

**МИНИСТЕРСТВО ОБЩЕГО И ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
УДМУРТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**

И. И. РЫСИН

ОВРАЖНАЯ ЭРОЗИЯ В УДМУРТИИ

Монография

Ижевск

Издательство Удмуртского университета

1998

УДК 551.435 (470.51)

ББК 26.823

Р 93

Научный редактор проф. А.П.Дедков

Рецензенты: Г.П.Бутаков, д-р географ. наук, проф. Казанского ун-та;
А.К.Осипов, канд. географ. наук, с.н.с. ин-та экономики
УрОРАН.

Р 93 Рысин И.И. Овражная эрозия в Удмуртии Ижевск, 1998. 274 с.

ISBN 5-7029-0276-9

В работе впервые с географических позиций приводятся результаты многолетних исследований овражной эрозии на территории Удмуртии. Рассматриваются природные и антропогенные условия оврагообразования и дается их сравнительная оценка с применением математических методов. Приводятся карты густоты и плотности оврагов, построенные на основе дешифрирования крупномасштабных аэрофотоснимков по элементарным бассейнам. Наряду с ними в монографии представлены карты отдельных компонентов природы и различные схемы районирования.

Большое внимание уделяется географическому анализу современной динамики оврагообразования, полученной в результате непрерывных 20-летних наблюдений на ключевых участках, расположенных в различных ландшафтных районах республики. Выявлены очаги активизации и затухания роста оврагов, изучены причины и дан прогноз их развития. Предлагаются практические рекомендации по борьбе с овражной эрозией.

Предназначается для специалистов-экологов, географов, почвоведов, аграрников, работников проектных организаций, студентов соответствующих специальностей.

ББК 26.823

© Издательство Удмуртского университета, 1998 г.

© И.И.Рысин, 1998 г.

ВВЕДЕНИЕ

Овражная эрозия является одним из активных современных экзогенных процессов в республике, она вызывает множество негативных явлений в природе и тем самым порождает новые экологические проблемы. При интенсивном оврагообразовании происходит не только отчуждение ценных сельскохозяйственных угодий и изменение рельефа, но и большой ряд нарушений в пределах "нормально" функционирующих ландшафтных комплексов. Кроме земледелия, овраги причиняют большой ущерб населенным пунктам и предприятиям, путям сообщения и различным коммуникациям, вызывают заиливание прудов и обмеление малых рек.

На территории СНГ, по данным А.Г.Рожкова (1981), насчитывается более 3.3 млн. оврагов общей протяженностью до 1 млн. км. Только в сельскохозяйственной зоне европейской части России насчитывается около 2 млн. оврагов общей длиной около 260 тыс. км и площадью до 5 млн. га (Эрозионные процессы, 1984). Из-за роста оврагов ежегодно выбывают из использования до 25-30 тыс. га черноземных почв, а темпы роста эродированных черноземов за последние 15-20 лет достигли 250-300 тыс. га в год (Лепке, 1998). А.Н.Каштанов (1989) считает, что в 1980-е годы за 10 лет площадь оврагов увеличилась с 5 до 6.6 млн. га, вызвав ежегодное сокращение пашни до 100-150 тыс. га, при этом суммарный экономический ущерб от водной и ветровой эрозии оценивается примерно в 11-15 млрд. руб. (в ценах 1980-х годов).

На территории Удмуртии овражная эрозия получила широкое развитие, особенно в южных районах. В перспективе ожидается активизация хозяйственной деятельности в различных сферах (земледелие, строительство, разведка и добыча полезных ископаемых, лесное хозяйство и др.), поэтому весьма актуальным является изучение особенностей развития овражной эрозии в условиях современных ландшафтов Удмуртии, определение ее основных факторов и выяснение сущности механизма оврагообразования. Все это позволит в дальнейшем разработать оптимальные методы борьбы с оврагами и решать задачи прогнозирования овражной эрозии.

Цель настоящей работы – анализ закономерностей формирования и развития овражной эрозии в различных природно-антропогенных

ландшафтах Удмуртии. Для достижения поставленной цели потребовалось решить следующие задачи:

1. Проведение физико-географического (ландшафтного) районирования территории и анализ природно-антропогенных ландшафтных комплексов как условий проявления современных эрозионных процессов.

2. Морфогенетический анализ форм эрозии временных водотоков и их картирование; выявление особенностей распространения эрозионной сети.

3. Количественная оценка роли различных факторов в формировании современной овражной сети.

4. Выявление и анализ многолетней динамики оврагообразования; влияние природных факторов на скорость роста оврагов.

5. Прогнозирование овражной эрозии.

6. Районирование территории по условиям проявления овражной эрозии.

7. Использование данных об оврагообразовании для решения задач по защите земель от эрозии.

В основу работы положены материалы 20-летнего изучения почвенной и овражной эрозии в пределах Удмуртской Республики (УР). Представленные здесь данные получены из различных источников: ежегодные полевые экспедиционные исследования, дешифрирование крупномасштабных аэрофотоснимков (АФС), использование крупномасштабных топографических карт и аэрофототопопланов, фондовые материалы различных организаций и анализ данных из опубликованной литературы.

При сборе фактического материала принимали участие студенты и сотрудники кафедры физической географии географического факультета Удмуртского университета. Автор выражает большую благодарность руководству Госкомзема УР, Удмуртского филиала института «Уралгипрозем», Госкомитета по гидрометеорологии УР, любезно предоставившим фондовые материалы.

Особую благодарность автор выражает академику Международной академии ВШ, проф. А.П.Дедкову и чл.-корр. Академии водохозяйственных наук РФ, проф. Г.П.Бутакову по инициативе и под руководством которых были начаты эти исследования.

1. ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКОЕ (ЛАНДШАФТНОЕ) РАЙОНИРОВАНИЕ УДМУРТИИ

1.1. МЕТОДИКА РАЙОНИРОВАНИЯ

В настоящее время большинством исследователей признается антропогенный характер современной овражной эрозии. Хозяйственная же деятельность человека, особенно в земледелии, в значительной степени определяется ландшафтными условиями. Поэтому и заовраженность территории республики крайне неоднородна и определяется в первую очередь ее ландшафтными особенностями. В силу указанных причин вначале нами приводится физико-географическое (ландшафтное) районирование.

Районирование как универсальный метод упорядочения и систематизации территориальных систем широко используется в географии. Существуют различные виды отраслевого природного районирования - климатическое, геоморфологическое, почвенное, геоботаническое и пр. Физико-географическое или ландшафтное районирование - один из особенно важных видов природного районирования, поскольку оно учитывает весь комплекс природных условий и ресурсов территории. Оно имеет большое практическое значение и находит применение для комплексного учета и оценки природных ресурсов, при разработке проектов территориального развития хозяйства, мелиоративных работ, природоохранных мероприятий и т.д.

Впервые подробная сводка работ, посвященных физико-географическому районированию Удмуртии, приводится В.М.Лебедевым (1972). Им отмечается, что первые упоминания о районировании территории Удмуртии встречаются в работах И.Г.Фортунатова (1896) и Г.И.Танфильева (1897). Позднее без какого-либо обоснования районирование было дано в «Отчете статистического бюро Вятской губернии (1924). В 1925 году схема физико-географического районирования была дана А.Л.Великолеповым, а годом позже в «Кратком очерке природы Вотской автономной области». Попытка физико-географического районирования была предпринята в 1963 г.

А.Н.Тупогиловой, которая на территории Удмуртии выделила всего 3 физико-географических района, имеющих слишком обобщенный характер (Лебедев, 1972).

Вопросами физико-географического районирования Удмуртии впоследствии занимался В.Н. Литвинов (1967, 1968). На первом этапе им было проведено типологическое районирование и выделено в пределах территории республики 10 типов местностей с указанием наиболее распространенных урочищ. Затем на основании анализа типологических единиц он осуществляет индивидуальное районирование и выделяет 6 физико-географических районов. Предложенная В.Н.Литвиновым схема физико-географического районирования более объективна по сравнению с предыдущими и заслуживает большего внимания.

В.М.Лебедев (1972) внес существенные изменения в схему физико-географического районирования В.Н.Литвинова. В пределах территории Удмуртии им выделено две провинции: южной тайги и смешанных лесов и 6 физико-географических районов, границы которых не совпадают с границами районов, выделенных его предшественником.

Последние работы, посвященные физико-географическому (ландшафтному) районированию территории Удмуртии, являются наша (Рысян, 1996) и В.И.Стурмана (1997).

В схеме физико-географического районирования В.И.Стурмана (1997) проведение зональной границы является не корректным. Выбирая для этого природные рубежи (долины рек Кильмези, Лозы и Чепцы), он проводит границу южной тайги в северо-восточном направлении от пос.Кильмезь до с.Дебесы. Хотя общеизвестно, что изолинии основных климатических показателей (соотношения тепла и влаги, суммы активных температур, радиационного баланса и др.), определяющих широтную зональность ландшафтов, следуют здесь в субширотном направлении слегка отклоняясь на юго-восток. К тому же считается ошибочным выделение границ ландшафтных зон, опираясь лишь на геоботаническое районирование.

В рассматриваемой схеме в качестве отдельных физико-географических районов выделяются долины рек Чепцы и Ижа, с чем также невозможно согласиться. В таком случае следовало бы выделить и долины рек Кильмези, Лозы, являющихся зональными рубежами, но и более крупные долины рек Вятки, Сивы. Аналогичное замечание относится и к выделению низовьев долины р.Кырыкмас в ранг вида ландшафта. Следует добавить, что критические замечания по поводу нашей схемы районирования носят чисто субъективный характер, к тому же она показана здесь в искаженном виде.

Выделение ландшафтных районов осуществлялось нами методами комплексного анализа и сопоставления тематических карт отдельных компонентов природы, наложения схем отраслевого природного районирования с позиции генетического подхода и на основе важнейших принципов физико-географического районирования, рекомендуемых ведущими ландшафтоведами (Сочава, 1978; Гвоздецкий, 1979; Николаев, 1979; Мильков, 1986; Исаченко, 1991 и др.). При районировании были использованы литературные, фондовые и картографические материалы, данные дешифрирования аэро- и космических снимков, а также результаты личных полевых экспедиционных исследований в период 1974 - 1997 гг.

На первом этапе районирования были выделены ландшафтные зоны. Основным критерий зоны - соотношение тепла и влаги, выражаемое в показателях радиационного баланса, сумм температур, коэффициента увлажнения (или индекса сухости). Тайга имеет четкую смену четырех сезонов года с суммой активных температур (со среднесуточной температурой воздуха выше 10° С) в пределах 900° - 2000° С (Пармузин, 1985). Для оценки тепловых ресурсов, величины испарения с земной поверхности важен учет радиационного баланса. В тайге он отрицателен зимой, но положителен в теплый период и в среднем за год составляет от 20 до 35 ккал/см² (Будыко, 1971). Изолинии радиационного баланса идут в субширотном направлении и являются объективными показателями энергообеспеченности различных широт. Тип гидротермического режима находит отражение в типах плакорных растительных сообществ и почв. Поскольку естественный растительный покров претерпел существенные изменения с начала земледельческого освоения территории, то в качестве основного индикатора ландшафтных зон служат почвы, по которым устанавливаются зональные рубежи.

На втором этапе районирования были выделены виды ландшафтов и проведена их классификация согласно А.Г. Исаченко (1991). Высшие таксономические единицы классификации – типы и подтипы ландшафтов в соответствии с гипсометрическим критерием подразделяются на классы (равнинные и горные). На изучаемой территории встречается только класс равнинных ландшафтов, которые подразделяются на подклассы в зависимости от их вертикальной дифференциации. Вертикальная дифференциация равнинных ландшафтов обусловлена отчетливо выраженной ярусностью рельефа Удмуртии (Дедков и др., 1974). В республике выделяются следующие подклассы ландшафтов: а) сильновозвышенные (с преобладанием верхнего денудационного плато с абс отметками 270 –330 м); б) умеренновозвышенные (с преобладанием

среднего плато с абс. отметками 180 – 220 м, встречаются и останцы верхнего плато); в) слабовозвышенные (с останцами среднего плато с преобладающими абс. высотами водоразделов 180 – 200 м); г) низменные (с преобладанием водораздельных поверхностей самого низкого уровня с абс. отметками 140 – 160 м).

На нижних ступенях классификации ландшафтов в качестве определяющего критерия начинает выступать литологический фактор – состав верхних горизонтов коренных и четвертичных пород, являющихся почвообразующими. На основании учета данного признака выделяются наиболее мелкие единицы таксономического уровня – виды ландшафта. Каждому виду ландшафта присваивается собственное название, отражающее его географическое положение и территориальную индивидуальность. Для удобства характеристики отдельные виды ландшафтов и их сопряженные группы были объединены в 9 физико-географических районов (рис.1).

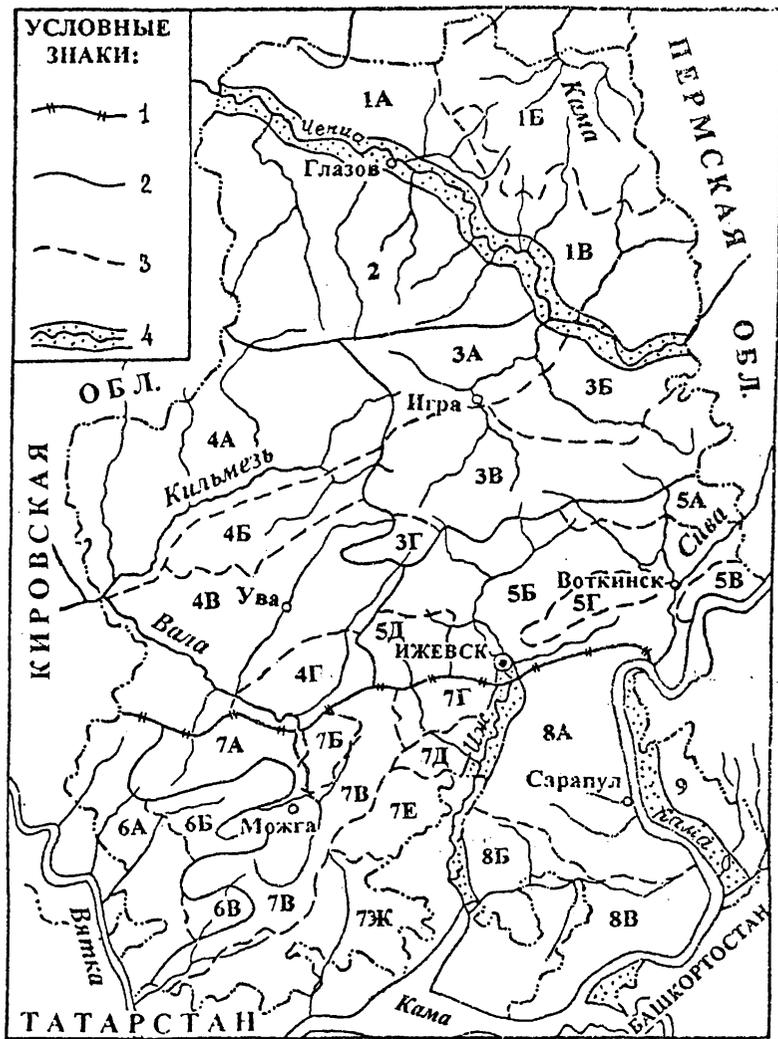
Поскольку в региональных схемах районирования не принято давать полные названия ландшафтов в соответствии с их глобальной классификацией, то мы намеренно сокращаем названия типов ландшафтов для таежной зоны и классов ландшафтов для обеих зон.

1.2. ЛАНДШАФТЫ ТАЕЖНОЙ (БОРЕАЛЬНОЙ) ЗОНЫ

1.2.1. Общая характеристика зоны и подзоны

Территория Удмуртии расположена в пределах двух ландшафтных зон: таежной (бореальной) и подтаежной (бореально-суббореальной). Граница между ними проходит несколько южнее г. Ижевска и имеет субширотное направление (рис. 1). Основными признаками установления зональной границы послужили изолинии годового радиационного баланса $35 \text{ ккал/см}^2 (1465 \text{ Мдж/м}^2)$, сумм активных температур воздуха 2000°C и крупные ареалы распространения серых лесных почв.

Она соответствует границе южной тайги в схеме физико-географического районирования тайги СССР (Пармузин, 1985) и в схемах почвенно-географического районирования СССР (Афанасьева и др., 1979; Атлас СССР, 1984), почти совпадает с южными ареалами распространения южно-таежных лесов на карте растительности Удмур-



М 1:2 000 000

Рис. 1. Физико-географические (ландшафтные) районы Удмуртской Республики. Условные обозначения: 1 – границы ландшафтных зон, 2 – ландшафтных районов, 3 – видов ландшафтов, 4 – пойменные ландшафты

тии (Атлас Удмуртской АССР, 1974; География Удмуртии, 1992). О положении границы южной тайги вблизи широты г.Ижевска аргументированно обосновывается и в работе известного геоботаника Н.Г.Ильминских (1998).

В зоне тайги отчетливо различаются три подтипа ландшафтов: северо-, средне- и южно-таежный, обусловленные различиями в теплообеспеченности. Центральная и северная части нашей республики находятся в подзоне южной тайги и в схеме физико-географического районирования страны относятся к Вятско-Камской провинции (Пармузин, 1985).

Южно-таежные ландшафты характеризуются умеренно теплым, умеренно влажным климатом. Годовой радиационный баланс изменяется от 1320-1350 Мдж/м² на северо-востоке республики до 1425-1465 Мдж/м² на юго-западе подзоны. Продолжительность безморозного периода составляет 110-125 дней, вегетационного - 155-165 дней. Сумма активных температур варьирует в пределах 1600-2000° С, среднегодовые температуры изменяются соответственно от +1,0 до +2,0° С. Среднегодовая сумма осадков равна 550-650 мм, а испарение около 440 мм. Гидротермический коэффициент (отношение суммы осадков за вегетационный период к сумме температур за этот же период, уменьшенной в 10 раз) равен 1,4-1,3 на севере подзоны и 1,3-1,2 - на юге (Агроклиматический справочник, 1961; Агроклиматические ресурсы, 1974).

С особенностями климата тесно связаны поверхностные и подземные воды. Здесь развита густая речная сеть, характеризующаяся высокими показателями годового стока. Реки имеют преобладающее снеговое питание и отличаются неравномерным стоком в течение года. Грунтовые воды залегают неглубоко и слабо минерализованы.

В условиях промывного водного режима на плакорах формируются элювиально-подзолистые и дерново-подзолистые почвы. Под хвойными лесами при разложении опада образуются агрессивные фульвокислоты, способствующие выносу хлоридов, сульфатов и карбонатов за пределы почвенного профиля. Поэтому поглощающий комплекс подзолистых почв беден основаниями. По пониженным элементам рельефа широко представлены болотные почвы.

Господствующими являются темнохвойные леса из ели обыкновенной (европейской) и ели сибирской, сосны обыкновенной и пихты сибирской с травяно-кустарничковым ярусом (черника, брусника, кислица и др.) и моховым покровом. Подлесок представлен многими видами: бересклет бородавчатый, жимолость лесная, можжевельник,

рябина, малина, крушина ломкая, смородина красная и черная, роза коричневая и др. Широко распространены вторичные березово-осиновые леса с примесью липы, ольхи черной и ольхи серой, рябины, черемухи, вяза с богатым подлеском и хорошо развитым травяным покровом.

Таежные ландшафты обеспечивают животным обилие кормов и разнообразие местообитаний. В таежной зоне нашей страны обитает 90 видов млекопитающих, около 250 видов птиц, более 100 видов рыб (Пармузин, 1985), очень много беспозвоночных (преимущественно сапрофагов, населяющих подстилку), появляются земноводные и пресмыкающиеся. В тайге Удмуртии некоторые виды относятся к редким и исчезающим, поэтому нуждаются в охране: из млекопитающих - европейская норка, колонок, росомаха; из птиц - черный аист, скопа, сапсан, филин; из рыб - стерлядь, ручьевая форель, таймень, хариус, обыкновенный горчак, обыкновенный подкаменщик, а также многие виды беспозвоночных (Редкие..., 1988).

