

© О. П. ЕРМОЛАЕВ

ЭРОЗИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ В БАСЕЙНОВЫХ ГЕОСИСТЕМАХ СРЕДНЕГО ПОВОЛЖЬЯ

Введение. Современная склоновая эрозия, протекающая в условиях высокой сельскохозяйственной освоенности лесной, лесостепной и степной зон Земли, выступает главным фактором деградации педосферы. Эрозия, протекающая на распаханых и пастбищных склонах речных бассейнов, является природно-антропогенным процессом, которому присуща высокая интенсивность. Кроме того, изменяется и сам характер пространственной организации явления, который из ареально-очагового в природных ландшафтах речных бассейнов трансформируется в поясную структуру («пояса эрозии») в природно-антропогенных геокомплексах [2].

Основной целью исследования было выявление пространственных закономерностей развития и функционирования процессов природно-антропогенной эрозии на склонах бассейнов малых рек Среднего Поволжья с использованием геоинформационных технологий.

Выбор в качестве региона исследования территории Среднего Поволжья обусловлен исключительно широким распространением здесь всего спектра процессов эрозии. Основное внимание уделяется процессам почвенной и овражной эрозии. Бассейновая эрозия оценивалась интегрально по развитию оврагов и эродированных почв в водосборах малых рек в пределах территории Татарстана, Чувашии, Марий Эл и Ульяновской области (общая площадь около 150 000 км²). Анализ существующих материалов, посвященных процессу эрозии почв Среднего Поволжья, показывает, что исследования, охватывающие всю территорию этого региона, были проведены, как правило, в мелком масштабе. Многие материалы просто устарели и не отражают фактическое проявление эрозии, наблюдавшейся в течение последних десятилетий.

Методика. Определение площадей эродированных почв осуществлялось по среднемасштабным картам (1:200 000), составленным на основе фондовых материалов бывших Гипроземов по районным картам эрозии (масштабов 1:25 000, 1:50 000).

В анализе использовался бассейновый подход. Всего при количественной оценке эрозии учтен 3331 бассейн малых рек со средней площадью 39 км². Это, как правило, бассейны рек 3-го порядка. Методология бассейнового подхода наилучшим образом дает представление о пространственной организации процессов склоновой эрозии.

Именно эта методология позволяет надежно выявлять пространственно-временные закономерности процесса на региональном и глобальном уровне генерализации в силу специфики представления исходного материала.

В качестве основного метода пространственного анализа и при создании тематических карт эрозии и районирования использовался метод ГИС-технологий. Была также создана специализированная эрозионная геоинформационная система, включающая векторные «слои» границ речных бассейнов, гидросети, контуров смытых почв, густоты оврагов, лесистости, площадей пахотных земель, гидроклиматических, геоморфологических и других пока-

зателей [4]. В общей сложности геоинформационная база данных пространственного анализа содержит более 50 параметров.

Для количественного анализа и пространственного отображения данных по эрозии нами предлагается несколько показателей, характеризующих почвенную и бассейновую эрозию [3, 10, 11].

Показатель эрозии почв (ЭП). В границах бассейна определялась площадь (в км²), занимаемая каждой категорией смытых почв. Данные по ЭП заносились в электронную базу данных. В каждом бассейне определена также доля площадей каждой категории смытых почв от площади сельскохозяйственных угодий. Сумма долей слабо-, средне- и сильносмытых почв давала интегральный показатель площадного развития ЭП в данном бассейне. Между тем проведенный анализ свидетельствует о нецелесообразности непосредственного использования долей суммарной эродированности при районировании и особенно при количественной оценке факторов почвенной эрозии. Обусловлено это тем, что при таком подходе практически невозможно адекватно отобразить интенсивность смыва почв при одних и тех же значениях суммарной эродированности.

