluvial slopes revealed differences in sediment transport and morphometrical parameters for each basin and their relationship to landuse practices. The results show that erosion is more intense on convex and straight interfluvial slopes than on the slopes of collective catchments.

The mean value of gully partitioning index calculated for the entire sample of interfluvial slopes is almost twice the value calculated for the sample of collecting catchments, 0.64 km/km² versus 0.35 km/km², respectively. The obtained data was used to classify agricultural landscape of the study area into four groups; "normal", "at risk", "in crisis", and "disastrous". Recommendation for best landuse practices aimed to avoid soil erosion were given to each group of the agricultural landscapes.

Keywords: erosion, catchment, inter-girder catchment, forest melioration

ACKNOWLEDGMENTS

The work was carried out on the topic of State Assignment No. 0713-2016-0508 "To develop conceptual-methodological and information-technological bases for the formation of ecologically balanced agroforestry landscapes and adaptive farming systems with the use of new generation chemicals for precision production of crop products while maintaining and reproduction of soil fertility and effective use of natural resource potential" Federal Scientific Centre of Agroecology, Complex

Milioration and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences".

REFERENCES

- Armand D.L. *Nauka o landshafte* (Science of the landscape). M.: Mysl (Publ.), 1975. 286 p. (in Russ)
- Belyaev V.R., Golosov V.N., Kislenko K.S., Kuznetsova J.S., and Markelov M.V. Combining direct observations, modelling, and ^{137}Cs tracer for evaluating individual event contribution to long-term sediment budgets.