В Удмуртии таежный тип ландшафта подразделяется на 1 подтип (южнотаежный), 1 класс (равнинный), 4 подкласса (сильновозвышенный, умеренновозвышенный, слабовозвышенный и низменный) и 17 видов ландшафтов, которые сгруппированы в 5 физико-географических районов. Для краткости мы здесь ограничиваемся лишь описанием последних.

Современные ландшафты в значительной степени отличаются от естественных (доагрикультурных) вследствие их высокой хозяйственной освоенности. Для анализа эрозионных процессов очень важен учет антропогенной составляющей ландшафтов. Поэтому наряду с характеристикой основных природных компонентов, ландшафты анализировались и по степени антропогенной нагрузки на них. В качестве интегральных показателей антропогенной нагрузки на эрозионно-аккумулятивные процессы в бассейнах малых рек мы использовали степень залесенности (распаханности) территории, мощность современного наилка на пойме и коэффициент разбавления сточных вод.

Лесистость территории, которая тесно связана с показателем распаханности, определялась по карте, методика построения и ее анализ даются в последующих разделах данной работы.

Мощность антропогенно обусловленного наилка на пойме определялась по 285 пунктам на 108 реках 1-5 порядков. Замеры пойменного наилка в каждом пункте проводились неоднократно с учетом морфологических особенностей пойм с целью определения минимальных, максимальных и средних мощностей (Егоров и др., 1992; 1993; Перевощиков, 1997).

Коэффициент разбавления сточных вод учитывает все виды антропогенной нагрузки в водосборных бассейнах рек. Для его расчета определялись все источники загрязнения в бассейне реки: населенные пункты, животноводческие комплексы и фермы, промышленные, транспортные и коммунально-бытовые предприятия, места стоянки сельскохозяйственной техники, транспорта и другие объекты. Объем сточных вод и их качественный состав от различных источников загрязнения определялся по нормативным данным. Коэффициент разбавления показывает отношение объема сточных вод, формирующегося в водосборном бассейне малой реки от всех источников загрязнения, к среднегодовому или межennaleму объему стока воды в замыкающем створе (Егоров и др., 1992; 1993).

1.2.2. Физико-географические (ландшафтные) районы

1. **Зачепецкий физико-географический район.** Район расположен на правом берегу р.Чепца и верховьях рек Кама и Вятка, занимает наиболее приподнятую часть Верхнекамской возвышенности. В рельефе преобладающими являются высоты 200 - 300 м, здесь располагается высшая абсолютная отметка республики - 330 м (севернее с. Кулига). Широко распространены массивы верхнего денудационного плато с абсолютными отметками от 270 до 330 м. Возвышенность сильно расчленена речными долинами и балочной сетью, с останцовыми холмами и грядовыми увалами между ними. Общий уклон поверхности направлен к долине р.Чепца, хотя слои осадочных горных пород наклонены в противоположном направлении.

Из коренных пород на поверхности обнажаются отложения верхнетатарского подъяруса верхней перми, а на крайнем севере - нижнетриасовые, они представлены в основном глинами, алевролитами и песчаниками с прослоями конгломератов и известняков. На дневной поверхности выветрившиеся конгломераты часто образуют гравийно-дресвяные россыпи, ранее их ошибочно принимали за морену. Почвообразующими породами на плакорах часто служат продукты выветривания и переотложения коренных пород (элювиально-делювиальные образования четвертичного возраста).

В климатическом отношении - это самый холодный район республики. Среднегодовая температура воздуха изменяется от +0,5° С (с.Кулига) до +1,2°С (с.Дебесы). Среднеянварская изотерма -15° С проходит от с.Дебесы на с.Карсовой и имеет субмеридианальное

направление. Среднеиюльская изотерма $+17,5^{\circ}\text{C}$ пересекает район в субширотном направлении севернее с.Кез и г.Глазов (Атлас..., 1974). Сумма активных температур здесь $1600^{\circ} - 1750^{\circ}\text{C}$, продолжительность безморозного периода 110 - 115 дней. За год выпадает 600 - 650 мм осадков.

Речная сеть представлена многочисленными правыми притоками р.Чепца, верховьями рек Вятка и Кама. Средние годовые модули стока рек составляют $7,0 - 8,5 \text{ л/с км}^2$. Густота речной сети равна $0,76 \text{ км/км}^2$ (Ресурсы..., 1973; Многолетние..., 1988).

На плакорах преобладают элювиально-подзолистые и дерново-сильноподзолистые почвы, сформировавшиеся на элювиально-делювиальных отложениях. Основной тип растительности - пихтово-еловые и еловые леса с примесью мелколиственных пород. Во флоре района присутствует большое количество редких и исчезающих видов, особо нуждающихся в охране: касатик аировидный, венерин башмачок, кубышка малая, жимолость алтайская, сюзсюрея альпийская, бузульник Лидии и другие (Редкие..., 1988).

Ландшафтный район характеризуется относительно невысокой хозяйственной освоенностью территории. Лесистость составляет в среднем около 60%, доля пахотных земель не превышает 25-28%. Мощность пойменного наилка изменяется от нулевых значений в залесенных бассейнах до 60-90 см в хорошо освоенных (рр. Пызеп, Омыть). Коэффициенты разбавления сточных вод (Кр) изменяется таким же образом. Минимальные значения Кр (менее 0,00001) характерны для сильно залесенных бассейнов верховий р.Вятка, р.Сева и р.Кампызеп, они существенно возрастают (до 0,1-0,01) в хорошо освоенных бассейнах (р.Варьж, низовья р.Лып). Преобладающими являются значения Кр от 0,01 до 0,001.

В пределах района выделяется 3 вида ландшафтов: 1.Верхневятский южнотаежный умеренновозвышенный на верхнепермских и нижнетриасовых породах (1А); 2.Верхнекамский южнотаежный сильновозвышенный на верхнепермских и нижнетриасовых породах (1Б); 3.Лып-Пызепский южнотаежный умеренновозвышенный на верхнетатарских породах перми (1В).

2. Причепецкий физико-географический район. Район расположен на левобережье среднего течения р.Чепца в пределах юго-западной части Верхнекамской возвышенности (Красногорская возвышенность). На юге ограничен песчаным покровом Кильмезской низменности, протягивающимся до долины р. Чепца. Территория района представляет собой слабо приподнятую возвышенность, часто с плоской

поверхностью, напоминающую плато, с абсолютными отметками около 200 - 220 м, достигающими максимальных величин (285 м) северо-восточнее с.Красногорское. По его окраинам значительно возрастает расчлененность рельефа речными долинами и балочной сетью. На водоразделах часто встречаются гравийно-галечниково-песчаные всхолмления, известные под названием "пуги". Относительные высоты их обычно не превышают 12 - 15 м (Дедков и др., 1974).

Территория района с поверхности сложена отложениями верхнетатарского подъяруса верхней перми, в северо-западной части сохранились фрагменты нижнетриасовых толщ. В составе коренных пород и четвертичных отложений существенных отличий от вышеописанного района не имеется.

В климатическом отношении район характеризуется следующими показателями. Среднегодовая температура воздуха изменяется в пределах $+1,2$ - $+1,4^{\circ}$ С. Анализируемая территория расположена между среднеянварскими изотермами $-14,5^{\circ}$ С и $-14,9^{\circ}$ С, среднеиюльскими - $+17,6^{\circ}$ С и $+17,9^{\circ}$ С. Сумма активных температур составляет 1750° - 1800° С, продолжительность безморозного периода - 115 - 120 дней. За год в среднем выпадает 570 - 610 мм осадков.

Речная сеть представлена левыми притоками р.Чепца ниже устья р.Лоза. Средние модули стока рек составляют $6,5$ - $8,0$ л/с \cdot км² в год. Средняя густота речной сети равна $0,71$ км/км².

Наибольшее распространение на плакорах получили дерново-сильно- и среднеподзолистые почвы, сформировавшиеся в основном на продуктах разрушения коренных пород. Основной тип растительности - пихтово-еловые и еловые леса с незначительной примесью мелколиственных пород. Во флоре района также представлены редкие и исчезающие виды, крайне нуждающиеся в охране: кортуза Маттиоли, рогульник плавающий, белокопытник холодный, ладьян трехнадрезной и другие.

Ландшафты района сильно преобразованы в результате хозяйственной деятельности человека. Залесенность территории здесь составляет в среднем около 35%, доля пахотных земель достигает 50-55%. Мощность наилка в поймах малых рек изменяется от 25-60 см (рр.Убыть, Сепыч) до 90-100 см в бассейне р.Лекма, отличающейся низкой лесистостью (30%) и высокой распаханностью (до 50%). Преобладающими являются значения Кр от 0,01 до 0,001, достигая максимальных значений (0,1-0,01) в густо залесенных бассейнах (рр. Пулыбка, верховья р. Сепыч, Убыть, низовья Лекмы).

В пределах района выделяется только один вид ландшафта – Причепецкий южнотаежный умеренновозвышенный на верхнетатарских породах перми (2).

3. **Чепецко-Лозинский физико-географический район.** Расположен в бассейне р.Лоза и на левобережье верхней Чепцы в пределах южной части Верхнекамской возвышенности (Тыловайская возвышенность). Южная граница района проходит по четко выраженному в рельефе уступу Тыловайской возвышенности, на западе и северо-западе он ограничивается песчаными покровами Кильмезской низменности, а на северо-западе граничит с Причепецким районом. По абсолютным отметкам район несколько уступает первому, максимальная высота достигает 321 м (южнее с.Зюзино Шарканского района). Здесь также сохранились массивы верхнего денудационного плато, а там, где оно с поверхности слагается наиболее прочными породами - известняками, в рельефе наблюдаются куэстоподобные формы. Широко распространены древние эрозионные образования - балки, а на юго-востоке - овраги.

В пределах рассматриваемой территории на поверхности обнажаются отложения татарского яруса верхней перми. Среди них наиболее распространены красноцветные породы: глины, алевролиты и песчаники с прослойками мергелей, известняков и конгломератов. На водоразделах широко представлены элювиально-делювиальные образования, а в нижних частях склонов - делювиально-солифлюкционные суглинки четвертичного возраста. На северо-западе и в юго-западной части района распространены песчаные покровы плейстоцена, заходящие сюда с Кильмезской низменности.

Район отличается довольно холодным климатом. Среднегодовая температура воздуха составляет в среднем $+1,2^{\circ}$ - $+1,3^{\circ}$ С. Среднеянварские температуры изменяются в пределах от $-14,8^{\circ}$ С (п.г.т. Игра) до $-15,2^{\circ}$ С (с.Шаркан), соответственно среднеиюльские - от $+17,5$ С до $+18,1$ С. Сумма активных температур достигает 1800 - 1850° С, продолжительность безморозного периода - 115 - 120 дней. Годовая сумма осадков составляет 550 - 600 мм.

Речная сеть представлена многочисленными притоками р.Лоза и левыми притоками р.Чепца в ее верхнем течении. Среднегодовые модули стока рек составляют $6,2$ - $6,8$ л/с•км². Средняя густота речной сети равна $0,69$ км/км².

Преобладающее развитие на плакорах получили дерново-средне- и сильноподзолистые почвы, сформировавшиеся на элювиально-делювиальных отложениях. По повышенным элементам рельефа в местах выхода карбонатных толщ широко распространены дерново-карбонатные

почвы. Основной тип растительности - пихтово-еловые леса с примесью мелколиственных пород. В древостое вторичных лесов наряду с березой и осиной принимает участие и липа. Из редких и исчезающих видов растений найдены: адонис сибирский, хохлатка дымянообразная, кизильник черноплодный, жирянка обыкновенная и другие.

По степени преобразованности доагрикультурных ландшафтов район крайне неоднороден. Если верховья р.Лозы и ее левобережье в среднем и нижнем течении практически полностью залесены (около 90%), то Чепецко-Лозинское междуречье характеризуется сравнительно высокой освоенностью территории: лесистость около 40%, распаханность 45-50%. В освоенной части района мощность пойменного наилка составляет в среднем 20-30 см, а максимальные достигают 60-90 см (р.Ита). Значения K_p изменяются от 0,00001 и менее в отдельных бассейнах левобережья р.Лоза и до 0,1-0,01 в верховьях р.Шаркан и на Ита-Чепецком междуречье.

В этом районе выделяется 4 вида ландшафтов: 1. Салинский южнотаежный слабозвышенный на эоловых отложениях плейстоцена (3А); 2. Итинский южнотаежный умеренновозвышенный на верхне- и нижнетатарских породах перми (3Б); 3. Верхнелозинско-Итинский южнотаежный сильновозвышенный на верхне- и нижнетатарских породах перми (3В); 4. Чекан-Эрестемский южнотаежный умеренновозвышенный на эоловых отложениях плейстоцена (3Г).

4. Кильмезский физико-географический район. Территориально район соответствует Кильмезской низменности. На севере и востоке ограничивается Верхнекамской возвышенностью. Юго-восточная граница проходит по левобережью р.Нылга, а на юге он ограничивается Можгинской возвышенностью и зональными рубежами. В рельефе низменности преобладают абсолютные отметки 100 - 150 м. Только лишь на Кильмезь-Валинском и Нылга-Увинском водоразделах имеются небольшие возвышенные участки.

С поверхности территория слагается песчаными отложениями плейстоцена, имеющими эоловый генезис (Бутаков, 1986). С песчаным покровом связаны реликтовые формы рельефа: параболические и продольные дюны, бугристые всхолмления. Коренные породы здесь представлены отложениями татарского яруса, а в долине р.Вала вскрываются глины, алевролиты, известняки и известковистые песчаники казанского яруса верхней перми. Ограниченно представлены элювиально-делювиальные и делювиально-солифлюкционные отложения четвертичного возраста.

Климатические условия здесь более благоприятные, чем в предыдущих районах. Среднегодовая температура воздуха изменяется от +1,5° до +2,0° С. Среднеянварские температуры составляют -14,8° С на северо-востоке района (п.г.т. Игра) и - 14,4° С на юге (с.Вавож), соответственно среднеиюльские - +17,5°С и +18,3° С. Сумма активных температур достигает 1850 - 1950° С, продолжительность безморозного периода - 120 - 125 дней. За год выпадает в среднем 525 - 575 мм осадков.

Речная сеть представлена притоками р.Кильмезь и р.Вала в ее среднем и нижнем течении. Среднегодовые модули стока рек изменяются от 4,9 - 5,5 л/с•км² в бассейне р.Валы до 6,0 - 6,8 л/с•км² в бассейне р.Кильмезь. Средняя густота речной сети составляет 0,58 км/ км².

Характерными почвами плакоров здесь являются элювиально-подзолистые и дерново-сильноподзолистые, сформировавшиеся на песчаном субстрате. Низинные и пойменные местоположения повсеместно заболочены, там распространены различные виды торфяно-болотных почв. На песчаных почвах получили широкое развитие сосновые леса, образующие крупные массивы различных типов: боры-зеленомошники, боры сфагновые, боры лишайниковые, боры-долгомошники и др. Встречаются также сосново-еловые и еловые леса с примесью березы и осины, а на юге - липы. По южной части района проходит северная граница распространения клена платановидного и бересклета бородавчатого. Из редких и исчезающих видов растений встречаются : ежеголовник малый, голубика, морошка, чина Литвинова, наперстянка крупноцветковая, колокольчик рапунцель, крестовник Черняева и др.

Рассматриваемый район отличается высокой залесенностью (до 60-65%), доля пахотных угодий не превышает 25%. Мощность пойменного наилка изменяется от 0-10 см на правобережье р.Кильмезь до 60-90 см в бассейнах рек Вала и Арлеть. Низкие значения Кр (0,0001-0,00001) характерны также для правобережья р.Кильмезь (рр.Большой и Средний Сардык, Лаптевка, Визирма и др.), в низовьях рек Нылги, Увы и нижнем правобережье Валы он возрастает до 0,01-0,001.

В пределах района выделяется 4 вида ландшафтов: 1. Уть-Лумпунский южнотаежный низменный на золотых отложениях плейстоцена (4А); 2. Арлеть-Нузыкский южнотаежный слабовозвышенный на нижнетатарских отложениях перми (4Б); 3. Вала-Увинский южнотаежный низменный на золотых отложениях плейстоцена (4В); 4. Вала-Нылгинский южнотаежный слабовозвышенный на нижнетатарских и казанских отложениях перми (4Г).

5. Иж-Воткинский физико-географический район.

Расположен в бассейнах рек верхнего Ижа и нижней Сивы. С севера район ограничивается Верхнекамской возвышенностью, с запада левобережьем р. Нылга отделяется от Кильмезской низменности, на юге граничит с подтаежной зоной. Рельеф района равнинный, местами увалисто-грядовый, преобладающие высоты - 150 - 200 м. Отдельные возвышенные участки имеются лишь на Иж-Нылгинском и Иж-Воткинском водоразделах.

Коренные породы представлены нижнетатарскими отложениями верхней перми и продуктами их разрушения и переотложения, которые на большей части территории перекрыты песчаными покровами плейстоцена. С песчаными массивами связаны типично золотые формы рельефа.

Климатические условия характеризуют следующие показатели. Среднегодовая температура воздуха изменяется в пределах $+1,5 - +2,0^{\circ} \text{C}$. Среднеянварские температуры составляют -15°C на северо-востоке района и $-14,2^{\circ} \text{C}$ на юге (г. Ижевск), соответственно среднеиюльские - $+18,0^{\circ} \text{C}$ и $+18,7^{\circ} \text{C}$. Сумма активных температур достигает $1900 - 2000^{\circ} \text{C}$, продолжительность безморозного периода около 125 дней. Осадков за год выпадает в среднем 510 - 550 мм.

Речная сеть представлена притоками верховой р.Иж и низовьев р. Сива. На востоке район омывается Воткинским водохранилищем. Среднегодовые модули стока рек составляют 5,0 - 5,8 л/с·км². Средняя густота речной сети равна 0,54 км/км².

На плакорах преобладают дерново-сильнопodzольные и элювиально-подzольные почвы, сформировавшиеся на песках и супесях. В растительном покрове доминируют пихтово-еловые леса в которых наряду с березой и осиной, присутствуют и широколиственные породы: липа, клен платановидный, вяз гладкий, реже дуб. На песчаных почвах произрастают сосновые леса. Из редких и исчезающих видов растений особенно нуждаются в охране: лобка зеленоцветковая, пальчатокоренник Траунштейнера, шелковник Кауфмана, гвоздика Борбаша, золототысячник малый и др.

Северо-западная часть ландшафтного района менее освоена, чем юго-восточная. В целом по району залесенность территории составляет в среднем около 55%, распаханность - 30-35%. Мощность пойменного наилка в слабо освоенных бассейнах не превышает 10-15 см, а значения Кр составляют 0,001-0,00001. В пределах безлесных и густо залесенных водосборов мощность наилка на пойме возрастает до 80-100 см и более (рр.Вотка, Шаркан, Сива, Иж, Позимь), а коэффициенты разбавления

сточных вод превышают 0,1-1,0 (рр.Вотка и Иж в пределах городской черты и ниже, рр.Вожойка, Июль и др.).

В пределах района выделяются 5 видов ландшафтов:

1. **Казесско-Киварский южнотаежный слабовозвышенный на нижнетатарских отложениях перми (5А);**
2. **Иж-Вотвинский южнотаежный низменный на эоловых отложениях плейстоцена (5Б);**
3. **Засивинский южнотаежный низменный на нижнетатарских отложениях перми (5В);**
4. **Июль-Верхнепозимский южнотаежный слабовозвышенный на нижнетатарских отложениях перми (5Г);**
5. **Люкский южнотаежный умеренновозвышенный на нижнетатарских отложениях перми (5Д).**

1.3 ЛАНДШАФТЫ ПОДТАЕЖНОЙ (БОРЕАЛЬНО-СУББОРЕАЛЬНОЙ) ЗОНЫ

1.3.1. Общая характеристика зоны

Подтаежные (бореально-суббореальные) ландшафты отличаются от таежных повышенной теплообеспеченностью с суммой активных температур до 2000-2200° С, увлажнение несколько снижается, но осадки превышают испаряемость (Исаченко, 1991). Подтаежные ландшафты или иначе ландшафты широколиственно-хвойных (смешанных) лесов имеют преобладающее распространение в южной части республики. Годовой радиационный баланс здесь изменяется от 1465 Мдж/м² (35 ккал/см²) на северо-востоке зоны до 1525 Мдж/м² на крайнем юго-западе. Продолжительность безморозного периода составляет 125-135 дней, а вегетационного - 165-170 дней. Устойчивый снежный покров держится 150-160 дней. Сумма активных температур достигает 2000-2100° С, среднегодовые температуры возрастают до +2,0 - +2,5° С. В среднем за год выпадает 500-550 мм осадков, а испаряется около 400 мм. Увлажнение в среднем за многолетний период достаточное, гидротермический коэффициент составляет 1,2-1,0. Изменение климатических показателей отражается на режиме поверхностных и грунтовых вод: усиливается неравномерность и снижается величина годового стока рек, грунтовые воды становятся более минерализованными, значительно возрастает глубина их залегания.