В связи с вышесказанным для оценки ЭП в бассейнах нами предлагается другой показатель, отражающий не только площадь пораженных эрозией земель, но и интенсивность процесса. Весовые коэффициенты для почв различных категорий смытости подбирались на основе детального анализа снижения запасов гумуса (в т/га) и процентного содержания гумуса в пахотных горизонтах, наиболее распространенных на территории исследования почв (дерново-подзолистых, светло-серых, серых, темно-серых лесных и черноземов) с учетом их гранулометрического состава. Анализ этой информации позволяет считать, что интенсивность почвенной эрозии в направлении от слабо-, к средне- и сильносмытым категориям почв изменяется в соотношении 1:3:5. Полученное соотношение в дальнейшем использовалось в качестве весовых коэффициентов при определении интенсивности почвенной эрозии в бассейне.

Итоговый показатель, в дальнейшем использовавшийся для количественной оценки почвенной эрозии в речных бассейнах, принял следующий вид:

$$\mathcal{E}_П = ((P_1 + 3 \cdot P_2 + 5 \cdot P_3) / P_{C3})^{1/2}, \quad (1)$$

где $\mathcal{E}_П$ — показатель почвенной эрозии; P_1, P_2, P_3 — соответственно площади слабо-, средне- и сильносмытых почв, км²; P_{C3} — площади сельскохозяйственных земель, км².

Показатель бассейновой эрозии (БЭ) был сконструирован на основе данных по эрозии почв и густоте овражного расчленения. В итоге данный показатель принял вид:

$$\mathcal{E}_Б = (((P_1 + 3 \cdot P_2 + 5 \cdot P_3) / P_{C3}) + 0.3 \cdot \Gamma_O)^{1/2}, \quad (2)$$

где $\mathcal{E}_Б$ — показатель бассейновой эрозии; Γ_O — густота овражной эрозии (км/км²); 0.3 — весовой коэффициент, имеющий размерность в км.

На наш взгляд, этот показатель правомерно использовать при количественной оценке бассейновой эрозии, поскольку он отражает практически весь спектр эрозионных процессов, происходящих на склонах речных долин.

Действительно, почвенная эрозия доминирует на пашне, расположенной за бровками овражных систем, где почвенный покров подвергается разрушению микроручейковой и промоинной эрозии. При этом слабосмытые почвы формируются под воздействием, главным образом, микроручейковой эрозии, среднесмытые — микроручейковой и промоинной, сильносмытые — промоинной [2]. Густота же оврагов служит надежной характеристикой интенсивности овражной эрозии в бассейне. Пояснений требует весовой коэффициент. Он подбирался на основе предположения об интенсивности овражной эрозии как экологической катастрофы в локальной окрестности, данных по средней ширине оврагов и доли овражной эрозии в целом от бассейновой.

Общеизвестно, что интенсивность размыва по трассе оврага чрезвычайно высока (размываются все горизонты почв и подстилающие породы), на порядок превышая интенсивность почвенной эрозии. Поэтому на первом этапе весовой коэффициент был равен 30. Между тем такая высокая интенсивность в отличие от эрозии почвы наблюдается на ограниченной площади — по линии овражного размыва. Поэтому исходный коэффициент 30 был умножен на среднюю ширину оврага, которая в исследуемом регионе в среднем по всем типам оврагов составила 0.01 км. Средняя ширина оврагов определялась по данным о площади и длине около 7000 оврагов различных типов на востоке Русской равнины, полученным И. И. Рысиным [9]. Очень близки к этим результатам материалы по ширине оврагов, приводимые Е. Ф. Зориной и др. [5]. Весовой коэффициент в уравнении отражает и существующие соотношения в объемах переносимого по склонам бассейна материала между почвенной и овражной эрозией. Наглядно подобное утверждение подтверждают вычисления среднего слоя овражной эрозии, проведенные для территории Удмуртии И. И. Рысиным [9]. Анализ полученных им данных свидетельствует о том, что средний слой овражной эрозии за все время оврагообразования на сельскохозяйственных угодьях республики составил лишь 0.2 мм. По нашим материалам, полученным для ежегодных потерь почвы в поясах эрозии за весь агрокультурный период, слой почвенного смыва со склонов бассейнов на порядок и более превышает слой овражной эрозии [2]. Аналогичные соотношения получены также и рядом других исследователей [1, 5, 6]. Поиск пространственных закономерностей развития эрозионных процессов, а также решение практических задач по разработке территориальных схем противоэрозионных мероприятий, невозможен без картографического представления изучаемого природного феномена. Пространственное развитие различных видов склоновой эрозии показано на соответствующих тематических картах. Для их составления в качестве базового геоинформационного слоя была векторизована сетка бассейнов. Отметим также, что, несмотря на хорошую изученность территории Среднего Поволжья в отношении эрозии, до настоящего времени не было опубликовано карт эрозионного расчленения, соответствующих региональному уровню генерализации. Имеющиеся по отдельным республикам и областям карты составлены по разным легендам с использованием не сближающихся между собой интервалов расчленения, что значительно затрудняет обобщение материалов.