- Sediment Dynamics in Changing Environments* (Proceedings of a symposium held in Christchurch, New Zealand, December 2008). IAHS Publ. 325., 2008. P. 114–122.
- Bezukhov D.A. *Relief kak faktor erozionno-akkumulyativnykh protsessov v basseynakh malykh rek yuzhnogo megasklona Russkoi ravniny* (Relief as a factor of erosion-accumulative processes in the basins of small rivers of the southern mega-slope of the Russian Plain). PhD thesis. Tomsk: TSU (Publ.), 2019. 147 p. (in Russ)
- Garshinev E.A. Formal-genetic analysis of contour lines of the area in connection with the contour placement of anti-erosion forest plantations. *Lesomelioratsiya pri konturnom zemledelii. Sbornik nauchnykh trudov*. Iss. 1 (93). Volgograd: VNIALMI (Publ.), 1988. 153 p. (in Russ)
- Garshinev E.A. *Eroзионно-гидрологический процесс и лесомелиорация: теория и модели* (Erosion-hydrological process and forest melioration: theory and models). Volgograd: VNIALMI (Publ.), 1999. 196 p.
- Gitas I.Z., Douros K., Minakou Ch., Silleos G.N., and Karydas G.N. Multi-Temporal Soil Erosion Risk Assessment in N. Chalkidiki Using a Modified USLE Raster Model. *EARSeL eProceedings*. 2009. Vol. 8. No. 1. P. 40–52.
- Glushko E.V. and Ermakov Yu.G. Geoecological assessment of anthropogenic impact on modern landscapes using space images. *Priroda i resursy* (Nature and resources). 1988. No. 2–4. P. 32–44. (in Russ)
- Golosov V.N. *Eroзионно-akkumulyativnye protsessy v rechnykh basseynakh osvoennykh ravnin* (Erosion-accumulative processes in the river basins of the developed plains). M.: GEOS (Publ.), 2006. 296 p. (in Russ)
- Karandeeva M.V. *Geomorfologiya Evropeiskoi chasti SSSR* (Geomorphology of the European part of the USSR). M.: MSU (Publ.), 1957. P. 10–25. (in Russ)
- Kalinichenko N.P. and Zykov I.G. *Protivoerozionnaya lesomelioratsiya* (Anti-erosion forest reclamation). M.: Agropromizdat (Publ.), 1986. 280 p. (in Russ)
- Kalinichenko N.P. *Zashchita malykh rek* (Protection of small rivers). M.: Ecology (Publ.), 1992. 354 p. (in Russ)
- Kulik K.N. *Primenenie aerokosmicheskikh metodov v agrolesomelioratsii: metod. rekom.* (Application of aerospace methods in agroforestry: method. Recom). M.: VASKHNIL (Publ.), 1991. 56 p. (in Russ)
- Kulik K.N., Rulev A.S., and Yuferev V.G. Geoinformation analysis of the dynamics of desertification in the Astrakhan region. *Aridnye ekosistemy* (Arid ecosystems). 2015. No. 3 (64). P. 23–32. (in Russ). <https://doi.org/10.1134/S2079096115030087>
- Kurdyumov L.D. *Zakonomernosti erozionno-akkumulyativnogo protsesssa* (Regularities of the erosion-accumulative process). L.: Gidrometeoizdat (Publ.), 1977. 128 p. (in Russ)
- Kochetov I.S., Barabanov A.T., Garshinev E.A., and Zykov I.G. *Agrolesomeliorativnoe adaptivno-landshaftnoe obustroistvo vodosborov* (Agroforestry adaptive landscape arrangement of water-boring areas). Volgograd: VNIALMI (Publ.), 1999. 84 p. (in Russ)
- Kozmenko A.S. *Osnovy protivooerozionnoi melioratsii* (Fundamentals of anti-erosion melioration). M.: Selkhozgiz (Publ.), 1954. 423 p. (in Russ)
- Litvin L.F. *Geografiya erozii pochv sel'skhozyaistvennykh zemel' Rossii* (Geography of soil erosion of agricultural lands in Russia). M.: Akademkniga (Publ.), 2002. 255 p. (in Russ)
- Makkaveev N.I. *Ruslo reki i eroziya v ee basseine* (River bed and erosion in its basin). M.: Geogr. Faculty of MSU, (Publ.), 2003. 355 p. (in Russ)
- Markelov M.V. *Sovremennye erozionno-akkumulyativnye protsessy v verkhnikh zven'yakh gidrograficheskoi seti lesnoi i lesostepnoi zon* (Modern erosion-accumulative processes in the upper links of the hydrographic network of the forest and forest-steppe zones). PhD thesis. M.: MSU (Publ.), 2004. 199 p. (in Russ)
- Milkov F.N. *Parageneticheskie landshaftnye komplekсы* (Paragenetic landscape complexes). Voronezh: Voronezhskoe department Geographical Society of the USSR (Publ.), 1966. 167 p. (in Russ)
- Morgan R.P.C. Soil erosion and conservation. 3-rd ed. *Blackwell Science Ltd*. 2005. P. 11–261.
- Pavlovsky E.S. (Ed.) *Entsiklopediya agrolesomelioratsii* (Encyclopedia of Agroforestry). Volgograd: VNIALMI (Publ.), 2004. 675 p. (in Russ.)
- Rozhkov A.G. *Bor'ba s ovragami* (Struggle with ravines). M.: Kolos (Publ.), 1981. 199 p. (in Russ)
- Rumyantseva S.A. Study of erosion processes in catchments using topographic maps (to the 90th anniversary of the birth of NP Kalinichenko). *Lesokhoz. inform. elektron. setevoi zhur.* 2016. No. 2. P. 49–57. (in Russ)
- Schwebs G.I. The concept of paragenetic landscapes and nature management. *Geografiya i praktika*. L.: Science (Publ.), 1988. P. 107–108. (in Russ)
- Shabaev A.I. *Izbrannye trudy. Eroziya pochv i adaptivno-landshaftnoe zemledelie* (Selected works. Soil erosion and adaptive landscape agriculture). Saratov: FGBNU “NIISKhYuV” (Publ.), 2017. 648 s. (in Russ)
- Shynbergenov E.A. *Kartografo-geoinformatsionnyi analiz basseynovykh geosistem malykh rek vodosbora reki Leny* (Cartographic-geoinformation analysis of basin geosystems of small rivers of the Lena River catchment area). PhD thesis. Kazan: VSU (Publ.), 2018. 198 p. (in Russ)
- Sidorchuk A.Yu. Sediment balance in erosion-deposition systems. *Geomorfologiya*. 2015. (1): 14–21. (in Russ.)
- Selezneva A.V. and Dedova I.S. Morphogenetic analysis of the erosional relief of the Volgograd right bank. *Geomorfologiya*. 2019. No. 4. P. 88–101. (in Russ). <https://doi.org/10.31857/S0435-42812019488-101>
- Stone R.P. and Hilborn D. Universal Soil Loss Equation (USLE). *Fact-sheet*. 2012. 7 p.
- Spravochnik po klimatu SSSR* (Reference book on the climate of the USSR). Iss. 13. L.: Gidrometeoizdat (Publ.), 1968. P. 156–172. (in Russ)
- Strumilen S.G. *Statistika* (Statistics). M.: State Statistical Publishing House (Publ.), 1969. 420 p.
- Surmach G.P. *Rel'efoobrazovanie, formirovanie lesostepi, sovremennaya eroziya i protivooerozionnaya melioratsiya* (Relief formation, formation of forest-steppe, modern

- erosion and anti-erosion melioration). Volgograd: B.I. (Publ.), 1992. 174 p. (in Russ)
- Tukhta S.A. *Erozionno-akkumulyativnye protsessy v basseine r. Kudy (Verkhnee Priangara'e)* (Erosion-accumulative processes in the Kuda river basin (Upper Angara region)). PhD thesis. Tomsk: TSU (Publ.), 2019. 151 p. (in Russ)
- Vinogradov B.V. *Osnovy landshaftnoi ekologii* (Fundamentals of landscape ecology). M.: GEOS (Publ.), 1998. 417 p.
- Zaslavsky M.N., Larionov G.A., and Litvin L.F. *The mechanism and patterns of manifestation of the process. Eroziionnye protsessy* (Geograficheskaya nauka praktike). Ch. 2. Eroziya pochv. N.I. Makkaveev and R.S. Chalov (Eds). M.: Geogr. Faculty of MSU (Publ.), 1984. P. 31–44. (in Russ)
- Wang B., Zheng F., Romkens M.J.M., and Darboux F.B. Soil erodibility for water erosion: A perspective and Chinese experiences. *Geomorphology*. 2013. Vol. 187. P. 1–10.
<https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2013.01.018>