Под широколиственно-хвойными лесами, на плакорах формируются дерново-подзолистые и серые лесные почвы. В составе гумусовых соединений наряду с фульвокислотами присутствуют

гуминовые кислоты, которые частично связываются с основаниями и осаждаются в перегнойно-аккумулятивном горизонте.

В лесах происходит смешение темнохвойных пород, которые являются доминирующими, с широколиственными. Из хвойных по-прежнему преобладают ель, сосна, пихта, а из широколиственных, наряду с липой, заметное участие в древостое принимают дуб, клен, вяз, ильм. Хорошо развит кустарниковый ярус, представленный лещиной (орешник), крушиной, бересклетом и жимолостью. Широко распространены мелколиственные березово-осиновые леса, заселяющие обычно вырубку и гари, а также сосняки, произрастающие на песчаных почвах. В лесах хорошо развит травяной покров, моховой встречается редко.

В животном мире наряду с таежными видами появляются представители широколиственных лесов (кабан, косуля, желтогорлая мышь, садовая и лесная сони и др.), лесостепей (заяц-русак, обыкновенная полевка, хомяк обыкновенный и др.) и даже степные виды - сурок, суслик рыжеватый, степной хорек. Богаче становится фауна беспозвоночных. К редким и исчезающим видам относятся: из млекопитающих - европейская норка; из птиц - орлан-белохвост, беркут; из рыб - белуга, русский осетр, стерлядь, волжская сельдь, таймень, белорыбица, хариус, берш, а также многие виды беспозвоночных (Редкие..., 1988).

Подтаежный (бореально-суббореальный) тип ландшафта на подтипы обычно не подразделяется и в предгорьях Урала он выклинивается. В пределах Удмуртии данный тип ландшафта подразделяется на 1 класс (равнинный), 3 подкласса (умеренновозвышенный, слабовозвышенный и низменный) и 14 видов ландшафтов, которые сгруппированы в 4 физико-географических района (рис. 1).

1.3.2. Физико-географические (ландшафтные) районы

6. Привятский физико-географический район. Расположен в пределах бассейнов левых притоков р. Вятка, отделяется от соседнего к востоку района границей сплошного распространения привятского песчаного массива и уступом Можгинской возвышенности. Поверхность территории района имеет общий уклон к долине р. Вятки, где располагаются самые низкие абсолютные отметки республики (54 - 55 м).

Преобладающими являются высоты 100 - 200 м, небольшие возвышенные участки имеются лишь на Ныша-Люгинском водоразделе.

На дневную поверхность выходят казанские и нижнетатарские отложения верхней перми, а в пределах левобережных террас р.Вятка - неогеновые глины. Коренные породы с поверхности перекрыты мощной толщей эоловых песков плейстоцена. В геолого-геоморфологическом отношении особенно выделяются террасы р. Вятка, сложенные мощной толщей пригляциального аллювия (Бутаков, 1986).

По климатическим показателям район практически не отличается от соседнего. Речная сеть представлена левыми притоками р.Вятка: рр.Казанка, Пыжманка, Люга, Умяк и др. Они характеризуются невысокими среднегодовыми модулями стока - 5,0 - 5,5 л/с•км². Средняя густота речной сети составляет 0,55 км/км².

Доминирующим типом почв на плакорах являются дерново-сильнопodzольные и элювиально-подzольные, сформировавшиеся на песчаном или супесчаном субстрате. В естественном растительном покрове преобладали пихтово-еловые и еловые леса с участием широколиственных пород. На их месте сейчас произрастают вторичные осиново-березовые и липовые леса, местами сохранились сосновые боры. Редкие и исчезающие виды растений - полевница булавовидная, схизахна мозолистая, подмаренник трехцветковый, солонечник русский, уснея цветущая нуждаются в охране.

Ландшафтный район, в отличие от предыдущего характеризуется сравнительно низкой хозяйственной освоенностью. Значительную часть его территории (до 60%) занимают леса, доля пахотных угодий не превышает 30%. Мощность пойменного наилка изменяется от 0-30 см в сильно залесенных бассейнах (рр. Казанка, Якшурка, Пыжманка) до 60-90 см в более освоенных (рр. Люга, Ямышка, Лубянка, Бемьжка). Аналогичным же образом изменяются и значения Кр: от 0,0001-0,00001 и менее в первом случае до 0,001-0,1 во втором. Здесь существенно сокращается и расчлененность территории оврагами.

В районе выделяются 3 вида ландшафтов: 1. **Привятский подтаежный низменный на эоловых отложениях плейстоцена (6А);** 2. **Люгинско-Тыжминский подтаежный слабовозвышенный на эоловых отложениях плейстоцена (6Б);** 3. **Верхнеумякский подтаежный слабовозвышенный на эоловых отложениях плейстоцена (6В).**

7. **Иж-Валинский физико-географический район.** Расположен в пределах Можгинской возвышенности. С севера граничит с Кильмезским и Иж-Воткинским районами, на западе - с Привятским, а на

востоке ограничивается долиной р.Иж. Поверхность района представляет собой слабовозвышенную, слегка всхолмленную равнину со спокойным характером рельефа. Преобладающими являются высоты 150 - 220 м. Возвышенные участки встречаются преимущественно на водоразделах р.Вала и рр. Вятка, Тойма и Иж. Максимальная абсолютная отметка (258 м) расположена на Вала-Пычасском водоразделе у д. Малая Воложикья. Из форм рельефа широко распространены овраги.

Из коренных пород с поверхности обнажаются отложения казанского яруса верхней перми, а на возвышенных элементах рельефа - нижнетатарские, представленные обычно глинами, алевролитами, песчаниками, известняками и мергелями. На водораздельных поверхностях распространены элювиально-делювиальные образования, а на пологих склонах холодных румбов - делювиально-солифлюкционные суглинки, достигающие мощности 15-20 м (Бутаков, 1986). На отдельных участках встречаются песчаные покровы плейстоцена.

Климатические условия района наиболее благоприятные в республике. Среднегодовая температура воздуха изменяется в пределах +2,1 - +2,5° С. Среднеянварские температуры составляют - 14,3° С на севере района и -14,0° С на юге, среднеиюльские соответственно - +18,7° С и 19,2° С. Сумма активных температур достигает 2000 - 2100° С, продолжительность безморозного периода - 130 - 135 дней. Среднегодовая сумма осадков составляет 500 - 550 мм.

Речная сеть представлена притоками рр. Вала, Тойма и Иж. Среднегодовые модули стока рек составляют 4,5 - 5,0 л/с·км². Средняя густота речной сети равна 0,58 км/км².

Преобладающий тип почв на плакорах - дерново-подзолистый, наряду с которым получают широкое развитие серые лесные почвы, сформировавшиеся

в основном на элювиально-делювиальных отложениях. В доагрикультурное время в растительном покрове преобладали пихтово-еловые леса с участием широколиственных пород (липа, клен, дуб, вяз, ильм, орешник). В настоящее время доминирующими являются вторичные осиново-березовые и липовые леса. Встречаются редкие и исчезающие виды растений, нуждающиеся в охране: адонис весенний, звездчатка Бунге, водяника черная, первоцвет весенний и другие.

Район характеризуется относительно высокой долей антропогенных ландшафтов. Если средняя залесенность территории района около 35%, а распаханность - 50-55%, то в его юго-восточной части лесистость уменьшается до 20%, а доля пахотных земель возрастает до 60-65%. Эти особенности находят отражение и в проявлении

эрозионно-аккумулятивных процессов в пределах водосборных бассейнов малых рек. Средние значения мощности наилка в поймах рек, бассейны которых имеют еще значительные площади лесов, составляют 30-70 см (левобережье р.Умяк выше р.Адамка, р.Пычас, притоки верховий Валу). В хорошо освоенной юго-восточной части района максимальные мощности антропогенно обусловленного наилка на поймах малых рек превышают 100-120 см (рр. Умяк, Адамка, Возжайка, Тойма, Варзи, Варзинка, Чаж, Юринка и др.). Здесь отмечается и резкое возрастание густоты овражной сети. Преобладающими являются в районе значения K_p равные 0,01-0,001, их максимум ($K_p = 0,1-1,0$) приурочен к наиболее плотно заселенным бассейнам (рр. Сюга, Кокшанка, Варзинка).

В районе выделяется 7 видов ландшафтов: 1. Кельвай-Сюгинский подтаежный слабовозвышенный на нижнетатарских и казанских отложениях перми и делювиально-солифлюкционных суглинках плейстоцена (7А); 2. Уленвайский подтаежный умеренновозвышенный на золотых отложениях плейстоцена (7Б); 3. Верхневалский подтаежный умеренновозвышенный на нижнетатарских и казанских отложениях перми и делювиально-солифлюкционных суглинках плейстоцена (7В); 4. Лудзинский подтаежный слабовозвышенный на нижнетатарских и казанских отложениях перми и делювиально-солифлюкционных суглинках плейстоцена (7Г); 5. Агрызка-нижнепостолкинский подтаежный низменный на золотых отложениях плейстоцена (7Д); 6. Бобинка-Юринский подтаежный слабовозвышенный на нижнетатарских и казанских отложениях перми делювиально-солифлюкционных суглинках плейстоцена (7Е); 7. Тойма-Варзинский подтаежный слабовозвышенный на преимущественно казанских отложениях перми и делювиально-солифлюкционных суглинках плейстоцена (7Ж).

8. Прикамский физико-географический район. Расположен на правом берегу р. Кама в пределах Сарапульской возвышенности. От соседних районов отделяется: на западе - долиной р.Иж, на востоке - долиной р.Кама. В рельефе преобладают поверхности с абсолютными отметками 150 - 200 м, возвышенные участки расположены лишь на Иж-Камском водоразделе. Максимальная высота (248 м абс.) находится у истоков р. Большая Сарапулка. Территория отличается высокой эрозионной расчлененностью. Глубины местных базисов эрозии достигают 150 - 170 м. На коренном правом склоне долины р.Кама широко распространены оползни.

Водораздельные участки района с поверхности сложены пестроцветными глинисто-мергелисто-песчаниковыми толщами

нижнетатарского подъяруса верхней перми, а также продуктами их разрушения и переотложения. В долинах рек и в глубоких оврагах вскрываются известняки и известковистые песчаники казанского яруса пермской системы. Шлейфы пологих склонов повсеместно слагаются мощными (15-20 м) делювиально-солифлюкционными суглинками четвертичного периода.

Климатические показатели района благоприятные. Среднегодовая температура воздуха изменяется в пределах +2,0 - +2,5° С. Данная территория располагается между изотермами января: -14,5° С на севере и -14,0° С на юге, соответственно июля - +18,5° С и +19,2° С. Сумма активных температур достигает 2000 - 2100° С, продолжительность безморозного периода - 130 - 135 дней. Среднегодовая сумма осадков составляет 510 - 540 мм.

Речную сеть района образуют правые притоки р. Камы и левые притоки р. Иж. Среднегодовые модули стока рек составляют 5,0 - -5,3 л/с•км². Средняя густота речной сети равна 0,53 км/км².

На плакорах распространены преимущественно дерново-слабоподзолистые и серые лесные почвы. Формирование почвенного покрова происходило на элювиально-делювиальных отложениях, представленных в основном разнообразными суглинками и глинами.

В естественном растительном покрове преобладали пихтово-еловые леса с участием широколиственных пород. Богатая в видовом отношении флора имеет примесь растений, свойственных лесостепям и северным степям. Здесь нуждаются в охране: ковыль перистый, короткокожка лесная, адонис весенний, алтей лекарственный, двулепестник парижский, бубенчик лилиелистный, девясил высокий, крестовник татарский, козлец пурпуровый, сальвиния плавающая и др.

Данный ландшафтный район характеризуется максимальной для республики степенью хозяйственной освоенности. Значительные площади здесь освоены под сельскохозяйственные угодья, лесные массивы сохранились лишь вдоль долин рр. Иж, Кырыкмас и на крутых склонах различных форм гидрографической сети. Средняя лесистость территории района даже с учетом полезащитных лесополос не превышает 15%, соответственно распаханность составляет около 70%. При этом в юго-восточной части района показатель лесистости уменьшается до 2-3%, а доля пахотных земель во многих хозяйствах составляет 70-80%. Все эти особенности определяют и накопление современного наилка в поймах малых рек. Так, наименьшие значения средних мощностей пойменного наилка (30-70 см) приурочены к бассейнам рр. Позимь, Иж и Кырыкмас, их максимальные показатели (более 120 см) отмечаются на малых реках

правобережья Камы. Преобладающими для района являются значения Кр от 0,1 до 0,001, они снижаются до 0,0001 лишь на отдельных притоках р.Кырыкмас. Кроме того, здесь в наибольшей степени получила развитие и овражная эрозия.

В пределах района выделяется 3 вида ландшафтов: 1. Сарапульский подтаежный умеренновозвышенный на нижнетатарских отложениях перми и делювиально-солифлюкционных суглинках плейстоцена (8А); 2. Иж-Кырыкмасский подтаежный низменный на нижнетатарских и казанских отложениях перми и делювиально-солифлюкционных суглинках плейстоцена (8Б); 3. Каракулинский подтаежный слабовозвышенный на нижнетатарских и казанских отложениях перми и мощных делювиально-солифлюкционных суглинках плейстоцена (8В).

9. Закамский физико-географический район. Район расположен на левобережье р.Кама в пределах ее четвертичных террас, склонов долины и прилегающих водоразделов. Характеризуется низменным, слабо расчлененным рельефом с преобладающими абсолютными высотами 85 -150 м. Более высокие отметки приурочены к прилегающим к долине р. Кама водораздельным участкам, где с поверхности обнажаются глины, алевролиты, песчаники, конгломераты и мергели татарского и казанского ярусов верхней перми и продукты их разрушения. Террасы р.Камы слагаются четвертичными аллювиальными, золовыми и делювиально-солифлюкционными отложениями (пески, супеси, суглинки, реже галечники).

Климатические условия района, учитывая его географическое положение, во многом сходны с предыдущим. Среднегодовая температура воздуха изменяется в пределах +2.0-+2.5°C, соответственно среднеянварская - -14.5 - -14.3°C и среднеиюльская +18.5 - +19.0°C. Сумма активных температур около 2050°C, продолжительность безморозного периода 130-135 дней. За год выпадает 500-525 мм осадков. Речная сеть представлена левыми притоками р.Кама: р.Шолья, р.Камбарка, р.Буй и др. В долине р.Кама имеется большое количество старичных озер. Среднегодовые модули стока рек составляют 5,5 - 5,8 л/с•км². Средняя густота речной сети равна 0,55 км/км².

Преобладающее распространение на плакорах получили дерново-средне- и сильноподзолистые почвы, сформировавшиеся преимущественно на супесчано-песчаном и в меньшей степени суглинистом субстрате. В доагрикультурный период в растительном покрове преобладали пихтово-еловые леса с участием широколиственных

пород, на их месте сейчас доминируют вторичные осиново-березовые и липовые леса. Повсеместно на песчаных грунтах произрастают елово-сосновые леса. Характерной особенностью района является наличие пойменных дубрав. Из редких и исчезающих видов растений здесь представлены : неоттианта клубочковая, резуха Жерарда, подмаренник красильный, мытник скипетровидный, крестовник татарский и арктический, козлец пурпуровый и другие.

Этот район характеризуется наименьшей хозяйственной освоенностью. Лесистость территории здесь составляет около 80%, а доля пахотных земель не превышает 8%. Поэтому в большинстве залесенных бассейнов в поймах малых рек наилок не встречается, а значения Кр обычно не превышают 0,0001. Пойменный наилок небольшой мощности (до 30 см) обнаруживается лишь на реках, водосборные бассейны которых характеризуются земледельческой освоенностью (рр. Камбарка, Армязь, верховья Шольи). Максимальные значения рассматриваемого показателя могут достигать 60 см и более. Значения Кр в мало освоенной северной части района обычно менее 0,0001, в более освоенной южной половине преобладают средние показатели: от 0,1 до 0,001. Овраги здесь встречаются локально.

В пределах района выделяется один вид ландшафта – Закамский подтаежный низменный на аллювиальных, делювиально-солифлюкционных и эоловых четвертичных отложениях.

Рассмотренные физико-географические районы часто разделяются долинами крупных рек, в пределах которых самостоятельно выделяются пойменные ландшафты. Их обычно относят к азональным (интразональным) типам ландшафтов, хотя для них характерны и черты зональности.

Таким образом, в пределах небольшой по площади территории Удмуртии, выделяются 2 типа, 1 подтип, 1 класс, 4 подкласса, 31 вид ландшафтов, внутри которых обособляется еще множество природно-территориальных единиц более низкого таксономического уровня - урочищ и фаций. Большое разнообразие ландшафтных комплексов обуславливает крайне неравномерное развитие процессов овражной эрозии как во времени, так и существенные различия в распространении оврагов по территории.

2. МОРФОГЕНЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ЭРОЗИОННОГО РЕЛЬЕФА

2.1. КЛАССИФИКАЦИЯ ЭРОЗИОННЫХ ФОРМ

Основоположителем генетической классификации эрозионных форм считается В.В. Докучаев (1878), который впервые разработал теорию развития оврагов и открыл известный эволюционный ряд: овраг - балка - речная долина. Он рассматривал овраг как саморазвивающуюся эрозионную форму рельефа, существовавшую ещё в доантропогенное время. Важнейшую роль в развитии учения о генезисе эрозионных форм сыграли работы А.М. Панкова (1937), который подразделил эрозионные процессы на древние (нормальная геологическая эрозия) и современные (ускоренная эрозия). К формам древней эрозии он относил речные долины, балки и лога, а к современным - промоины, рытвины, канавы и овраги. Классификацией эрозионных форм с различных позиций в последующем занимались многие исследователи (Соболев, 1948; Кесь, 1950; Занин, 1952; Козменко, 1954; Арманд, 1955; Наумов, 1970 и др.).

Большинство исследователей эрозионные формы рельефа подразделяют на две большие группы: 1) обусловленные деятельностью постоянных (руслowych) водных потоков (речные долины); 2) созданные временными (склоновыми) водотоками (промоины, овраги, балки, лога и др.). Одним из основных критериев разделения названных групп служат наличие или отсутствие в эрозионной форме постоянного водотока. Однако этот критерий не является достаточно строгим, поскольку современные овраги и древние балки часто вскрывают горизонты подземных вод и могут иметь постоянный водоток, а речные долины, в силу известных причин, иногда их теряют. Поэтому при классификации эрозионных форм следует использовать и другие критерии - морфологию и морфометрию, внутреннее строение, условия и время их возникновения.

Комплекс эрозионных процессов в речном водосборном бассейне может быть представлен в виде открытой динамической системы, функционирование которой осуществляется под воздействием энергии водных потоков.

Эрозия включает, прежде всего, две составляющие: бассейновую и русловую речную (рис.2). Последняя состоит из эрозии глубинной, определяющей вертикальные деформации русел, и эрозии боковой, вызывающей их горизонтальные деформации и смещения.

Более сложную структуру имеет бассейновая эрозия. Она включает эрозию почвенную, овражную и балочную. Последняя представлена эрозией в древних плейстоценовых балках-суходолах. Вспомогательное значение для почвенной эрозии имеет капельно-дождевая эрозия (деструкция), для оврагообразования – тоннельная эрозия (суффозия талых и дождевых вод). Три основных вида бассейновой эрозии связаны взаимными переходами: при достаточном объеме и концентрации стока воды почвенная эрозия переходит в овражную, овражная эрозия осложняет древние балки. К тому же овраги, завершив цикл своего развития, сами переходят в молодые балки (лога и логовины).