Результаты. Эрозия почвы. По всей выборке, где присутствуют сельхозугодья (а это 3269 бассейнов), наблюдается явное преобладание категории слабосмытых почв. В среднем их доля в регионе составляет 27 %, тогда как на долю средне- и сильносмытых приходится соответственно 6.6 и 0.7 %. В то же время необходимо отметить чрезвычайно большую неравномерность про-

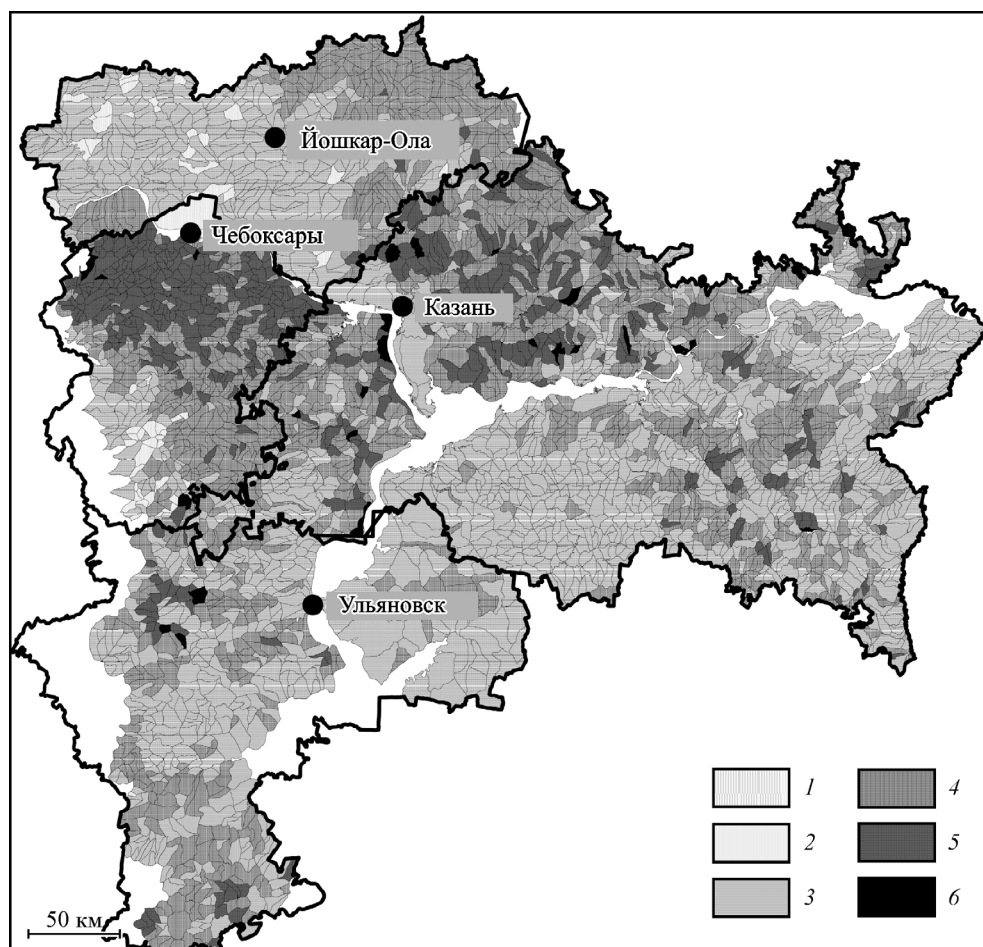


Рис. 1. Интенсивность эрозии почв.