Бассейновая и русловая эрозия не изолированы друг от друга. Русловая глубинная и боковая эрозия создает крутые обнаженные склоны речных долин, на которых локально и ограниченно могут развиваться все виды эрозии бассейновой. Последняя, в свою очередь, поставляет наносы в речную сеть и влияет тем самым на русловые процессы.

В гумидных зонах умеренного пояса, в том числе на востоке Русской равнины, отчетливо выделяются два типа функционирования системы эрозии – природный и антропогенный. Первый характерен для бассейнов, естественный ландшафт которых не изменен или очень слабо изменен деятельностью человека. В таких условиях преобладающая роль в эрозии и формировании стока наносов принадлежит русловой эрозии. Использование разработанного А.П.Дедковым и В.И.Мозжериним (1984) метода приближенной количественной оценки соотношения русловой и бассейновой эрозии показывает, что в условиях естественного или слабо измененного человеком ландшафта лесной зоны востока Русской равнины 70-90% речных наносов являются продуктами русловой эрозии. Сходные результаты при использовании этого метода в бассейне р.Кама получены А.В.Барановым (1988). Что же касается бассейновой эрозии, то в естественных условиях она ограничена лишь эрозией временных водотоков в древних плейстоценовых или раннеголоценовых балках, имеющих хорошо сформированные водосборы, а потому нередко и достаточный для эрозии сток воды. Локальное распространение также имеет ручейковая и овражная эрозия на подмываемых реками крутых, а потому обнаженных склонах.

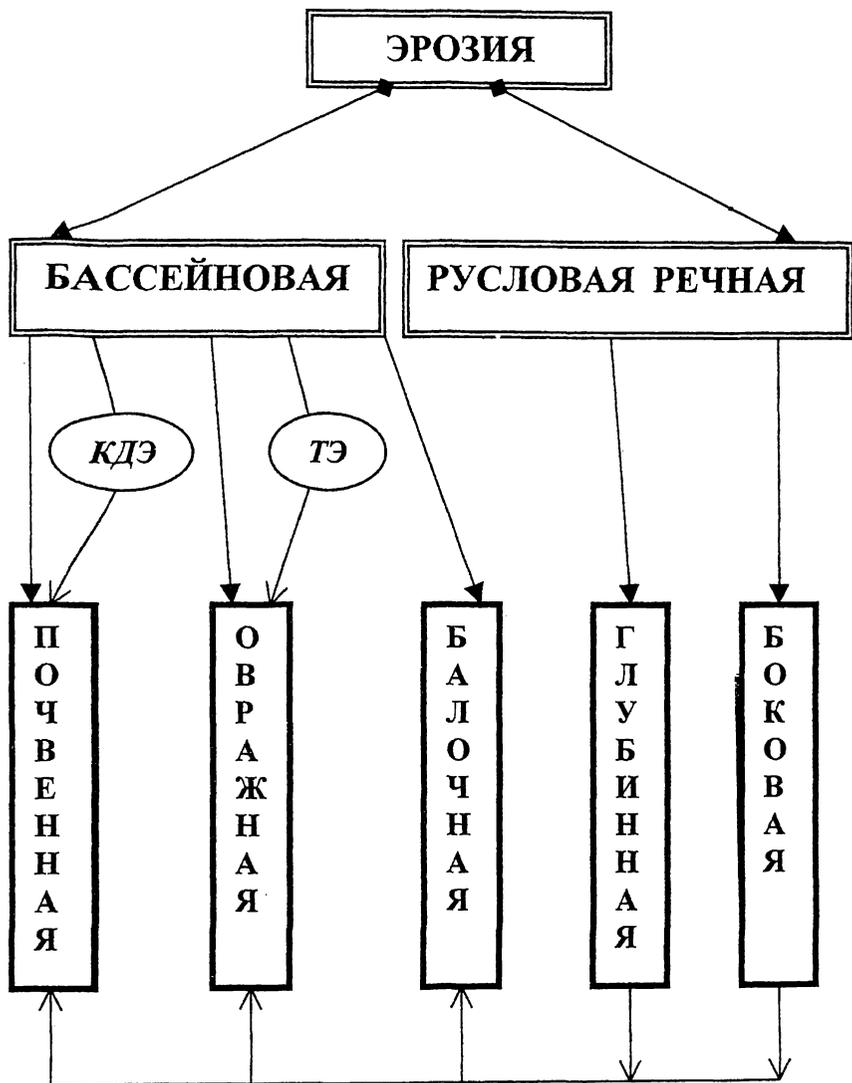


Рис. 2. Блок-схема функционирования открытой динамической системы эрозии

Уничтожение лесов и распашка земель коренным образом изменили структуру и функционирование системы эрозии. Резко возросшая масса продуктов бассейновой эрозии стала поступать в русла рек, вызывая их заиление (Чернов, 1984; Русловой ..., 1994 и др.) и формирование нового антропогенного наилка на поймах (Дедков и др., 1995; Курбанова, 1997; Перевощиков, 1997).

Вопросы классификации речных долин достаточно сложная и не до конца разработанная проблема и рассматривать их здесь не входит в наши задачи. Основное внимание уделим классификации форм временной эрозии, поскольку до настоящего времени в этом вопросе существуют весьма различные подходы, и среди исследователей нет единого мнения.

На наш взгляд, наиболее детально разработанной является классификация группы авторов (Бутак, Дедков и др., 1996), использовавших историко-генетический подход. Поскольку различные по возрасту эрозионные формы возникли в разных условиях, то они отличаются по морфологии, морфометрии, внутреннему строению и сложно сочетаются между собой во времени и пространстве. Эрозионный рельеф временных водотоков эти исследователи делят на две возрастные группы: плейстоценовые и голоценовые формы. К плейстоценовым формам они относят: ложбины, лощины, балки, суходолы и их морфологические разновидности, а к голоценовым - рытвины, промоины, овраги, лога и логовины.

Выделение указанных возрастных групп несколько сужает рамки классификации форм временной эрозии, поскольку здесь нет места для эрозионных образований более раннего, например, неогенового возраста. По нашему мнению, логичнее выделение древних (реликтовых) и современных форм эрозионного рельефа. Их анализ проведен во временной последовательности - от более древних к молодым и основывается на вышеназванной классификации с некоторыми изменениями и дополнениями автора.

2.2. ДРЕВНИЕ ФОРМЫ ЭРОЗИИ ВРЕМЕННЫХ ВОДОТОКОВ

К древним, реликтовым формам эрозионного рельефа временных водотоков относятся ложбины, лощины, балки и суходолы, сформировавшиеся в совершенно иных, по сравнению с существующими,

климато-ландшафтных условиях. Они распространены в умеренном поясе Евразии повсеместно, поэтому часто встречаются и в Удмуртии. Главным диагностическим признаком этих форм является полное или частичное выполнение их делювиально-солифлюкционными суглинисто-щебневыми отложениями. В их верхней части часто наблюдается погребённый почвенный горизонт последнего (мончаловского) межледниковья, позволяющий разделять склоновые образования на две генерации - калининскую и осташковскую (Бутаков, 1986). Вышеназванные основные формы могут иметь морфологические разновидности, обусловленные влиянием литологии коренных пород, изменениями климата, последующим наложением других процессов, сочетанием нескольких разновидностей (Бутаков, Дедков, и др., 1996) (рис.3).

Ложбины - самое верхнее звено древней эрозионной сети. Представляют собой линейно-вытянутые понижения с пологими (до 8-10°) задернованными склонами без перегибов, плавно смыкающимися на дне. Глубина ложбин первые метры, ширина - от нескольких до десятков метров. Поперечный профиль их часто симметричный. Древние ложбины всегда почти полностью выполнены плейстоценовыми делювиально-солифлюкционными суглинками мощностью до 5-6 м. В погребённом рельефе коренных пород ложбины выражены более резко, чем в рельефе современной поверхности (рис. 4 - I). Переход от коренных вмещающих пород к делювиально-солифлюкционным, выполняющим образованиям часто постепенный, без следов эрозии (Бутаков, Дедков и др., 1996). По днищу ложбин часто наблюдаются вымоины и намывные почвы, а на склонах очень редко можно заметить современные размоины и промоины. Из всех рассматриваемых эрозионных форм рельефа ложбины ближе всех (до десятков метров) подходят к линиям водоразделов, их минимальные площади водосборов составляют порядка 0,5 га.

Лощины - последующее после ложбины звено древней эрозионной сети. Отличаются от ложбин большей глубиной (до 10 - 15 м.), более крутыми склонами, имеющими плавные перегибы в верхней части и постепенные переходы в слабо вогнутое днище. Они также выполнены мощной (до 5-10 м) толщей делювиально-солифлюкционных суглинков (рис. 4 - II). Поперечный профиль современной поверхности лощины симметричный или слабо асимметричный. По рельефу коренных пород они выражены достаточно резко, часто наблюдаются следы эрозии, что позволяет считать первоначальной формой их в момент заложения оврагов. На склонах и днище лощин часто встречаются следы современной эрозии в виде размоин, промоин и вымоин. Нередко донные овраги своими вершинами достигают

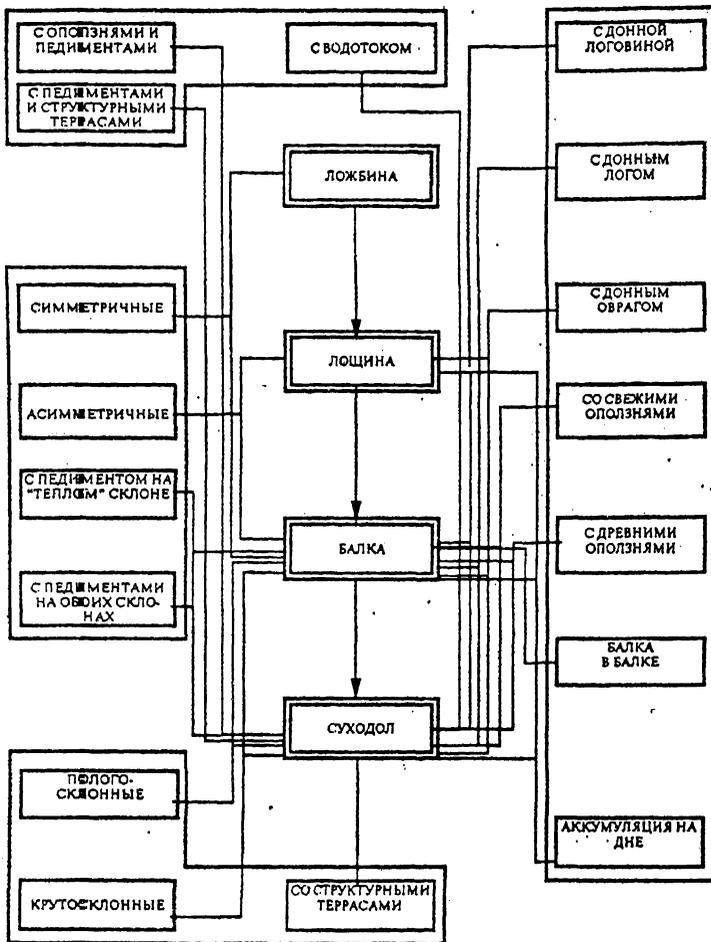


Рис. 3. Типы древних эрозионных форм рельефа временных водотоков и их пространственно- генетические связи (по Бутакову и др., 1996):

- основные формы;
- морфологические разновидности

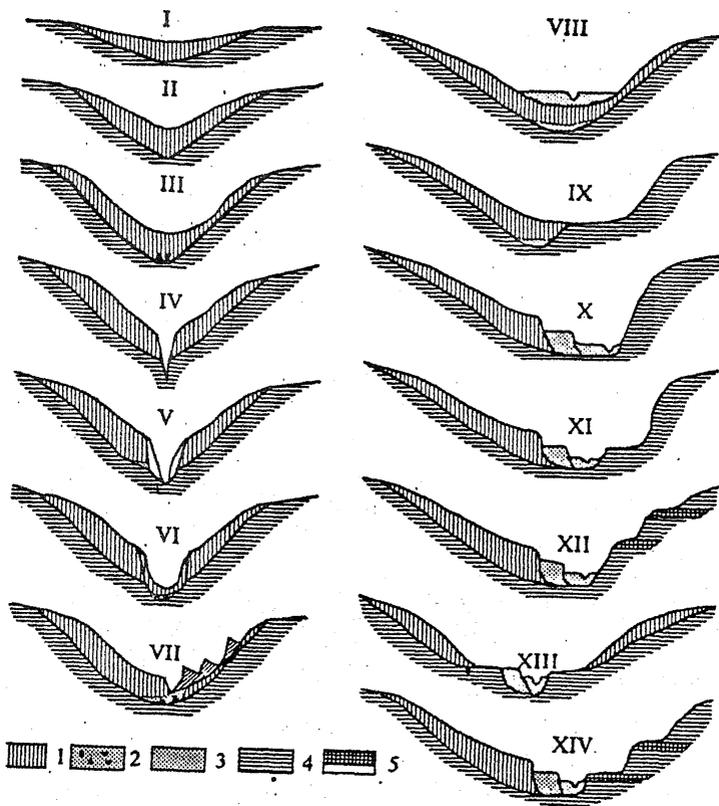


Рис. 4. Поперечные профили типичных древних эрозионных форм рельефа временных водотоков (по Бутакову и др., 1996): I – ложбина, II – лощина, III – балка, IV – балка с донным оврагом, V – балка с донным логом, VI – балка в балке, VII – балка с оползнями, VIII – асимметричная балка с плоским аллювиальным дном, IX – балка с педиментом на склоне «теплой» экспозиции, X – суходол, XI – суходол с педиментом на склоне «теплой» экспозиции, XII – суходол со структурными террасами, XIII – суходол с педиментами на обоих склонах, XIV – суходол с педиментами и структурными террасами; 1 – делювиально-солифлюкционные образования, 2 – пролювий, 3 – аллювий, 4 – коренные породы, 5 – прослой прочных пород.

лощин. Лющины также достаточно близко (до 100-150 м), подходят к линии водоразделов, их минимальные площади водосборов составляют 1,0-1,5 га.

Балки - морфологически чётко выраженные древние формы симметричной (мульдообразной) или слабо асимметричной формы. Склоны и большая часть днищ сложены делювиально-солифлюкционными суглинками разной мощности. На склонах "холодных" (С, СВ, В) румбов их мощность в 1,5-2,0 раза больше, чем на склонах "тёплых" (Ю, ЮЗ, З) румбов, и состав отложений более тонкий. Бровки и тыловые швы плавные, закруглённые, поэтому профили склонов имеют обычно выпукло-вогнутую форму (рис. 4 - III). Балки, в отличие от лощин и ложбин, имеют чётко выраженные в рельефе водосборы. Балочный аллювий обычно слагается суглинисто-супесчаными отложениями, которые у основания разреза часто дополняются слабо сортированным полукатанным грубообломочным материалом, что свидетельствует об активном проявлении эрозии.

Размеры и морфология балок могут существенно различаться. В своё время И.П. Герасимов (1976) выделил два типа балок: 1) короткие, с большим уклоном днища, без вторичных врезов; 2) длинные, широкие, часто со вторичным врезом. Глубина вреза балок зависит от глубины местных базисов эрозии и в пределах территории Удмуртии колеблется от 5-15 м на низменных участках до 50-60 м на правом крутом склоне долины р. Кама и на левобережье р. Вятка. Длина балок также сильно изменяется: от первых сотен метров до нескольких километров. В песчано-глинистых породах склоны балок более пологие, крутизна существенно возрастает в местах выхода на дневную поверхность более прочных пород (известняков, мергелей, доломитов, песчаников и др.). На склоне балок могут появиться педименты, часто они осложняются современными или древними оползнями (рис. 4 - VII, IX). Наложение на балочные формы в голоцене других процессов может привести к созданию ряда морфологических разновидностей (рис. 3). В результате на склонах балок появляются размоины, промоины, овраги, а в днище врезаются овраги, лога и логовины, или наблюдается аккумуляция пролювиальных и балочно-аллювиальных отложений (рис. 4 - IV, V, VI). Иногда в балках сохраняются останцы обтекания в виде отдельных хребтообразных форм, возникающие в местах их ветвления. Такой останец мы наблюдали в балке на северной окраине д.Курегово Малопургинского района.

Большинство балок имеет позднеплейстоценовый возраст (Дедков, 1970), но встречаются и более древние формы, о чём

свидетельствуют накопленные на их склонах и днищах 3-4 и более генераций склоновых и других генетических типов отложений (рис. 4 - VIII). Подтверждением этому может служить разрез плейстоценовых отложений, вскрытый оврагом на левом склоне балки у д.Фертики Воткинского района, где располагается база летней полевой практики студентов географического факультета Удмуртского университета. Работы по расчистке обнажений и описание разрезов проводились сотрудниками и преподавателями кафедры физической географии названного вуза.

В верхней части оврага, на его правом склоне, сверху вниз обнажаются:

1. Покров белесовато-серых песков мелко-зернистых, кварцевых, угловато-среднеокатанных со значительным содержанием зерен темно-цветных минералов. Контакт с подстилающим горизонтом очень неровный. Мощность слоя около 0,2 м.

2. Суглинок средний по механическому составу, коричневатый со слабым красноватым оттенком, плотный, комковато-крупноплитчатой структуры, сильно пористый, с невыдержанными прослоями и линзами более осветленной супеси. Мощность слоя достигает 2,0 м. Переход в следующий горизонт постепенный.

3. Хорошо выраженная слоистая толща, состоящая из прослоев (мощностью от 5-7 до 10-15 см) легких супесей (плохо промытых песков) с более тонкими прослоями (1-3 см) коричневато-красных легких суглинков. Песчаная фракция супесей представлена зернами средней, реже грубой фракции с очень редким содержанием плохо окатанной фракции мелкого гравия. Слой сильно криотурбирован. Контакт с нижележащим слоем очень неровный. Кровля коренных пород (P_2t) разбита морозобойными трещинами. В расчищенном обнажении ширина одной из трещин около 0,3 м, глубина 0,8 м (расчистка сечет трещину вдоль ее простираия). Общая мощность слоя 0,8 м.

Ниже залегают коренные породы пермской системы. Кровля коренных пород имеет крутой уклон на юг (угол наклона более 20°) и всего в 5 м ниже от описанного разреза мощность четвертичных отложений возрастает почти до 7 м.

Примерно в 30 м ниже по тальвегу от первого разреза на левом склоне оврага сверху вниз обнажаются:

1. Песок белесовато-серый, аналогичный в слое 1 в первом разрезе. Здесь, в этом слое, ясно различаются несколько прослоев. В верхней части (0,15-0,20 м) залегают современный слоистый делювий с хорошо выраженными

темноокрашенными прослойками (2-3 см) намытой почвы. Ниже залегает более темноокрашенная супесчаная толща с мелкими кусочками древесного угля. Мощность прослоя около 0,3 м. Переход в следующую толщу постепенный. Ниже залегают светло-серые бесструктурные пески, аналогичные слою I в первом разрезе. Переход в следующий слой неровный вследствие осложнения кровли нижележащей толщи многочисленными трещинами глубиной 0,15-0,20 м. Мощность всего слоя составляет около 0,9 м.

2. Верхняя часть слоя представлена толщей, состоящей из неправильной формы прослоев и линз слабо промытого серовато-желтого песка. Песок по составу преимущественно кварцевый, средней фракции с отдельными зернами крупной фракции, среднеокатанный. Имеется значительное количество зерен темноцветных минералов. Суглинки, мощностью от 5-7 до 12-15 см, имеют очень размытый контакт с песками, вклиниваясь в пески в виде языков и быстро выклинивающихся прослойков. Внизу четко выраженный базальный слой, неровный по мощности (от 3 до 12-15 см), выполняющий карманы в кровле нижележащего слоя. Базальный слой представлен плохо отсортированным разнозернистым песком с редким содержанием гравия и мелкой гальки местных и уральских пород. Общая мощность слоя достигает 1,2 м.
3. Суглинок коричневый с красноватым оттенком в нижней (0,5 м) части со слабо выраженными прослоями (10-12 см) супесчаных отложений с желтоватым оттенком. Толща отдельными, хорошо выраженными трещинами разбита на блоки. Мощность слоя 0,8 м. Переход в следующий слой постепенный.
4. Мощная толща слоистых отложений, состоящая из отдельных прослоев (от 1 до 12 см) серовато-желтого кварцевого песка с большой примесью темноцветных минералов и коричневой, со слабым красноватым оттенком, супеси. Встречаются прослой (редко) такой же мощности, сильно обогащенные гравийно-галечным материалом. Толща криотурбирована. На глубине примерно 0,5 м от кровли толщи фиксируется хорошо выраженная мерзлотная трещина глубиной около 1,5 м. Видимая мощность слоя - 7,0 м.

Примерно в 60 м ниже по течению, на правом склоне коренного оврага, куда впадает выше описанный отвершек, разрез плейстоценовых отложений несколько меняется. Верхняя часть слоя 4 мощностью около 3,0 м почти полностью замещается песками с тонкими прослоями коричневых супесей. Вышеописанная толща в нижней части наращивается слоем (около 3,0 м) легких суглинков буровато-коричневого цвета с тонкими (2-5 см) прослоями супесей и песков серовато-желтого цвета. Слои наклонены (азимут наклона 160° , угол падения 26°).

Ниже находится осыпь мощностью около 3,0 м, она простирается до уреза воды в тальвеге оврага. Суммарная мощность плейстоценовых отложений, выполняющих древние эрозионные врезы в описываемом месте, составляет около 20 м.

В 20-30 м ниже устья отвершка, на уровне последней расчистки обнажения, в тальвеге русла из мочажин начинает просачиваться вода. Здесь, очевидно, толща плейстоценовых отложений контактирует с коренными породами пермской системы. Эти породы (красноцветные аргиллиты) вскрываются на правом коренном склоне балки в 0,2-0,25 км ниже, на абсолютных отметках 115-117 м.

Фертиковская балка в своем устье образует мощный конус выноса, который в свою очередь, при переходе в поверхность 2-й надпойменной террасы р.Удебка наискосок расчленяется современной промоиной, глубина врез которой достигает 2,0 м. На склонах этой промоины заложены шурфы, которые вскрыли отложения конуса выноса.

Сводный разрез отложений конуса выноса состоит также из 4-х толщ, по своей структуре аналогичных разрезам плейстоценовых отложений, выполняющих древний эрозионный врез. Суммарная мощность коррелятных толщ конуса выноса балки составляет 4,1 м.

Таким образом, под песчаным покровом, сформировавшимся в толще плейстоцена, наблюдаются две пачки ритмично слоистых отложений, со следами влияния мерзлоты, разделенных перерывом осадконакопления, соответствующим по возрасту, согласно, сводной схемы разреза, составленной А.Г.Илларионовым, времени мологоспексинского межледниковья. Следовательно, эти отложения относятся к верхнему плейстоцену: нижняя пачка (ритмично-слоистых отложений) соответствует времени калининского оледенения, верхняя – осташковского.

По мнению Г.П. Бутакова и других (1996), среди плейстоценовых балок особо выделяются формы, созданные временными водотоками в конце позднего плейстоцена (мончаловское межледниковье и

осташковское ледниковье). От более древних (микулинско-калининских и ранних) они отличаются более крутыми склонами, с ясными бровками, хуже выраженным водосбором, малой мощностью преимущественно делювиальных отложений на склонах и днище. Эти отличия обусловлены меньшей продолжительностью осташковского перигляциала и, следовательно, более слабой криопланиацией рельефа. Мончаловско-осташковские балки по морфологии даже ближе к современным логам и логовинам, чем к древним мульдообразным балкам.

Суходолы - более крупные формы с редко выраженной асимметрией склонов климатического типа, обусловленной неравномерным развитием экзогенных процессов на склонах различной экспозиции. В целом преобладает южный вариант асимметрии с более крутыми (15-30°) "теплыми" склонами. Они прикрыты маломощным чехлом грубых (суглинисто-щебневых или щебневых) отложений или полностью лишены рыхлого покрова. Пологие "холодные" склоны затянуты мощными (до 15-20 м) шлейфами делювиально-солифлюкционных суглинков со щебнем в базальной их части (Бутаков, 1986). Другой отличительной чертой суходолов является их плоское днище, занятое сухим руслом, поймой, иногда одной-двумя надпойменными террасами (рис. 4 - X). Эрозионная переработка балок в суходолы происходила в голоцене или даже во второй половине позднего плейстоцена (Бутаков, Дедков и др., 1996).

В раннем и среднем голоцене многие суходолы представляли собой долины малых рек. В настоящее время в лесостепной и степной зонах они утратили постоянный сток из-за дренажа подземных вод, последовавшего за вырубкой лесов и распашкой земель, а также вследствие накопления наносов в руслах рек (Чалов, 1979, 1991; Ковальчук, Штойко, 1989; Ковальчук и др., 1996; Дедков и др., 1995; Дедков, Можжерин, 1996; Панин, Юдаев, 1996). Может наблюдаться и обратный процесс перехода от суходола к речной долине (Гайворон, 1985). На территории Удмуртии суходолы в классическом варианте не встречаются, они заняты долинами малых рек.

Некоторые исследователи выделяют суходолы как самостоятельный тип форм эрозии временных водотоков. Например, И.П. Герасимов (1976) считал их разновидностью балок, А.С. Козменко (1954), наоборот, балки рассматривал как разновидности суходолов.

Морфология и морфометрия суходолов, как и балок, весьма разнообразны (рис.4 - X-XIV). В зависимости от характера коренных пород они могут быть пологосклонными или крутосклонными, на крутых их склонах часто наблюдаются структурные террасы. На их склонах часто

встречаются современные эрозионные формы - размоины, промоины, овраги и оползневые деформации. В днище могут быть врезаны лога, логовины и донные овраги

2.3. СОВРЕМЕННЫЕ ФОРМЫ ВРЕМЕННОЙ ЭРОЗИИ

В позднем голоцене эрозионные процессы развиваются в климато-ландшафтных условиях, очень сходных с современными. Поэтому позднеголоценовые формы эрозии временных водотоков, в отличие от древних (реликтовых), мы будем называть современными, как и А.М. Панков (1937), А.С. Козменко (1954) и многие другие авторы. Современный тип форм рельефа временной эрозии большинством исследователей делится на две группы, которые существенно отличаются по морфологии и строению от древних (раннеголоценовых, плейстоценовых и более ранних). Г.В. Занин (1952) эти две группы назвал: 1) молодые закреплённые эрозионные формы - лога и логовины; 2) формы свежего размыва. Первая группа эрозионных форм возникла в начале голоцена, вторая - развивается в настоящее время. К формам свежего размыва обычно относят: размоины, вымоины, промоины, овраги. С.С.Соболев (1948), А.С. Кесь (1950) считали их разными стадиями развития оврагов. А.С. Козменко (1954) к второй группе эрозионных форм относил лишь размывы донные и береговые (промоины), не употребляя термина "овраг".

По нашему мнению, современный тип форм временной эрозии следует разделять на две группы не по одному морфологическому признаку, а необходимо учитывать ещё и их генетические особенности. Первая группа современных эрозионных форм сформировалась в естественных условиях без вмешательства человека (доагрикультурный период), вторая группа форм в подавляющем большинстве случаев развивалась в результате существенного влияния на процесс антропогенного фактора. Поэтому, если первая группа форм рельефа развивалась в условиях естественного типа функционирования системы эрозии, то вторая - в условиях антропогенного. Продолжительность второго этапа для территории Вятско-Камского региона составляет порядка 2,5-3,0 тыс. лет, когда началось сведение лесов для земледелия подсечно-огневым способом (Туганав, 1991). В ранние этапы земледелия появление единичных оврагов антропогенного происхождения полностью отрицать нельзя.

Началом развития современной овражной эрозии в Удмуртии следует считать XVI-XVII вв., когда началось интенсивное заселение правобережья Камы русским населением, с которым связано появление и внедрение здесь паровой системы земледелия, предусматривающей наличие значительных площадей пахотных угодий (Туганаев, 1984; Иванова, 1994).

Массовое появление оврагов большинство исследователей связывают с интенсивным сведением лесов и распашкой земель во второй половине XIX в., когда, по выражению В.И.Масальского (1897), пахали всюду, где только могла стоять лошадь. Так, по данным М.А.Цветкова (1957), распаханность территории Вятской губернии, куда входила основная часть площади современной Удмуртии, увеличилась с 20,7% в 1819 г. до 34,1% в 1887 г., собственно лесистость за этот период сократилась с 75,3% до 52,1%, а к 1914 г. она уменьшилась до 39,6% от всей площади.

Схема функционирования подсистемы овражной эрозии. В пределах общей системы эрозии (рис. 2) может быть выделена подсистема овражной эрозии, функционирование которой под влиянием различных природных и антропогенных факторов показано ниже (рис.5).

На распаханном склоне при достаточном объеме и скорости стекающей воды начинается линейная эрозия и образуется размоина. Дальнейшая эрозия углубляет размоину до промоины и превращает последний в растущий овраг, вершина которого смещается вверх по склону. Чем выше по склону продвигается вершина оврага, тем меньше становится ее водосборная площадь. Чем глубже становится овраг, тем меньше уклон его тальвега. Следствием уменьшения площади водосбора и уклона тальвега является уменьшение живой силы (кинетической энергии) потока. Процессы эрозии продолжают до тех пор, пока ее все уменьшающаяся сила не сравняется с сопротивлением, что будет означать установление динамического равновесия. В дальнейшем кратковременные эпизоды активизации овражной эрозии могут быть связаны с экстремальным стоком талых или дождевых вод. Но с каждой такой вспышкой стабильность овражной формы все более возрастает.

После прекращения глубинной эрозии продолжают процессы осыпания, оползания и оплывания склонов, уменьшающие их крутизну и способствующие их зарастанию, что означает переход оврага в молодую балку или лог.

Овражная система, как и все природные системы, **саморегулируема**, что определяется развитием обратных отрицательных связей (рис. 5), стремлением к состоянию динамической стабильности.

Как выше отмечалось, чем более интенсивна глубинная и регрессивная эрозия оврага, тем все больше сокращаются условия (масса воды и уклон), обеспечивающие процесс эрозии. Овраг сам постепенно вырабатывает форму, все более сокращающую действие процесса. И лишь изменения окружающей среды (климата, растительного покрова, рельефа, деятельности человека) или экстремальные проявления гидрометеорологических процессов способны нарушить установившееся динамическое равновесие и вызвать новую активизацию овражной эрозии.

В результате функционирования подсистемы овражной эрозии возникает следующий генетический ряд современных линейных эрозионных форм.

Размоины (размывы) - первоначально возникающие линейные эрозионные формы глубиной до 0,5 м шириной до 1,5-2,0 м, обычно уничтожаются вспашкой (рис. 6). Как правило они появляются ежегодно в одних и тех же местах. Некоторые авторы называют эти формы рытвинами, бороздами. В отечественной литературе термин "рытвина" обычно употребляется для обозначения неровностей на проезжей части дорог, а второй термин чаще используется в земледелии, обозначая понижения, возникающие при вспашке.

Вымоины - первоначальная стадия возникновения вторичной эрозионной формы, появляются в днищах балок, лощин, логовин и др. в виде отдельных или нескольких участков размыва дернины. Они обычно закладываются в местах вытаптывания дернины скотом или по колеям транспортных средств. Вымоины всегда имеют эрозионный уступ высотой от нескольких сантиметров до 1,0-1,5 м, длина изменяется в больших пределах: от первых метров до десятков метров. По ширине в редких случаях достигают ширины днища первичной эрозионной формы. Часто вымоины располагаются в виде ряда изолированных ступеней через десятки или даже сотни метров, между ними находятся задернованные участки днища. Эрозионные уступы обычно имеют водобойный колодец, где формируется ниша размыва, которая способствует обрушению карниза из прочной дернины, и таким образом вымоины перемещаются вверх по днищу и, увеличиваясь в размерах, могут превратиться в промоину или донный овраг.

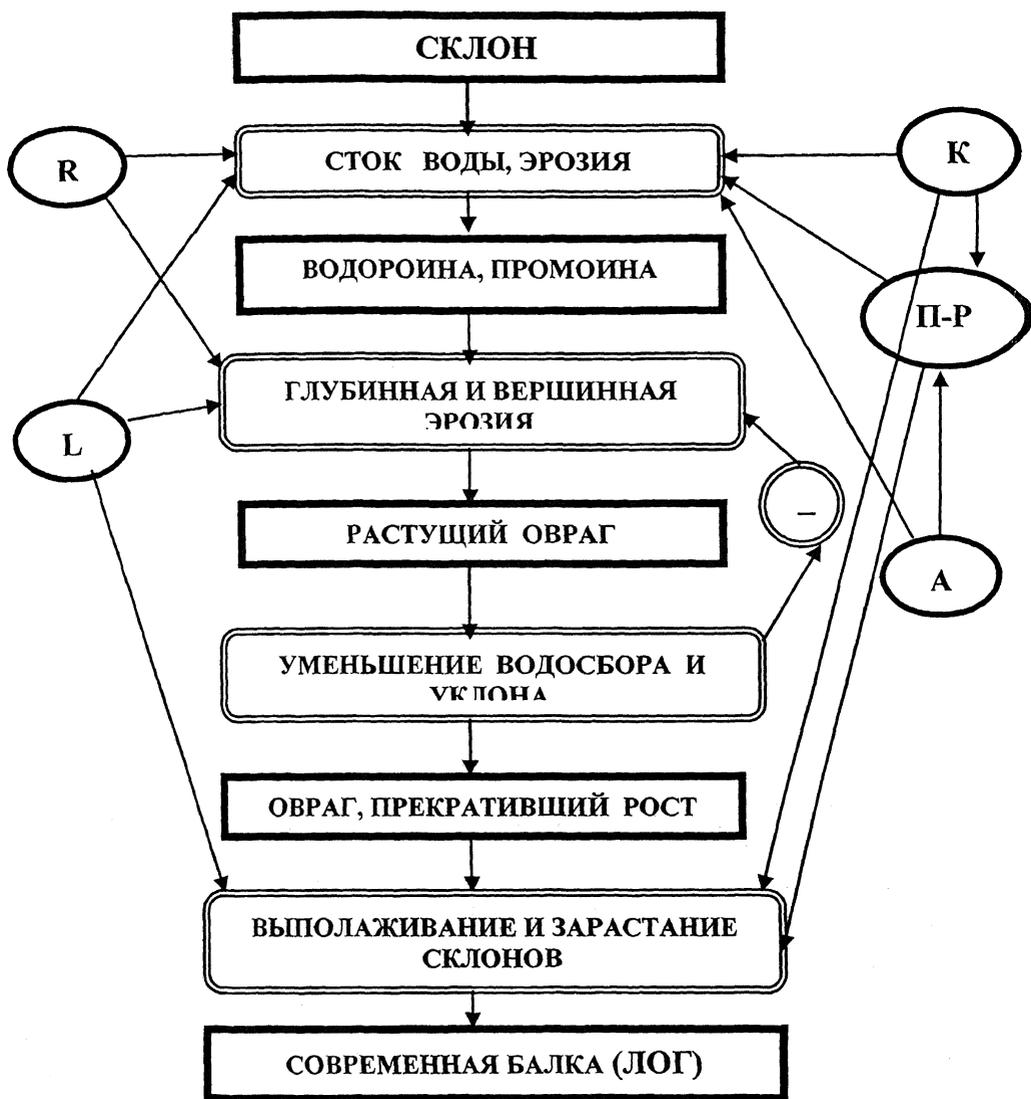


Рис. 5. Блок-схема функционирования подсистемы овражной эрозии.
 Условные обозначения: А- антропогенный фактор; П-Р – почвенно-растительный покров; К – климат (гидрометеорологический фактор); R – рельеф; L – состав пород

Промоины (водороины) - последующая стадия развития линейной эрозионной формы. Они имеют глубину до 1,5-2,0 м, ширину 1,0-3,0 м, вертикальные или крутосклонные, незадернованные стенки (рис. 7). Поперечный профиль симметричный или слабо асимметричный (с более пологим теневым склоном) различной формы (от V-образного до карнизного). Продольный профиль обычно повторяет форму склона. Встречаются как одиночные, так и сложные системы. В плане чаще всего имеют линейную форму. Промоины, как и овраги, можно разделить на первичные и вторичные.

Овраги - основные формы эрозии временных водотоков, обычно возникают на месте промоин при дальнейшем усилении эрозии. Овраги могут возникнуть и минуя стадию промоины (при значительных естественных или искусственных сбросах воды). Не все промоины превращаются в овраги, часть из них, в силу различных обстоятельств, прекращает свое развитие.

Главными признаками оврагов являются: глубина вреза более 2,0 м, крутые (до 45-60° и более) незадернованные или частично задернованные склоны, продольный профиль существенно отличается от профиля склона (или днища балки, суходола и др.). Морфология и размеры оврагов могут быть весьма различными в зависимости от происхождения, стадии развития, состава размываемых пород, положения в рельефе, величины и характера водосбора.

По происхождению овраги, как и другие современные эрозионные формы, можно разделить на естественные и антропогенные. Естественные овраги образовывались и раньше без вмешательства человека, возникают они и в настоящее время. Развитие их обусловлено естественными процессами, вызвавшими нарушение целостности почвенно-растительного покрова (боковая эрозия реки, возникновение различного рода трещин на склонах, вывалы деревьев, оползни, карст, суффозия, катастрофические ливни и др.).

Антропогенные овраги возникают при изменении природных ландшафтов в результате хозяйственной деятельности человека. По характеру антропогенного воздействия могут быть выделены три крупные группы оврагов (Зорина, 1987; Бутаков и др., 1996): 1) образующиеся при нарушении естественных условий на водосборе - уничтожение растительности, распашка, усиленное обводнение территории и т.п.; 2) возникающие искусственно на водосборах, созданных новыми линиями стока - разъемными бороздами на пашне, скотопроезными тропами, межеванием, обвалованием; в эту группу включаются и придорожные



Рис. 6. Первоначальная форма линейного размыва (размоина). (Фото автора)



Рис. 7. Промонна, возникшая на крутом склоне, разрушает грунтовую дорогу. (Фото автора)

овраги, разрушающие кюветы и полотно дорог; 3) чисто техногенные овраги, формирующиеся при стоке промышленных вод при добычных и строительных работах, сбросных вод предприятий, прорывов различных трубопроводов.

2.4. МОРФОМЕТРИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ОБРАГОВ

По положению в рельефе с учетом существующих типизаций оврагов (Герасимов, 1950; Кесь, 1950; Занин, 1952; Козменко, 1954; Сурмач, 1976; Беляев, 1976; Заславский, 1983 и др.), для Удмуртии были приняты следующие основные разновидности: первичные (прибалочные, придолинные, приводораздельные), вторичные (донные, вершинные, пойменные).

С целью изучения морфометрических особенностей оврагов было проанализировано свыше 2,5 тысяч различных типов оврагов. Для этого использовались аэрофотопланшеты масштаба 1:10000 с нанесенными горизонталями сечением 5 м. Определялись следующие основные характеристики: 1) тип оврага, 2) длина главного оврага и всех отвершков, 3) количество их вершин, 4) падение и средний уклон тальвега оврага, 5) площадь оврага, 6) расстояние от вершины оврага до ближайшего водораздела вдоль линии стока (длина линии стока вершинного водосбора), 7) падение и средний уклон линии стока вершинного водосбора, 8) расстояние от устья оврага до ближайшего водораздела вдоль линии стока (длина линии стока оврага), 9) превышение ближайшего водораздела относительно устья оврага (глубина местного базиса эрозии), 10) средний уклон линии стока оврага, 11) экспозиция заовраженного склона и некоторые другие, не рассматриваемые в данной работе. Длины измерялись с помощью курвиметра, в отдельных случаях использовался циркуль-измеритель; площадь оврагов определялась весовым методом.

Анализ полученных данных показал, что большинство оврагов (29,2%) имеют длину линий стока от 750 до 1250 м (табл. 2.1). Распространение оврагов постепенно сокращается как на длинных, так и коротких склонах, что контролируется их крутизной. Овраги преобладают на склонах, где средние уклоны их линий стока составляют всего 2-3° (35,9%), при этом значительное большинство их (62,3%) сосредоточено на склонах длиной от 750 до 1750 м. Объясняется это тем, что такие склоны в наибольшей степени используются в земледелии. Так,

например, по данным Удмуртского филиала института «Уралгипрозем» (Генеральная..., 1983) на склонах крутизной до 3⁰ располагается 76% пахотных угодий республики. Данные таблицы свидетельствуют о высоких потенциальных возможностях развития овражной эрозии. При благоприятных условиях овраги возникают даже на очень коротких склонах (200-250 м) с уклоном около 2⁰. Резкое сокращение количества оврагов на крутых коротких склонах объясняется их меньшей нарушенностью хозяйственной деятельностью человека.