1 — с/х угодья отсутствуют, 2 — очень слабая, 3 — слабая, 4 — умеренная, 5 — сильная, 6 — очень сильная.

странственного и внутрибассейнового распространения эродированных почв. Например, слабосмытые разности в бассейне могут занимать от 0 до 100 % территории, среднесмытые — до 99, сильносмытые — до 80.5 %.

В соответствии со значениями рассчитанного показателя интенсивности эрозии почв вся исследуемая территория была разбита на следующие типологические районы: 1) с отсутствием сельхозугодий, 2) очень слабой (0.0), 3) слабой (0.0—0.5), 4) умеренной (0.5—1.0), 5) сильной (1.0—1.5), 6) очень сильной (>1.5) эрозии (рис. 1).

Самую значительную группу (1196 бассейнов) формируют бассейны, имеющие *среднюю* или *умеренную* эрозию почв. Больше всего участков с такой эрозией на северо-востоке Марий Эл, в бассейнах рек Булы, Мешы, Казанки, на междуречьях Степного Зая—Шешмы, Мензели—Лесного Зая. Умеренная эрозия проявляется в условиях возвышенного рельефа (преобладают интервалы высот 180—240 м). Склоны речных долин имеют среднюю длину 1500 м и глубину расчленения 80—120 м. Эрозия развивается на самых раз-

нообразных подтипах почв пестрого гранулометрического состава: от выщелоченных и типичных глинистых и тяжело суглинистых черноземов до средне- и легкосуглинистых светло-серых лесных и дерново-подзолистых (содержание гумуса в среднем 4.6 %). Все эти бассейны имеют лесистость от 5 до 25 %, небольшие средние уклоны в 1.5—2 град, запасы воды в снежном покрове (<95 мм) и довольно значительную площадь лугов и пастбищ (>12 %). Почвообразующими породами, как правило, выступают глинисто-мергельные и глинисто-известняковые отложения татарского и уфимского яруса верхней перми. В данном районе развиты все категории смытых почв. Бассейны с *сильной* почвенной эрозией (552 бассейна) расположены относительно компактной группой в бассейнах рек Цивилия, Кубни, Улемы, Казанки, Меши, а также в Волжско-Свияжском междуречье, на правом берегу нижнего течения Суры, в малых бассейнах правобережной Камы в пределах Западного Предкамья РТ. Особенно многочисленную группу с сильной ЭП образуют бассейны, располагающиеся в северной части Приволжской возвышенности в пределах Чувашского Предволжья. Здесь высокая распашка территории (61.7 %), незначительная залесенность (<10 %), высокая доля сельских населенных пунктов (8.5 %), свидетельствующая о больших земледельческих нагрузках на почвы, которые представлены в основном глинистыми и тяжелосуглинистыми светло-серыми лесными подтипами со средним содержанием гумуса в пахотном горизонте 4.0 %. Большие площади земель заняты не только слабосмытыми (43.8 %), но и среднесмытыми почвами (26.5 %). Значительно выше средних региональных значений и доля сильносмытых почв (2.7 %). Резко усиливается и овражная эрозия, в 1.5 раза превышая средние для региона показатели густоты расчленения (0.499 км/км²). Эрозионным процессам во многом способствуют рельеф и климатические условия. Так, здесь высокие уклоны бассейнов при относительно небольшой средней длине склонов рек (1150 м). Преобладающие абсолютные высоты соответствуют интервалу 140—200 м (72.2 %). Для этого района характерны одни из самых больших в Среднем Поволжье значений весеннего стока 5 % обеспеченности (122 мм), эрозионный потенциал осадков 10-минутной максимальной интенсивности (11—12 ед.), запасы воды в снеге (95 мм), коэффициент стока (0.23) и некоторые другие.