Таблица 2.1

Распределение количества оврагов по грациям длин линий стока и их средних уклонов

Уклон линий стока, град.	Длина линий стока оврагов, м									
	Ме- нее 250	250- 500	500- 750	750- 1000	1000- 1250	1250- 1500	1500- 2000	2000- 2500	2500- 3000	Бо- лее 3000
Менее 2	10	29	46	84	99	124	165	138	61	111
2 - 3	8	35	78	146	148	145	201	99	26	24
3 - 4	16	40	77	90	76	58	35	4	2	-
4 - 5	15	33	55	35	27	17	5	1	-	-
5 - 6	8	22	42	26	3	-	-	-	-	-
6 - 8	3	18	30	5	2	-	-	-	-	-
8 - 10	2	6	5	-	-	-	-	-	-	-
Более 10	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Итого:	63	183	333	386	355	344	406	242	89	135

Распределение протяженности овражной сети в зависимости от длины линий стока и ее среднего уклона приводится в таблице 2.2. Анализ табличных данных свидетельствует, что в общих чертах оно аналогично вышеописанному, за исключением лишь одной особенности, что заключается в преобладании протяженности овражной сети на более длинных (1250 – 1500 м) склонах. Это связано с тем, что на длинных склонах увеличивается возможность появления более протяженных оврагов при сохранении их количества.

Первичные (склоновые) овраги закладываются на склонах различных форм рельефа (речных долин, балок, увалов и т.п.), не имеющих первоначально четко выраженных стокоподводящих ложбин. Водосборная площадь этих оврагов в рельефе плохо выражена. Среди первичных или склоновых оврагов можно выделить придолинные, прибалочные и приводораздельные.

Таблица 2.2

**Распределение протяженности овражной сети (м) по градам длин
линий стока и их средних уклонов**

Уклон линий стока, град.	Длина линий стока оврагов, м									
	Менее 250	250-500	500-750	750- 1000	1000- 1250	1250- 1500	1500- 2000	2000- 2500	2500- 3000	Более 3000
Менее 2	890	3035	6260	17764	22300	24940	43133	34573	12100	17980
2 -3	1080	4375	11507	32958	34748	48302	48349	9780	3280	3863
3 -4	2430	4698	12498	19487	14835	17968	9575	1160	380	-
4 -5	1415	3360	8726	6685	6530	11485	6575	250	-	-
5 -6	805	1546	5577	2760	355	-	-	-	-	-
6 -8	295	2589	3765	2140	1140	-	-	-	-	-
8 -10	189	630	535	-	-	-	-	-	-	-
Более 10	80	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Итого:	7184	20233	48868	81794	79908	102695	107632	45763	15760	21843

Придолинные овраги приурочены к крутым склонам речных долин, они обычно короткие (менее 100 м), не выходящие вершиной за бровку склона (рис.8). В морфологическом отношении очень близки к промоинам, но отличаются от них более глубоким эрозионным врезом. Нередко встречаются группой в виде серии параллельных размывов. В устьевой части таких оврагов, как правило, хорошо сохраняются конусы выноса. Это объясняется тем, что концентрированный водный поток, выходя на почти плоскую пойму (или террасу) сильно расплывается и вследствие резкого уменьшения уклонов быстро теряет свою транспортирующую способность и откладывает здесь значительную часть вынесенного материала.

В Удмуртии на долю придолинных оврагов приходится 21 % от общего их количества и 12,3% от всей протяженности овражной сети. Средняя длина их, полученная как отношение суммарной протяженности к количеству вершин оврагов данного типа, составляет 98 м.

Прибалочные овраги возникают на склонах балок, суходолов, реже лощин (рис. 9). Они приурочены не только к крутым, но и более пологим склонам, сложенным мощной толщей делювиально-солифлюкционных суглинков. В зависимости от состава вскрываемых пород наблюдаются их морфологические разновидности. В отличие от предыдущих, в этих оврагах конуса выноса почти всегда отсутствуют.

Нередко прибалочный овраг стимулирует развитие донного и возникает сочетание двух различных типов.

Прибалочные овраги обычно короткие, их средняя длина составляет 65 м. На их долю приходится лишь 5% оврагов по количеству вершин и 1,9% по протяженности.

Рассмотренные разновидности оврагов многие авторы относят к береговым. Данный термин не совсем удачен, поскольку смысловое значение этого понятия трактуется людьми по-разному.

Важной морфометрической характеристикой оврагов является их длина и средний уклон тальвега. Распределение количества придолинных и прибалочных оврагов по грациям их длины и среднего уклона тальвега представлено в таблице 2.3. Данные таблицы показывают, что большинство рассматриваемых оврагов (41,8%) имеют длину от 50 до 100 м, при этом обращает внимание большое количество очень коротких оврагов (33,3%). Овраги длиной более 200 м встречаются редко, они распространены преимущественно на правом крутом склоне долины р.Кама. Для данного типа преобладающими являются овраги длиной до 100 м, имеющими средний уклон тальвега более 12° (23,8%).

Таблица 2.3

Распределение придолинных и прибалочных оврагов по грациям их длины и среднего уклона тальвега

Уклон тальвега оврага, град.	Длина оврага, м			
	Менее 50	50 - 100	100 - 200	Более 200
Менее 2	5	20	11	5
2 - 3	8	14	13	1
3 - 4	14	19	18	2
4 - 5	10	25	20	-
5 - 6	17	35	17	-
6 - 8	21	40	33	2
8 - 10	32	38	15	4
10 - 12	27	26	24	-
Более 12	94	69	3	3
Итого:	228	286	154	17

Приводораздельные овраги распространены по различным элементам рельефа (за исключением крутых склонов речных долин, балок и их дниц) и их водосборы достигают ближайших водоразделов.



Рис. 8. Вершина придолинного оврага. (Фото автора)

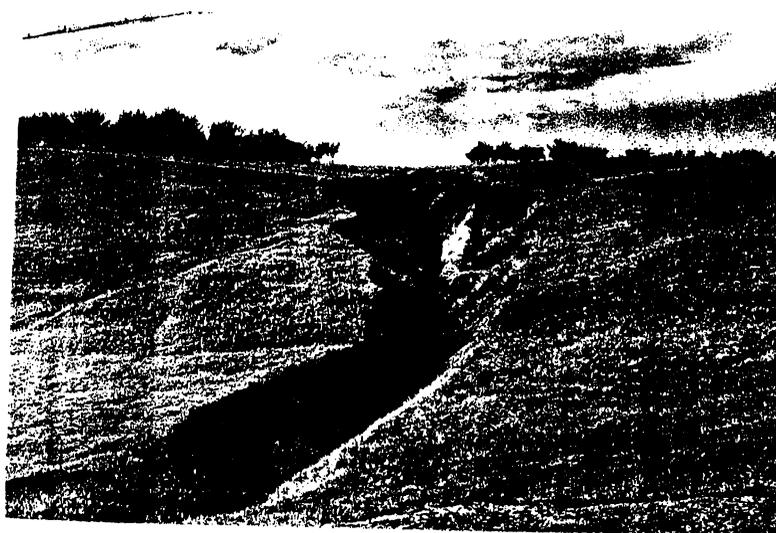


Рис. 9. Овраг на крутом склоне древней балки. (Фото автора)

Эти овраги часто называют склоновыми, хотя этот термин объединяет все первичные овраги. Большинство оврагов данного вида в вершинной части размывают коренные породы и развиваются очень медленно. На длинных склонах они образуют сложный комплекс овражных систем (рис. 10). Морфология и размеры их сильно различаются.

В республике данный тип оврагов является наиболее распространенным. К ним относятся 32% оврагов по количеству вершин и 34,4% по протяженности. Средняя длина приводораздельных оврагов составляет 236 м.

Распределение количества приводораздельных оврагов по градациям их длины и среднего уклона тальвега представлено в таблице 2.4. Анализ данных показывает, что большинство приводораздельных оврагов (42,6%) имеют длину от 100 до 300 м, причем очень много (21%) также коротких (до 100 м) оврагов. На долю длинных (более 500 м) оврагов приходится всего 20,4% от общего количества анализируемых эрозионных форм.

Преобладают овраги (18,2%) со средним уклоном тальвега от 3 до 4°. Отмечается резкое снижение количества оврагов как с пологим (6,8%), так и с крутым (более 12°) тальвегом (2,7%). Для рассматриваемого типа наиболее распространенными являются овраги длиной 100 – 200 м со средним уклоном их тальвега 4 - 8° (табл. 2.4).

Таблица 2.4

Распределение количества приводораздельных оврагов по градациям их длины среднего уклона тальвега

Уклон тальвега оврага, град.	Длина оврага, м								
	Менее 50	50 - 100	100 - 200	200 - 300	300 - 400	400 - 600	600 - 800	800 - 1000	Более 1000
Менее 2	1	11	7	10	6	10	2	1	3
2 - 3	1	12	15	13	12	16	11	10	26
3 - 4	3	16	18	31	19	19	11	4	15
4 - 5	4	7	33	16	10	13	11	2	7
5 - 6	5	15	38	18	13	8	1	3	3
6 - 8	5	19	33	16	5	8	5	1	2
8 - 10	8	12	29	17	4	4	2	-	1
10 - 12	8	10	15	9	2	1	-	-	-
Более 12	9	11	-	-	-	-	-	-	-
Итого:	44	113	188	130	71	79	43	21	57

Вторичные овраги развиваются по днищам отчетливо выраженных в рельефе линейных эрозионных форм (ложбин, лощин, балок, суходолов и др.). Все они имеют четко сформированный водосбор, где происходит концентрация значительного объема водных масс. В зависимости от места размыва среди них можно выделить донные, вершинные и пойменные.

Донные овраги закладываются на днище древних эрозионных форм в их средней и нижней части. При вскрытии горизонтов подземных вод активность их роста значительно возрастает. При вершине донных оврагов обычно образуется водобойный колодец с эрозионным котлом (рис. 11). Глубина вреза донных оврагов редко превышает 5-7 м, длина может превышать сотни метров. По ширине лишь в исключительных случаях достигают бортов древней эрозионной формы, провоцируя возникновение на них оползней. На днище протяженных балок часто наблюдается несколько донных оврагов, чередующихся с вымоинами и промоинами.

В пределах Удмуртии донные овраги являются самыми длинными, их средняя длина достигает 296 м. Поэтому на их долю приходится 37,8% оврагов по протяженности и только 28% по количеству их вершин.

Распределение количества донных оврагов по грациям их длины и среднего уклона тальвега представлено в таблице 2.5.

Таблица 2.5
Распределение донных оврагов по грациям их длины
средних уклонов тальвега

Уклон тальвега оврага, град.	Длина оврага, м								
	Менее 50	50 - 100	100 - 200	200 - 300	300 - 400	400 - 600	600 - 800	800 - 1000	Более 1000
Менее 2	5	27	40	34	18	18	4	6	8
2 - 3	8	33	30	27	11	8	7	7	1
3 - 4	7	16	18	9	8	5	2	-	3
4 - 5	3	8	10	10	1	2	1	-	3
5 - 6	-	4	7	9	3	2	-	1	1
6 - 8	-	3	3	7	2	2	1	-	-
8 - 10	1	4	4	7	-	-	-	-	-
10 - 12	1	2	2	2	-	1	-	-	-
Более 12	1	-	1	-	-	-	-	-	-
Итого:	26	97	115	105	43	38	15	14	16

Анализ полученных данных свидетельствует, что большинство донных оврагов (46,9%) имеют длину от 100 до 300 м, на долю коротких (до 100 м) оврагов приходится 26,2% от общего числа анализируемых эрозионных форм. Существенно снижается (12,4%) количество длинных (свыше 500 м) оврагов.

Преобладающими являются овраги с пологим (до 3^0) тальвегом (62,3%), овраги с крутым тальвегом встречаются единично. Для данного типа наиболее распространенными являются овраги длиной 100 – 300 м со средним уклоном их тальвега до 3^0 (табл. 2.5).

Вершинные овраги приурочены к верховьям древних эрозионных форм, поэтому они имеют относительно меньший водосбор, чем донные. Стокоподводящими путями служат самые верхние звенья древней и современной эрозионной сети. В вершинах этих оврагов обычно вскрываются коренные породы (рис. 12), поэтому растут они медленнее донных. Как правило, они короткие, глубина эрозионного вреза составляет 2.0-5.0 м. Склоны их очень крутые (до $50-70^0$ и более), поперечный профиль обычно V-образный или каньонобразный.

Средняя длина вершинных оврагов составляет 221 м. В республике на их долю приходится 13% оврагов по количеству вершин и 13,2% по протяженности.

Распределение количества вершинных оврагов по грациям их длины и среднего среднего уклона тальвега представлено в таблице 2.6. Анализ табличных данных показывает, что преобладающее большинство вершинных оврагов (56,1%) имеют длину от 50 до 200 м, на долю очень коротких (до 50 м) оврагов приходится лишь 6,4%, соответственно длинных – 4,9%.

В зависимости от уклона тальвега больше встречаются овраги со значением данного показателя от 2^0 до 3^0 (27,7%). Среди вершинного типа овраги с крутым уклоном тальвега встречаются крайне редко. Для рассматриваемого типа наиболее распространенными являются овраги длиной от 100 до 200 м со средним уклоном их тальвега 2 - 4^0 (табл. 2.6).

Пойменные овраги часто встречаются на высоких поймах речных долин. Механизм их образования несколько отличается от вышеописанных. Импульсом для их развития служит русловой размыв высокого берегового уступа и наличие стокоподводящей ложбины на пойме. Рост их очень быстрый, иногда катастрофический. Они обычно короткие (десятки метров), глубина вреза зависит от высоты поймы (2-4 м), поперечный профиль их V-образный или каньонобразный (рис. 13). Такие овраги встречаются как в южных, так и в северных районах республики.



Рис. 10. Комплекс овражных систем в бассейне р.Чекша Каракулинского района



Рис. 11. Донный овраг с водобойным колодцем и эрозионной нишей при вершине. (Фото автора)

Таблица 2.6

Распределение количества вершинных оврагов по градациям их длины и среднего уклона тальвега

Уклон тальвега оврага, град.	Длина оврага, м							
	Менее 50	50 - 100	100 - 200	200 - 300	300 - 400	400 - 600	600 - 800	Более 1000
Менее 2	2	34	46	30	11	12	6	1
2 - 3	7	41	53	32	24	12	4	3
3 - 4	10	27	54	19	15	6	2	-
4 -	11	18	16	12	7	5	1	-
5 - 6	5	14	12	4	4	3	-	-
6 - 8	4	8	13	8	6	3	-	-
8 - 10	2	5	7	4	2	-	-	-
Более 10	-	3	6	2	-	-	-	-
Итого:	41	150	207	111	69	41	13	4

Данный тип оврагов является наименее распространенным. Описание или упоминание о пойменных оврагах не встречалось до сих пор в литературе. Количество их не превышает 1% от всех имеющихся оврагов, а их суммарная длина составляет лишь 0,4% от общей протяженности овражной сети. Средние уклоны их тальвегов редко превышают 2 - 3°. Мы считаем их вторичными из следующих соображений.

Во-первых, за пределами поймы эти овраги имеют уже сформировавшийся водосбор, обычно это балочный водосбор.

Во-вторых, на самой пойме овраг наследует линейное понижение в виде ложбины, возникающее за счет речной эрозии в период высоких половодий.

В-третьих, пойменный овраг возникает в пределах днища уже существующей эрозионной формы (русловой речной).

По форме оврагов в плане можно выделить следующие разновидности, объединенные в две группы: а) одиночные (простые) - лентовидные, ромбовидные, булавовидные, ланцетовидные, дельтовидные (расширяющиеся к устью), четковидные, циркообразные; б) сложные (овражные системы) - древовидные, перистые, веерообразные, кистеобразные, парного ветвления и другие. В местах появления отвершков часто возникают останцы обтекания, имеющие холмообразную или хребтообразную форму.

Форма поперечного профиля оврагов в значительной степени определяется составом размываемых пород. В четвертичных суглинистых

породах она чаще всего V-образная, иногда каньонообразная, в песчаных отложениях обычно трапецевидная, в коренных переслаивающихся породах - каньонообразная, в отдельных случаях с нависающими карнизами (карнизная). Стадии развития оврагов первоначально были выделены С. С. Соболевым (1948), позднее неоднократно уточнялись различными исследователями (Эрозионные процессы, 1984; Овражная эрозия, 1989; Зорина и др., 1992; Бутаков и др., 1996). Авторы последней классификации предлагают выделение 5 стадий, выделяя дополнительную стадию - стабилизации длины, в отличие от С. С. Соболева (1948). На наш взгляд, выделение дополнительной стадии следует применять лишь для южных регионов Восточно-европейской равнины, где продолжительность существования оврагов превышает 150 - 200 и более лет (Овражная эрозия Востока..., 1990). В условиях Удмуртии период жизни оврагов намного короче, о чем убедительно свидетельствуют данные об их современной динамике. Поэтому здесь логичнее выделение четырех стадий, поскольку стабилизация длины происходит одновременно с выработкой профиля равновесия.

I стадия (зарождения) - характеризуется первоначальным размывом почвенно-растительного покрова на склоне или в днище балки и углублением линейной эрозионной формы. Обычно этой стадии соответствует размоина или промоина, но не всегда, иногда овраги минуют эти начальные формы. По данным лабораторных исследований (Эрозионные процессы, 1984), первая стадия занимает около 17% общего времени оврагообразования. По нашим наблюдениям, продолжительность этой стадии не превышает 5% от всей жизни оврага, причем для многих оврагов она трудно фиксируется.

II стадия (активного роста) - отмечается интенсивный рост всех параметров оврага, когда его длина достигает 70-80%, а глубина и объем до 40% от их конечных значений (Эрозионные процессы, 1984). Продолжительность этой стадии обычно не превышает 10-15% от общего времени образования, что согласуется и с экспериментальными исследованиями. По С. С. Соболеву (1948), это стадия врезания висячего оврага вершиной (рис. 14).

III стадия (стабилизации или выработки профиля "равновесия") - когда овраг вырабатывает почти полностью свою длину, в значительной степени объем и глубину. Скорости линейного и объемного роста резко уменьшаются, по длине оврага наблюдаются лишь единичные, строго локализованные к резким перегибам тальвега участки размыва. Продолжается плавное углубление вершинной части оврага. Склоны



Рис. 12. Эрозионный уступ вершинного оврага с обнажением коренных пород.
(Фото автора)



Рис. 13. Овраг на высокой пойме р.Варзинки у д.Юмьяшур Алнашского
района. (Фото автора)

оврага в средней и нижней части начинают задерновываться, на днище в зонах аккумуляции появляются кустарники и деревья. Это наиболее длительный период спокойного развития, занимающий около 60-70% общего времени оврагообразования.

IV стадия (затухания) - достижение оврагом предельных размеров, когда водосбор уменьшается настолько, что формирующийся там сток не в состоянии продолжать эрозионную работу в быстро зарастающем овраге. На этой стадии начинается интенсивное задерновывание склонов и в верхней части оврага (рис. 15). Участки размыва обычно встречаются на склонах, где продолжаются процессы оползания, оплывания и осыпания. Наиболее интенсивно эти процессы протекают на теневых (холодных) склонах, приводящих их к выполаживанию, а противоположные - сохраняют свою крутизну. Поперечный профиль ясно асимметричной формы отчетливо наблюдается, как правило, на оврагах субширотной ориентировки.

Следует отметить, что продолжительность последних стадий часто искусственно укорачивается проведением различных мероприятий на водосборе растущего оврага (противоэрозионные, сооружения дорожной насыпи и др.), в этом случае он не достигает своих предельных размеров.

На заключительной стадии продольный профиль оврага приобретает плавно-вогнутый вид, при котором происходит постепенное затухание эрозионного процесса (табл.2.7), а овраг переходит в другой генетический тип – современный лог или логовину.