Очень сильная эрозия почв присуща для чуть более 1 % бассейнов. Она встречается локальными участками в основном по правобережью Волги, в бассейнах рек Казанки, Берсута, Бетьки, низовьях Барыша. В этом районе почвы практически полностью эродированы. Максимальные значения эрозии (до 2.01) встречаются в бассейнах правобережья Волги. Для этих участков характерны высокое горизонтальное (>2.4 км/км²) и вертикальное (>160 м) расчленение, почти сплошная распашка склонов (>80 %), значительный весенний сток с зяби 5%-ной обеспеченности (>130 мм) и средние уклоны бассейнов (>3 град), светло-серые и серые лесные почвы глинистого и тяжело суглинистого мехсостава с низким содержанием гумуса (3.5 %).

Карта процессов *бассейновой эрозии* (рис. 2) составлена на основе разработанного показателя и материалов по интенсивности почвенной и овражной эрозии. Минимальное значение показателя бассейновой эрозии равно нулю, максимальное — 2.03. По интенсивности бассейновой эрозии выделяются следующие группы районов: 1) спорадической (0.0), 2) очень слабой (0.0—0.3), 3) слабой (0.3—0.6), 4) умеренной (0.6—0.9), 5) сильной (0.9—1.2), 6) очень сильной (1.2—2.05) эрозии.

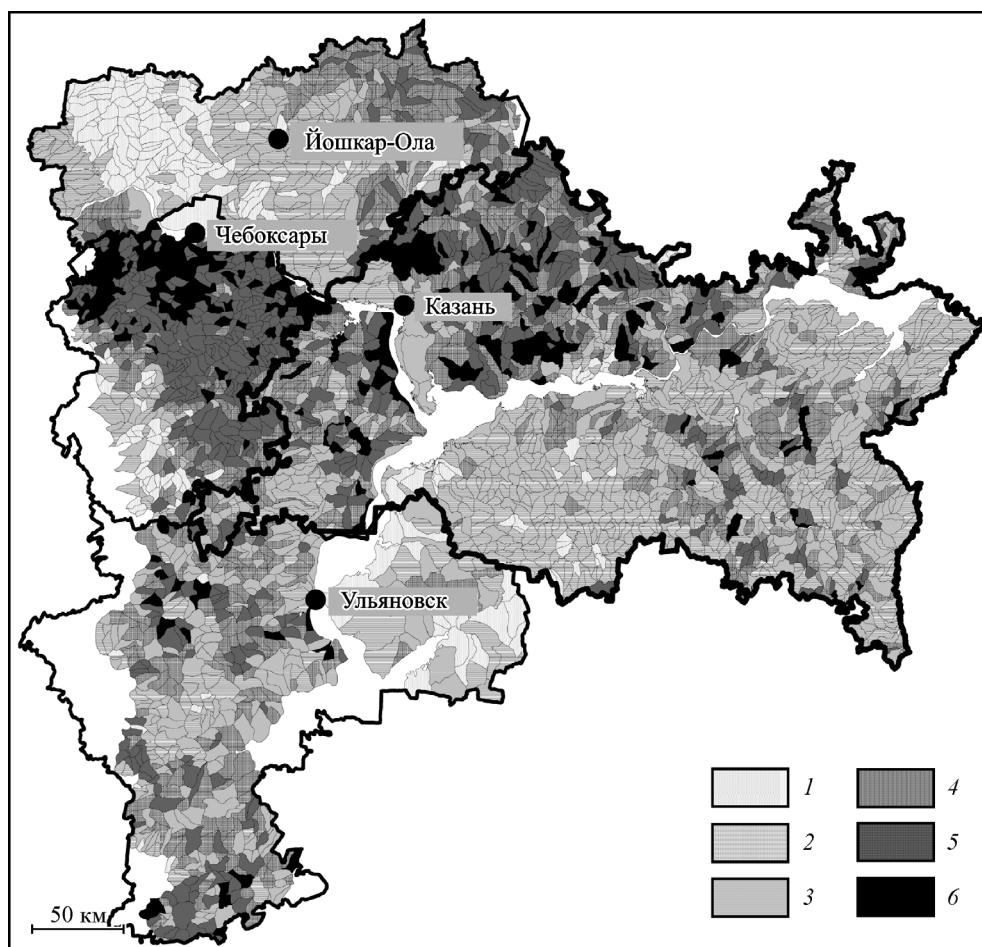


Рис. 2. Интенсивность бассейновой эрозии.