Таблица 2.7

Характеристики продольного профиля приводораздельного оврага в стадии затухания (у д. Бажениха Кизнерского района)

Расстояние от устья (м)	100	200	300	400	500	600	700	800	900	950
Относительная отметка Продольного профиля (м)	1,4	3,3	5,1	7,2	9,9	12,9	16,8	22,4	32,1	44,5

Лога и логовины - конечные формы голоценовой эрозии временных водотоков, возникшие на месте оврагов, прошедших полный цикл развития (Бутаков и др., 1996). Лог имеет узкое днище, V-образный поперечный профиль с прямыми склонами. Глубина их не менее 5-8 м.



Рис. 14. Овраг в стадии активного роста у д.Мушак Киясовского района. (Фото автора)



Рис. 15. Вершина оврага в стадии затухания. (Фото автора)

Склоны полностью задернованы и имеют хорошо развитый почвенный горизонт. На днище и склонах произрастает кустарниковая и древесная растительность.

Логовина имеет широкое плоское днище, сложенное балочным аллювием, склоны прямые, крутые, с небольшим чехлом гравитационных (осыпных) отложений. Поперечный профиль чаще трапециевидный. На склонах и днище сформировался почвенно-растительный покров.

Лога и логовины могут быть как первичными, так и вторичными, возникшими на месте донных оврагов. Наряду с современными логами и логовинами, возникшими в последние столетия на месте бывших оврагов, выделяются еще и более древние - раннеголоценовые, на дне которых сохранились более молодые эрозионные врезы, вдоль которых формируется пойма. Дно старой логовины в этом случае превращается в первую надпойменную террасу. В строении логовин и слагающих их дно аллювиальных отложений нет никаких следов перигляциального морфо- и литогенеза, что свидетельствует об их формировании в гумидных условиях голоцена (Бутаков и др., 1996).

Рассмотренные формы эрозионного рельефа создавались работой временных водотоков в процессе их длительной эволюции на общем фоне изменений климато-ландшафтных условий и деятельности человека. Все многообразие морфолого-генетических типов и разновидностей эрозионных форм невозможно строго упорядочить в рамках существующих классификаций, поскольку всегда имеются различные переходные формы, возникающие при их сложном сочетании и наложении других процессов.

3. РАСПРОСТРАНЕНИЕ ЭРОЗИОННЫХ ФОРМ РЕЛЬЕФА

3.1. МЕТОДИКА КАРТИРОВАНИЯ ЭРОЗИОННОЙ СЕТИ

Среди множества способов картирования эрозионной сети (Спиридонов, 1975) нами был выбран метод выделения элементарных бассейнов (Рысин, 1981). Преимущество его заключается в том, что за основу берется естественная геоморфологическая единица - элементарный водосбор, отчетливо выраженный в рельефе и являющийся конечным звеном с точки зрения формирования и регулирования поверхностного стока. Недостатком метода является различие площадей элементарных бассейнов.

Элементарные бассейны выделялись по топографическим картам 1:100000 масштаба. Чтобы исключить влияние anomalно малых площадей на определяемые показатели (Бадамшина и др., 1964), элементарные бассейны с площадью менее 10 км² объединялись с соседними. Всего было выделено 1285 бассейнов, причем учитывались и те водосборы, которые не полностью расположены в пределах республики, поэтому их суммарная площадь составила 43720 км², что несколько превышает общую площадь Удмуртии. Рабочая карта-схема с номерами элементарных бассейнов была составлена в масштабе 1:300000.

Площади бассейнов были заимствованы из фондовых материалов (Ведомости..., 1973) и уточнялись с помощью планиметра. Оказалось, что большинство бассейнов имеют площади до 40 км² (69.8%), а водосборы с площадью более 60 км² составляют лишь 7.7% и, как правило, это в основном межпритоковые участки крупных рек (табл. 3.1).

Для характеристики площадей и величин эрозионного расчленения водосборов рассчитывались следующие статистические показатели: среднее арифметическое (M), стандартная ошибка (N), медиана (Me), мода (Mo), стандартное отклонение (σ), дисперсия выборки (D), эксцесс (E), асимметричность (A) и коэффициент вариации (Cv) (Плохинский, 1970; Лакин, 1990 и др.).

Таблица 3.1

**Распределение элементарных бассейнов
по интервалам площадей**

Интервалы площадей (км ²)	Менее 20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70	70-90	Более 90	Всего
Количество бассейнов	277	356	263	199	90	49	39	12	1285
%	21,6	27,7	20,5	15,5	7,0	3,8	3,0	0,9	100

Ниже представлены основные статистические характеристики площадей элементарных водосборов, рассчитанные по крупным речным бассейнам Удмуртии (табл. 3.2).

Таблица 3.2

Основные статистические характеристики площадей элементарных водосборов по крупным речным бассейнам Удмуртии

Речные бассейны	S	M	N	Me	Mo	σ	Д	E	A	Cv
Верховья Вятки и Камы	1769,0	26,8	1,46	26,6	27	11,84	140,2	-0,531	0,536	44,2
Правобережье Чепцы	5032,3	30,9	1,05	28,9	29,8	13,24	175,4	4,340	1,493	42,8
Левобережье Чепцы	7968,7	32,2	0,96	29,0	20,7	15,11	228,3	0,596	0,977	46,9
Кильмезь	4998,9	33,2	1,51	28,8	18	18,47	341,1	1,654	1,273	55,6
Вала	6496,1	35,3	1,27	31,5	49,5	17,28	298,5	0,723	0,888	48,9
Левобережье Вятки и Тойма	3894,9	37,8	1,60	35,1	18	16,26	264,5	0,115	0,656	43,0
Иж	7406,9	34,1	1,62	31,5	40,5	16,87	284,7	0,272	0,797	49,5
Сива	2445,9	34,0	2,10	27,9	10,8	17,72	313,9	0,173	0,905	52,1
Правобережье Камы	2389,8	34,9	2,11	31,5	18,8	17,38	302,2	2,217	1,305	49,8
Левобережье Камы	1317,5	52,7	6,01	56,8	29,8	30,06	903,8	-1,318	0,236	57,0
По всем	43720	33,9	0,47	30,5	27,0	16,76	281,0	1,356	1,108	49,4

Примечание. S – площадь речного бассейна, км².

Анализ данных показывает, что наименьшие площади водосборов характерны для бассейнов правобережья Чепцы и верховий Вятки и Камы. Здесь медианные и модальные значения лишь незначительно отличаются от среднеарифметической величины. Если для

бассейнов верховой Вятки и Камы значения эксцесса и асимметричности очень низкие, то на правом берегу Чепцы кривая распределения площадей имеет островершинный вид и положительную асимметрию. Коэффициенты вариации показателей в этих речных бассейнах также самые низкие.

На левобережье Чепцы и в бассейне р.Кильмезь средняя площадь элементарного водосбора несколько увеличивается, но еще ниже среднего значения по республике. Обращает внимание высокий коэффициент вариации для бассейна р.Кильмезь. Наибольшие площади элементарных водосборов характерны для левобережья Вятки, р.Тойма и особенно левобережья Камы. Для последнего отмечаются и самые высокие значения изменчивости анализируемых показателей.

В целом для всей территории распределение площадей близко к нормальному. Модальное значение несколько меньше медианы. Величины эксцесса и асимметричности относительно невысокие с положительным знаком. Коэффициент вариации существенный (49,4%).

Для территории Удмуртии нами впервые были построены детальные карты овражной, балочной и долинной сети. Карты распространения овражных и балочных форм составлены на основе дешифрирования контактных АФС масштаба 1:17000 - 30000 и фотопланов масштаба 1:10000 залетов 1957 - 1960-х гг. Протяженность долинной сети в пределах выделенных элементарных бассейнов определялась с помощью курвиметра по крупномасштабным топографическим картам.

В прошлом многие исследователи пытались количественно оценить распространение оврагов по отдельным регионам востока Русской равнины и по стране в целом (Соболев, 1948; Хабибуллина, 1950; Аверьянова, Петров, 1961; Сементовский, 1963; Миронова, 1971; Косов, Константинова, 1973; Васильева, 1979 и др.) . Отмеченные авторы для составления карт овражности использовали топографические карты различного масштаба. Однако сопоставление полученных ими результатов с натурными наблюдениями и материалами дешифрирования крупномасштабных АФС показало, что топокарты не дают достаточно объективной картины распространения оврагов. Главная трудность заключается в невозможности точного разделения на топографических картах оврагов и балок.

Поскольку на АФС отчетливо проявляются и безошибочно дешифрируются различные эрозионные формы, то они часто используются для проведения всевозможных морфометрических работ. По данным Н.Н.Бобровицкой (1986), длина и площадь четко

изобразившихся эрозионных образований могут быть измерены на фотопланах с относительной погрешностью 2-5%. Человеческий глаз может различать на снимках предметы, имеющие размеры около 0,08 мм; сравнивать между собой линейные величины, если разность их достигает 0,1 мм (Кудрицкий и др., 1956).

Применение крупномасштабных АФС для целей картирования эрозионной сети впервые было предпринято В.А.Дуглавом (1964, 1966). Дешифровочные признаки устанавливаются в полевых условиях на ключевых участках (Рысин, Дуглав, 1987). На аэроснимках отчетливо проявляются малозаметные на глаз изменения углов наклона склонов, слабо выраженные в рельефе ложбины, поверхности со струйчатым смывом почв. На распаханых полях по полосчатому рисунку четко прослеживаются самые незначительные по величине промоины (рис. 16).

Особенно хорошо дешифрируются овраги в коренных породах казанского и татарского ярусов верхней перми, представленных светло-серыми известняками и пестроцветными глинисто-мергельными толщами. На снимках четко выражены бровки склонов, тальвеги оврага, часто покрытые светлоокрашенным крупнообломочным материалом. Склоны оврагов вблизи растущих вершин обрывисты и контрастно выражены (рис. 16). Иногда прослеживаются даже эрозионные котлы при вершинах в виде темных пятен. Легко опознаются и конусы выносов.

Несколько труднее дешифрируются овраги в четвертичных песчано-суглинистых отложениях. Бровки их склонов хорошо дешифрируются только вблизи растущих вершин и в местах развития боковой эрозии, где крутизна склонов иногда более 50°. Ниже растущих вершин склоны оврагов покрываются мать-и-мачехой, различными однолетними сорняками и на аэроснимках становятся похожими на склоны балок. Только степень густоты тени дает возможность правильного дешифрирования. На склонах оврагов как индикаторы выхода грунтовых вод опознаются даже небольшие по размерам оползни. Балки с редкой кустарниковой и древесной растительностью на склонах, а иногда и по дну балок дешифрируются легче, чем балки в лесных массивах. Хорошо дешифрируются крутосклонные балки на открытых местах по их ровному тону окраски склонов и дна, по нерезкой выраженности бровок (рис. 16). Ширина балки на аэроснимках измеряется, но с меньшей точностью, чем у оврагов. Легко опознаются древние, сейчас задернованные яры и оползни. Отдельные балки имеют увлажненное дно вследствие выхода грунтовых вод, покрытое в этом случае влаголюбивой растительностью. Оно выделяется на снимках в виде резко выраженной темно-серой полосы.



Рис. 16. Овражно-балочная сеть со струйчатыми размывами у д. Чувапайка Киясовского района (фрагмент АФС): А – струйчатые размывы; Б – растущий овраг; В – древняя балка

Дешифрирование речных долин более сложно, чем дешифрирование балок и особенно оврагов. Долины малых рек довольно близки по характеру рельефа к крупным балкам, но у них хорошо выражена пойма, которая обычно отличается по более темному цвету растительности. Русло малых рек на аэроснимках прослеживается по густо окрашенной извилистой полосе кустарников, осоко-тростниковой или осоко-камышовой растительности. Водный поток становится заметным только при ширине русла 1-2 м и хорошо просматривается на асимметричных участках долин при подмыве склона.

Длина овражной и балочной сети измерялась по аэроснимкам циркулем-измерителем с раствором в 2 мм. Одновременно подсчитывалось и количество вершин оврагов в пределах каждого элементарного бассейна.

Обычно степень овражного расчленения территории определяется суммарной протяженностью оврагов, отнесенной к единице площади. Этот показатель принято называть густотой овражной сети. Очевидно, что только одна суммарная протяженность оврагов на единицу площади не может полностью характеризовать овражную расчлененность. Последнюю следует определять не только по суммарной протяженности, но и по количеству оврагов на единицу площади, так как при одной и той же суммарной протяженности оврагов в районах развития большого количества коротких оврагов расчлененность поверхности будет значительно больше, чем в районах развития редких, но длинных оврагов. Поэтому для оценки овражного расчленения Б.Ф.Косовым и Г.С.Константиновой (1972) был введен дополнительный показатель - количество оврагов на единицу площади, названный ими плотностью оврагов.

Дополнительный показатель овражности дает возможность определять число оврагов на той или иной территории и судить о масштабе овражной агрессии, так как вершину каждого оврага можно рассматривать как точку роста в настоящее или недавнее время. Показатель плотности вместе с густотой оврагов не только характеризуют фактическую величину овражного расчленения, но и дают возможность судить об активности и динамике процессов овражной эрозии, являющихся одним из важных показателей при прогнозировании и оценке овражной опасности территорий. Повышенная плотность оврагов при небольшом показателе их густоты свидетельствует о значительном распространении активных эрозионных процессов. Такие районы характеризуются в основном короткими оврагами, которые, как правило, являются активными, растущими формами. Пониженная же плотность оврагов при значительном коэффициенте их густоты свидетельствует о слабом распространении активных эрозионных форм, где преобладают длинные овраги с небольшим количеством точек роста (Косов, Константинова, 1973).

Карты густоты и плотности овражного расчленения, густоты балочной и долинной сети Удмуртии построены на основе рабочей схемы элементарных бассейнов в масштабе 1:300000.

3.2. АНАЛИЗ КАРТ ЭРОЗИОННЫХ ФОРМ РЕЛЬЕФА

Густота долинной сети в пределах территории Удмуртии меняется в значительных пределах: от 0,1-0,2 км/км² и менее в отдельных бассейнах правобережья р.Кильмезь, левобережья Вятки и Камы до 0,9-1,1 км/км² и более в бассейне р.Чепцы (рис.17). Средняя густота долинной сети по республике составляет 0,53 км/км². Чуть более половины элементарных бассейнов (53,1%) имеют коэффициент густоты в пределах 0,41-0,60 км/км². Общая протяженность речных долин в пределах исследуемой территории немного превышает 23 тыс. км.

Статистические характеристики густоты долинной сети (км/км²) по основным речным бассейнам Удмуртии представлены в таблице 3.3. Анализ таблицы показывает, что максимальное развитие долинная сеть получила в северных районах (бассейн р.Чепца, верховья рек Вятки и Камы), где на отдельных водосборах анализируемый показатель превышает 0,9-1,0 км/км². В этих бассейнах вариация показателей относительно их средних величин незначительная, для них также характерны низкие значения эксцесса и асимметричности. Существенное уменьшение густоты речных долин происходит в бассейнах р.Кильмезь, р.Иж, р.Сива и правобережья Камы, где на отдельных водосборах рассматриваемый показатель снижается до 0,1 – 0,2 км/км² и менее. Во всех перечисленных бассейнах распределение анализируемых величин близко к нормальному, о чем свидетельствуют и очень низкие значения эксцесса и асимметричности. В большинстве этих бассейнов степень изменчивости показателей густоты долин составляет 26 – 30%, исключением здесь является бассейн р.Кильмезь, где коэффициент вариации – 42,9%.

Самые низкие показатели густоты долинной сети отмечаются в бассейнах р.Вала, левобережья Вятки, р.Тойма и особенно левобережья Камы. Последний отличается и относительно высоким значением коэффициента вариации (34,4%). Во всех перечисленных бассейнах очень низкие величины эксцесса и асимметричности, следовательно, характер кривой их распределения лишь незначительно отклоняется от нормального.

Анализ карты показывает, что наряду с зональным изменением густоты долинной сети отмечаются и часто локальные, связанные с ландшафтными особенностями территории. Например, участки с повышенным значением рассматриваемого показателя часто связаны с многочисленными выходами на поверхность подземных вод с высоким удельным дебитом. Речные долины слабо развиты, как правило, на низменных слабо дренированных территориях.

Таблица 3.3

Статистические характеристики густоты долинной сети по крупным речным бассейнам Удмуртии

Речные бассейны	M	N	Me	Mo	σ	D	E	A	Cv
Верховья Вятки и Камы	0,657	0,021	0,65	0,49	0,172	0,03	-0,538	0,061	26,2
Правобережье Чепцы	0,550	0,015	0,51	0,39	0,184	0,03	0,114	0,732	33,5
Левобережье Чепцы	0,518	0,009	0,50	0,42	0,136	0,02	0,425	0,505	26,8
Кильмезь	0,413	0,014	0,37	0,22	0,177	0,03	0,425	0,902	42,9
Вала	0,386	0,009	0,36	0,31	0,121	0,01	0,583	0,973	31,3
Левобережье Вятки и Тойма	0,368	0,010	0,37	0,44	0,102	0,01	-0,310	0,230	27,7
Иж	0,402	0,010	0,40	0,43	0,107	0,01	0,095	0,419	26,6
Сива	0,417	0,015	0,39	0,39	0,124	0,02	0,827	0,662	29,7
Правобережье Камы	0,421	0,013	0,43	0,48	0,108	0,01	0,577	0,115	25,7
Левобережье Камы	0,331	0,023	0,29	0,27	0,114	0,01	-0,803	0,678	34,4
По всем	0,530	0,004	0,43	0,39	0,159	0,03	0,922	0,877	35,3

Густота балочной сети в республике имеет еще большие различия (рис. 18). Данный показатель изменяется от 10-100 м/км² на правобережье р.Кильмезь до 2500-3000 м/км² на отдельных водосборах бассейна р.Чепца. Почти половина речных бассейнов имеет густоту древней эрозионной сети от 100-200 м/км² до 500 м/км². Показатель балочной расчлененности свыше 1000 м/км² характерен лишь для 201 элементарного водосбора, где их общая протяженность превышает 9500 км. Суммарная длина балочной сети в республике близка к долинной и составляет 24,1 тыс. км. Средняя густота балок равна 531 м/км².

Наиболее развита балочная сеть на левобережье р.Чепцы, где их суммарная длина составляет 11,2 тыс. км. Максимальными являются

здесь и средние значения данного показателя (табл. 3.4). Выборка характеризуется достаточно высокими величинами стандартного отклонения и дисперсии, свидетельствующими о существенном варьировании анализируемого показателя.

Древние эрозионные формы редко встречаются на низменных участках правобережья Кильмези, низовьев Вала и особенно левобережья Камы (рис. 18). В этих бассейнах кривая распределения густоты балок имеет наиболее островершинную форму, к тому же она сильно асимметрична. Бассейн р.Кильмезь и левобережье Камы отличаются и самыми высокими коэффициентами вариации.

Таблица 3.4

Статистические характеристики густоты балочной сети (км/км²) по основным речным бассейнам Удмуртии

Речные бассейны	M	N	Me	Mo	σ	Д	Е	А	Cv
Верховья Вятки и Камы	0,532	0,047	0,435	0,380	0,379	0,143	2,006	1,131	71,2
Правобережье Чепцы	0,928	0,057	0,785	0,860	0,727	0,528	0,510	1,095	78,3
Левобережье Чепцы	0,860	0,045	0,555	0,340	0,704	0,496	0,687	1,170	81,9
Кильмезь	0,217	0,025	0,08	0,07	0,306	0,094	8,913	2,488	101,9
Вала	0,348	0,016	0,20	0,09	0,215	0,046	3,760	1,507	61,8
Левобережье Вятки и Тойма	0,356	0,021	0,32	0,32	0,213	0,045	1,159	1,298	59,8
Иж	0,269	0,026	0,185	0,08	0,266	0,071	3,037	1,669	98,9
Сива	0,517	0,035	0,49	0,68	0,298	0,089	-1,002	0,194	57,6
Правобережье Камы	0,554	0,029	0,52	0,67	0,241	0,058	-0,733	0,194	43,5
Левобережье Камы	0,048	0,014	0,02	0,01	0,072	0,005	10,18	3,012	150
По всем	0,531	0,015	0,35	0,07	0,541	0,293	4,518	1,963	101,9

Слабое развитие балочной сети здесь связано с широким распространением песчаных покровов, не способствующих возникновению эрозионных форм вследствие высокой инфильтрационной способности.