1 — спорадическая, 2 — очень слабая, 3 — слабая, 4 — средняя, 5 — сильная, 6 — очень сильная.

Для районов с сильной и очень сильной бассейновой эрозией характерна сильная почвенная и овражная эрозия. В частности, суммарная эродированность почвенного покрова составляет 70—76 %. В структуре смытых почв заметное место начинают занимать среднесмытые разности (от 11 до 35 %). Густота оврагов увеличивается с 0.396 до 0.664 км/км². Эрозия развивается в условиях возвышенного рельефа (в интервале 140—240 м находится от 72 до 80 % территории), со средними показателями глубины расчленения (112 м), высокими значениями уклонов (>2.3 град) и сильного антропогенного пресса (пашня >60 %, населенные пункты 6.4—8.4 %, лесистость 19—21 %). Заметно возрастает в сравнении с другими районами модуль половодного стока, весенний сток с зяби 5%-ной обеспеченности и уменьшается содержание гумуса в пахотном горизонте почвы (с 5.5 до 3.9 %).

Карта густоты овражного расчленения (рис. 3) составлена на основе базы данных, сформированной при анализе овражного расчленения востока Русской равнины [8].

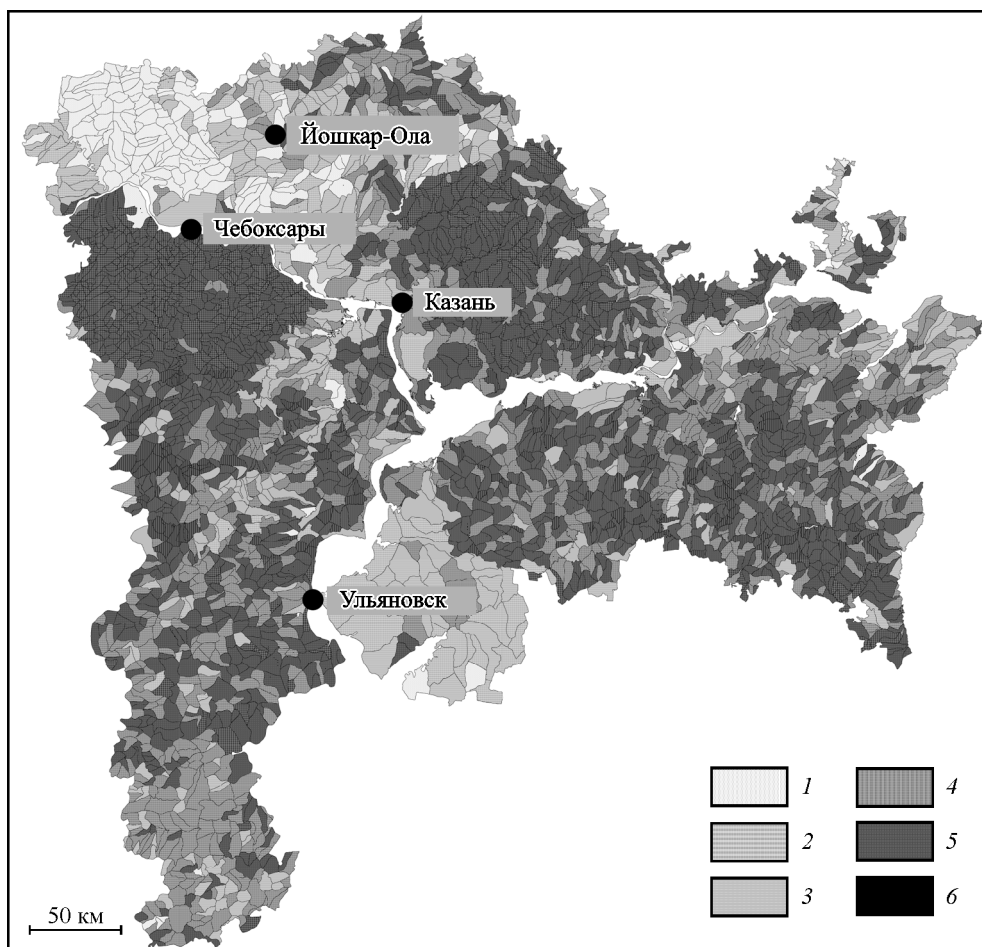


Рис. 3. Густота овражного расчленения территории.

Интервалы расчленения, км/км²: 1 — менее 0.025, 2 — 0.025—0.1, 3 — 0.1—0.25, 4 — 0.25—0.5, 5 — 0.5—1, 6 — более 1.

На карте видно, что овраги распространены на территории весьма неравномерно. Основная часть заовраженных бассейнов расположена в пределах Приволжской возвышенности (исключая Лесное Засурье Чувашии) и Предкамья Татарстана. Здесь же находятся водосборы с максимальными значениями овражного расчленения: 3.87—4.51 км/км². Большинство бассейнов с высокими показателями расчленения (>0.5 км/км²) расположено в водосборах рек Цивили, Барыша, Терешки, в верховьях рек Свияги и Сызранки, на междуречье рек Волги и Сулицы, на правобережье р. Тоймы. Значительная часть территории имеет либо крайне слабое овражное расчленение (бассейны р. Юшут — 0.03 км/км², Бол. Кокшага — 0.012 км/км²), либо оно вообще отсутствует (бассейны рр. Рутка, Ветлуга). Таких бассейнов — 627. Овраги менее всего развиты в хорошо залесенных районах Марий Эл, правобережья Суры в пределах Чувашии и в низменном Заволжье (до р. Шешма). Также слабое развитие оврагов характерно для бассейнов левобережья р. Ик (0.091 км/км²), р. Зай (0.087 км/км²), р. Мелля (0.116 км/км²) и др. Среднее

значение густоты овражного расчленения, определенное по крупным речным бассейнам, составляет 0.231 км/км².

Заключение. В ходе исследования разработан ряд количественных показателей, адекватно характеризующих интенсивность развития комплекса эрозионных процессов на склонах речных бассейнов. В основу этих показателей положены величина смыва, содержание и запасы гумуса, характерные для каждой категории эродированных почв, а также соотношение интенсивности почвенной и овражной эрозии.

Установлено, что наиболее приемлемым для пространственного анализа развития процессов почвенной и овражной эрозии на региональном уровне генерализации является бассейновый подход. Данный подход и широкое применение ГИС-технологий позволили впервые для региона Среднего Поволжья создать электронные векторные карты эрозии и новые схемы эрозионного районирования.

Количественный анализ развития бассейновой эрозии на территории Среднего Поволжья свидетельствует о том, что ее максимальная интенсивность характерна для возвышенных ландшафтов широколиственно-лесной зоны и южных возвышенных районов подтаежной зоны. Интенсивность бассейновой эрозии уменьшается в западно-восточном направлении. К северу и к югу от возвышенных ландшафтов широколиственно-лесной зоны также наблюдается снижение интенсивности эрозии. В северном направлении это происходит благодаря уменьшению земледельческой активности, а к югу определяется развитием более устойчивых к размыву черноземных почв. Такой характер пространственного распространения обеспечивается главным образом особенностями земледельческого освоения региона и развитием эрозии почв. Оврагообразование — процесс аazonальный, поскольку во многом обусловлен действием геолого-геоморфологических факторов.

Работа выполнена при финансовой поддержке ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009—2013 гг.» (проект № 8470; П347).

Список литературы

- [1] Бутаков Г. П., Мозжерин В. И., Ермолаев О. П. Общая оценка интенсивности денудационных процессов // Зеленая книга Республики Татарстан. Казань: Изд-во Казан. ун-та, 1993. С. 234—237.
- [2] Ермолаев О. П. Пояса эрозии в природно-антропогенных ландшафтах речных бассейнов. Казань: Изд-во Казан. ун-та, 1992. 150 с.
- [3] Ермолаев О. П. Эрозия в бассейновых геосистемах. Казань: УНИПРЕСС, 2002. 263 с.
- [4] Ермолаев О. П., Мальцев К. А., Мозжерин В. В., Мозжерин В. И. Глобальная геоинформационная система «Сток взвешенных наносов в речных бассейнах Земли» // Геоморфология. 2012, № 2. С. 50—58.
- [5] Зорина Е. Ф., Любимов Б. П., Никольская И. И., Прохорова С. Д. Карта овражных выносов в верхние звенья гидрографической сети европейской территории России // 14-е Пленарное межвузовское совещание по проблемам эрозии, русловых и устьевых процессов. Уфа, 1999. С. 129—130.
- [6] Литвин Л. Ф. Факторы и интенсивность смыва почв // Мелкие реки Волжского бассейна. М.: Изд-во МГУ, 1998. С. 64—68.

- [7] Маккавеев Н. И., Чалов Р. С. Особенности эрозионно-аккумулятивных процессов в различных ландшафтных зонах // Работа водных потоков. М.: Изд-во МГУ, 1987. С. 7—13.
- [8] Овражная эрозия востока Русской равнины / Под ред. А. П. Дедкова. Казань: Изд-во Казан. ун-та, 1990. 145 с.
- [9] Рысин И. И. Овражная эрозия в Удмуртии. Ижевск: Изд-во Удмурт. ун-та, 1998. 274 с.
- [10] Maltsev K., Yermolaev O. & Mozzerin V. Mapping and spatial analysis of suspended sediment yields from the Russian Plain // Proceedings of an IAHS International Commission on Continental Erosion Symposium held at the Institute of Mountain Hazards and Environment, CAS-Chengdu, China, 11—15 October 2012. P. 251—258. IAHS Publication 356, 2012.
- [11] Yermolaev O. & Avvakumova A. Cartographic-geoinformational estimation of the spatio-temporal erosion dynamics of arable soils in forest-steppe landscapes of the Russian Plain // Proceedings of an IAHS International Commission on Continental Erosion Symposium held at the Institute of Mountain Hazards and Environment, CAS-Chengdu, China, 11—15 October 2012. IAHS Publication 356, 2012. P. 332—337.

Казань
 oyermol@kpfu.ru
 Казанский федеральный
 университет

Поступило в редакцию
 3 сентября 2012 г.

Изв. РГО. 2013. Т. 145. Вып. 2

© В. В. КОРОЛЕВ,* М. А. МАМАЕВА**

ТЕХНОГЕННЫЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ЭКОСИСТЕМУ ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ФИНСКОГО ЗАЛИВА

Дноуглубительные и берегонамывные работы служат важным фактором в развитии береговой зоны. В восточной части Финского залива Балтийского моря реализованы или продолжают осуществляться несколько крупномасштабных гидротехнических проектов — это создание комплекса защитных сооружений Санкт-Петербурга от наводнений, строительство портовых комплексов в Лужской губе и проливе Бьеркезунд, а также модернизация Большого порта Санкт-Петербурга. Перечисленные проекты связаны с выполнением значительных по объему дреджинговых работ, оказавших и продолжающих оказывать значительное воздействие на экосистемы береговой зоны. Так, объем дноуглубления и намыв территорий начиная с 2000 г. увеличивались в геометрической прогрессии (рис. 1) [1].

Несомненно, создание комплекса защитных сооружений, портовое строительство и прочие гидромеханизированные работы на акватории Финского залива негативно сказываются на его рыбных запасах. К настоящему времени в Невской губе уже потеряно около 25 % нерестовых площадей, строительство портового комплекса в Усть-Луге привело к утрате богатых нерестилищ