Распространение балочных форм по территории республики полностью определялось особенностями климато-ландшафтных условий плейстоцена и более ранних эпох, о чем указывалось выше. Но древняя долинно-балочная сеть через горизонтальную расчлененность территории оказывает существенное влияние на формирование и развитие современной эрозионной сети. Причем очень часто современные формы линейной эрозии наследуют древнюю, иногда и не выраженную в рельефе.

Как отмечалось выше, для территории Удмуртии построены две карты овражности - густоты и плотности овражной сети. Анализ карты показывает, что густота оврагов в республике изменяется в широких пределах - от нулевых значений в северных и западных районах до 750-1000 м/км² и более в юго-восточных (рис. 19). Большая часть исследуемой территории (61.8%) не имеет оврагов. Из пораженных оврагами элементарных бассейнов большинство имеет густоту от 5 до 50 м/км² (66.5%), в пределах лишь 28 элементарных водосборов (6,2%) густота овражной сети превышает 250 м/км².

Верховья рек Вятки и Камы, бассейн р. Чепцы отличаются крайне малой заовраженностью (рис. 19). Густота овражной сети незначительно возрастает в бассейнах рек Кильмези, Вали и Сивы, здесь уже встречаются отдельные водосборы с показателем овражности более 100 м/км². В бассейнах рек Ижа и Тоймы, на левобережье Вятки средняя густота оврагов повышается до 20-30 м/км². Здесь имеются элементарные бассейны с густотой оврагов 200-300 м/км². Правобережье р. Камы характеризуется максимальной овражной расчлененностью, в пределах данной территории большинство элементарных водосборов имеет густоту от 100-250 до 500-800 м/км² и более. Левобережье р. Камы отличается незначительным развитием овражной сети, здесь среднее значение густоты составляет лишь 6,6 м/км². Основные статистические характеристики густоты овражной сети, рассчитанные по крупным речным бассейнам Удмуртии, представлены в таблице 3.5.

Таблица 3.5

**Статистические характеристики густоты овражной сети (м/км²)
по основным речным бассейнам Удмуртии**

Речные бассейны	M	N	Me	Mo	σ	Д	Е	А	Сv
Верховья Вятки и Камы	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Правобережье Чепцы	0,53	0,285	0	0	3,61	13,0	44,30	6,31	681
Левобережье Чепцы	0,52	0,095	0	0	1,50	2,26	18,45	4,06	288
Кильмезь	1,8	1,243	0	0	15,23	231,9	74,04	7,91	846
Вала	10,0	1,294	0	0	17,55	307,9	4,10	2,08	176
Левобережье Вятки и Тойма	29,6	4,383	15,8	0	44,48	1978	16,68	3,49	150
Иж	24,2	1,65	5,3	0	17,18	295,3	19,15	3,72	71
Сива	10,4	2,00	8,0	0	16,86	284,1	10,34	2,79	162
Правобережье Камы	233,6	37,05	75	27	305,5	93344	0,802	1,37	131
Левобережье Камы	6,6	2,18	0	0	10,91	119,0	5,66	2,54	165
По всем	22,1	2,55	0	0	91,27	8331	68,69	7,74	413

Анализ табличных данных показывает, что распределение густоты оврагов сильно отличается от нормального вследствие большого количества безовражных бассейнов. Во многих речных бассейнах (рр.Чепца, Кильмезь, Вала, левобережье Камы) медианные и модальные значения равны нулю. Кривые распределения оврагов в большинстве бассейнов имеют высокие положительные значения эксцесса и асимметричности, исключением здесь является только правобережье Камы, где распределение анализируемого показателя близко к нормальному. Практически все бассейны (кроме р.Иж) характеризуются очень высоким коэффициентом вариации, среди которых выделяется правобережье Чепцы и р.Кильмезь. В этих бассейнах густота оврагов изменяется относительно среднеарифметической величины соответственно на 681% и 846% (табл. 3.5).

Сравнение карты густоты с картой плотности оврагов показывает, что они в целом имеют сходство (рис. 20), о чем убедительно свидетельствует график зависимости между ними (рис.21) и рассчитанный коэффициент корреляции ($r=0,85$). Показатель плотности оврагов изменяется в пределах республики от нулевых значений до 2,0 ед./км² и более. По основным речным бассейнам величина плотности изменяется аналогично густоте оврагов (табл. 3.6).

Таблица 3.6

**Статистические характеристики плотности оврагов (ед./км²)
по основным речным бассейнам Удмуртии**

Речные бассейны	M	N	Me	Mo	σ	D	E	A	Cv
Верховья Вятки и Камы	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Правобережье Чепцы	0,006	0,003	0	0	0,032	0,001	62,93	7,23	533
Левобережье Чепцы	0,009	0,002	0	0	0,027	0,001	15,12	3,79	300
Кильмезь	0,011	0,005	0	0	0,066	0,004	25,53	4,74	600
Вала	0,061	0,007	0	0	0,099	0,010	1,91	1,54	162
Левобережье Вятки и Тойма	0,137	0,016	0,09	0	0,161	0,026	8,71	2,44	118
Иж	0,137	0,010	0,04	0	0,106	0,011	10,76	2,59	77
Сива	0,080	0,015	0,07	0	0,124	0,015	22,78	3,94	155
Правобережье Камы	0,734	0,095	0,39	0,08	0,779	0,608	0,098	1,15	106
Левобережье Камы	0,032	0,011	0	0	0,057	0,003	10,67	3,11	178
По всем	0,094	0,007	0	0	0,262	0,068	44,49	6,05	279

Самый север республики отличается отсутствием оврагов, единичные овраги встречаются только в бассейне р. Чепца (рис. 20). Количество оврагов возрастает в бассейнах рек Кильмезь (в основном за счет левобережья), Вала и Сива. В пределах этих бассейнов имеются отдельные водосборы с плотностью оврагов 0,3-0,4 ед./км². В бассейнах рек Иж, Тойма и на левобережье Вятки средняя плотность оврагов составляет уже 0,13-0,14 ед./км², при этом несколько элементарных водосборов имеют плотность 1,0-1,5 ед./км². Наибольшая плотность оврагов отмечается на правобережье р. Кама, особенно в его южной части, где данный показатель имеет значения 2,0-2,5 ед./км².

Здесь, как и в предыдущем случае, распределение анализируемого показателя сильно отличается от нормального. Преобладающее большинство бассейнов характеризуется очень высоким коэффициентом вариации (табл. 3.6).

При создании карт густоты и плотности оврагов мы пришли к выводу, что крупномасштабные топографические карты не могут служить исходным материалом для их построения. В результате полевых экспедиций установлено, что на крупномасштабных топокартах часто одним и тем же знаком обозначаются как современные овраги, так и древние балки. Для убедительности сравним данные количества вершин действующих оврагов по административным районам республики, приведенные в Генеральной схеме противоэрозионных мероприятий

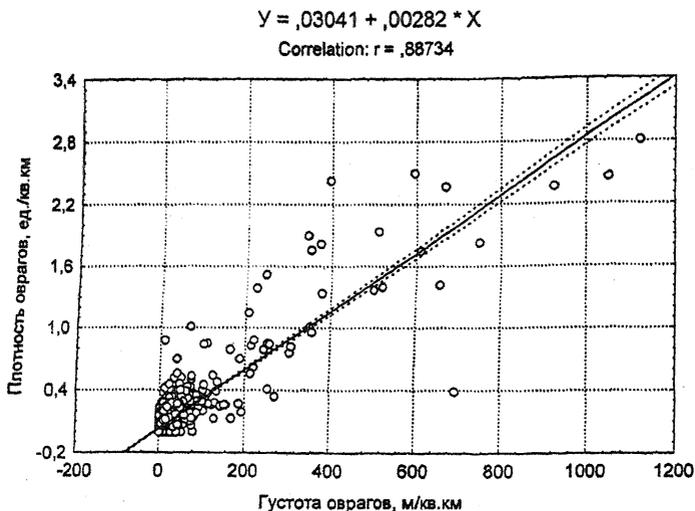


Рис. 21. Зависимость густоты овражной сети от их плотности в пределах Удмуртии

Удмуртской АССР (1974), которые определялись по крупномасштабным топокартам, с нашими, полученными в результате дешифрирования АФС с их последующим уточнением в полевых условиях (табл. 3.7).

Особенно резкое различие в данных (в несколько десятков раз) наблюдается по северным районам, где овраги встречаются крайне редко и обычно связаны с дорожными кюветами или неправильно проведенными водосливными канавами в пределах населенных пунктов. Правда, здесь имеется густая сеть балочных форм, часто имеющих крутые склоны и значительные врезы, которые на топокартах обозначаются аналогично оврагам. Занижение рассматриваемого показателя характерно как для территорий со слабым развитием овражно-балочной сети (Кизнерский, Увинский, Камбарский, Сюмсинский районы), так и со значительным (Каракулинский район). В обоих случаях это связано с недоучетом всех вершин оврагов на топографических картах в результате генерализации, которые на АФС отображаются во всех деталях.

Таблица 3.7

**Количество вершин оврагов по административным районам
Удмуртской Республики по разным источникам**

Административные районы	Количество вершин оврагов	
	по АФС	по топокартам
Ярский	25	268
Глазовский	21	301
Юкаменский	31	221
Балезинский	9	323
Кезский	4	287
Красногорский	4	175
Дебесский	8	170
Игринский	4	176
Якшур-Бодьинский	24	94
Шарканский	93	463
Селгинский	30	93
Сюмсинский	19	14
Увинский	152	117
Вавожский	111	137
Кизнерский	231	199
Можгинский	184	268
Граховский	201	288
Алнашский	195	385
Малопургинский	178	370
Каракулинский	1163	944
Киясовский	165	363
Завьяловский	398	586
Воткинский	161	193
Сарапульский	642	1113
Камбарский	42	27
Всего:	4095	7484

По данным Н.М.Коротиной (1967), значения густоты овражной сети для Ульяновского Предволжья, подсчитанные по АФС, в 2-3 раза превосходят соответствующие показатели, определенные по топографическим картам.

Суммарный же подсчет вершин оврагов и балок лишен практического смысла из следующих соображений:

во-первых, это разные в генетическом отношении формы рельефа, поскольку возникли в совершенно непохожих климато-ландшафтных условиях;

во-вторых, овраги - активно растущие формы рельефа, приводящие к отчуждению из хозяйственного оборота ценных земель и вызывающие нарушение экологического равновесия в природных

комплексах; балки же - стабильные формы, они используются в качестве сенокосов и пастбищ, а также являются местом обитания диких животных и произрастания различных (иногда редких) видов растений, повышая экологическое разнообразие и устойчивость природно-антропогенных ландшафтов.

Поскольку первые карты овражности территории Удмуртии были созданы по материалам аэрофотосъемок 38-40 - летней давности, то они уже не отражают объективно картину современного овражного расчленения территории. Поэтому с 1993 г. были начаты работы по повторному картированию распространения овражных форм в пределах республики.

Измерение длины и подсчет количества вершин оврагов осуществлялись по аэрофотопланам масштаба 1:10000 с нанесенными горизонталями сечением 5 м залетов 1986-1990 гг. Расчет густоты и плотности оврагов производился по ранее выделенным элементарным бассейнам. Для удобства сопоставления разновременных карт градации их показателей использовались прежние (рис. 22).

Анализ карты современной густоты овражной сети (рис. 22) показывает, что значения овражности в целом по республике изменяются в тех же пределах, но по сравнению с первой (рис. 19) здесь существенно изменились контуры заовраженных бассейнов. Сопоставление двух разновременных карт свидетельствует о существенном возрастании количества заовраженных бассейнов. Значительно больше стало водосборов с очень низкой густотой овражной сети (менее 10 м/км^2), сократилось число бассейнов с очень высокой овражностью (более 500 м/км^2). Отмечается уменьшение общей протяженности и средней густоты овражной сети.

Произошли изменения густоты овражной сети и по основным речным бассейнам республики (табл. 3.8). По-прежнему отсутствуют овраги в верховьях рр. Вятка и Кама вследствие их высокой залесенности. Несколько увеличилась средняя густота оврагов в бассейнах р.Чепша, р.Кильмезь и р.Иж, более чем в 1,5 раза выросла овражность в бассейне р. Вала. Незначительное уменьшение рассматриваемого показателя характерно для бассейнов левобережий рек Вятки и Камы, р. Тойма и р. Сива. Существенное сокращение овражной сети произошло на правом берегу Камы, хотя степень ее овражного расчленения остается по-прежнему максимальной.

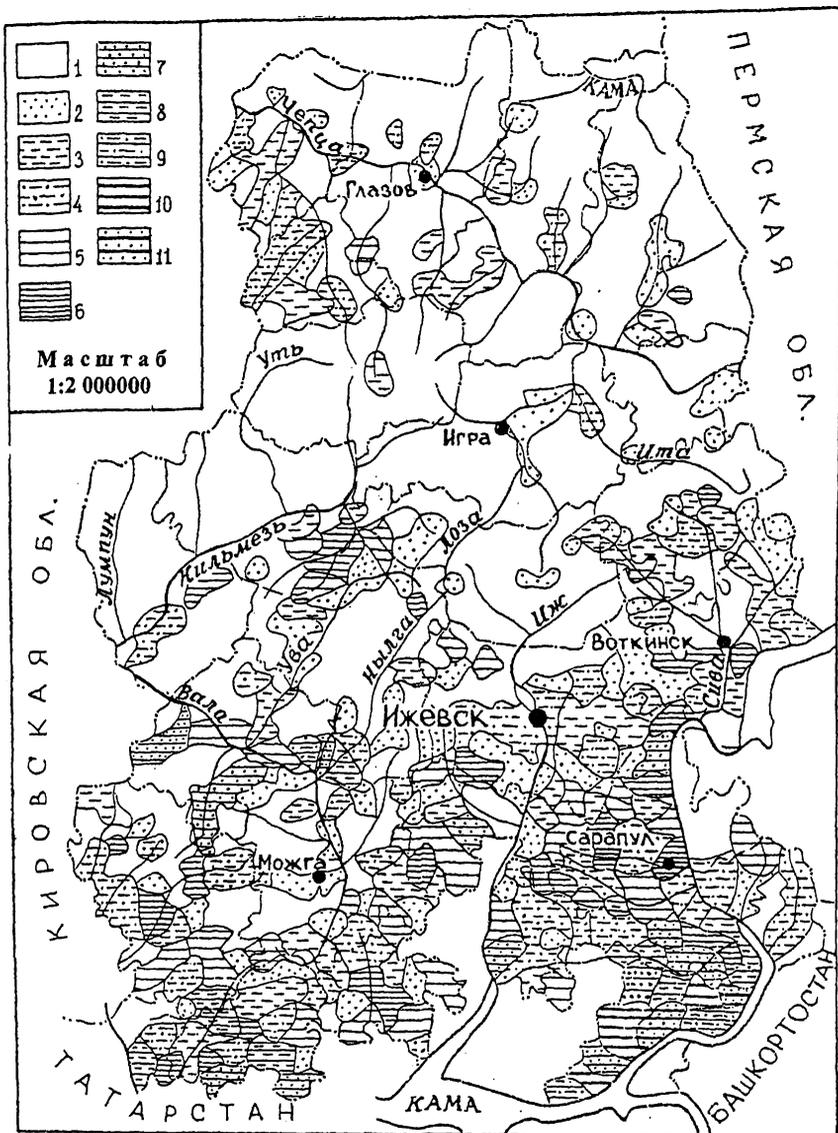


Рис. 22. Современная густота овражной сети Удмуртской Республики (по АФС 1986 – 1990 гг.).

Условные обозначения (м/км²): 1. 0; 2. Менее 5; 3. 5 – 10; 4. 10 – 25; 5. 25 – 50; 6. 50 – 75; 7. 75 – 100; 8. 100 – 250; 9. 250 – 500; 10. 500 – 750; 11. 750 и более

Анализ данных свидетельствует, что статистические параметры современной густоты оврагов в общих чертах аналогичны соответствующим показателям прежней густоты (табл.

3.5). Обращает на себя внимание лишь значительное уменьшение показателей эксцесса и асимметричности в бассейне р.Сива и некоторое возрастание их на правобережье Камы. Кроме того, отмечается заметное повышение коэффициента вариации в бассейне р.Иж и соответственно уменьшение в бассейнах р.Кильмезь и на правобережье Чепцы.

Таблица 3.8

Статистические характеристики современной густоты овражной сети (м/км²) по основным речным бассейнам Удмуртии

Речные бассейны	M	N	Me	Mo	σ	D	E	A	Cv
Верховья Вятки и Камы	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Правобережье Чепцы	1,58	0,45	0	0	5,68	32,32	35,36	5,43	359
Левобережье Чепцы	2,21	0,36	0	0	5,71	32,64	36,87	5,29	258
Кильмезь	3,73	2,14	0	0	26,26	689,3	73,08	7,88	704
Вала	17,3	2,19	0	0	29,70	882,1	6,44	2,46	172
Левобережье Вятки и Тойма	27,8	3,88	14	0	39,35	1548	5,73	2,30	142
Иж	25,4	3,50	9	0	50,65	2565	16,32	3,78	199
Сива	8,8	1,49	5,3	0	12,67	160,5	1,64	1,53	144
Правобережье Камы	196,4	32,8	69	10	270,6	73246	2,15	1,64	138
Левобережье Камы	5,3	1,66	0	0	8,30	68,96	4,39	2,31	157
По всем	21,7	2,30	0	0	82,31	6774	75,33	7,81	379

Аналогичные изменения характерны и для плотности оврагов. Карта-схема плотности оврагов в целом повторяет контуры густоты овражной сети, поэтому мы его не приводим. Здесь также отмечается существенное увеличение количества элементарных бассейнов с низкими значениями плотности оврагов и уменьшение водосборов с высокими ее показателями. Средняя величина современной плотности оврагов по республике незначительно повысилась (0,098 ед./км²), поскольку увеличилось количество вершин овражной сети.

Изменение плотности оврагов по основным речным бассейнам Удмуртии несколько отличается от густоты овражной сети (табл. 3.9). В отличие от протяженности овражной сети количество вершин оврагов возросло на левобережьях рр. Вятка и Кама, в бассейне р.Тойма.. Максимальные значения плотности оврагов (2,7-3,4 ед./км²) характерны для тех же водосборов, где отмечаются наибольшие величины густоты овражной сети.

Таблица 3.9

**Показатели современной овражной расчлененности
по основным речным бассейнам Удмуртии**

Речные бассейны	Количество бассейнов	Суммарная протяженность оврагов, м	Количество вершин оврагов	Средняя плотность оврагов, ед./км ²
Верховья Вятки и Камы	66	0	0	0
Правобережье Чепцы	160	7936	85	0,016
Левобережье Чепцы	250	17629	222	0,029
Кильмезь	150	18632	105	0,020
Вала	184	112366	461	0,071
Левобережье Вятки и Тойма	103	108243	542	0,156
Иж	208	188038	1024	0,135
Сива	71	21424	177	0,073
Правобережье Камы	68	469361	1670	0,699
Левобережье Камы	25	6932	44	0,033
Всего:	1285	950561	4330	0,099

Показатели овражного расчленения по административным районам республики рассчитывались по отношению к площади сельскохозяйственных угодий, где обычно и развиваются овраги (табл. 3.10).

Очень низкие показатели овражности характерны для северных районов, где они появляются преимущественно близ населенных пунктов или вдоль дорог на крутых склонах речных долин. Высокой овражной расчлененностью отличаются сельскохозяйственные угодья южных районов, что обусловлено, как указывалось выше, сочетанием здесь благоприятных факторов для развития овражной эрозии. Наиболее активное оврагообразование отмечается в Каракулинском, Сарапульском, Граховском и Алнашском районах. Средняя густота овражной сети для сельскохозяйственных угодий республики составляет 50,1 м/км², соответственно плотность – 0,24 ед./км² (табл. 3.10).

3.3. ОЦЕНКА НАРУШЕННОСТИ ЗЕМЕЛЬ ОВРАГАМИ

Карты густоты и плотности овражной сети показывают степень расчленения территории оврагами. Для этой цели иногда рассчитывается дополнительный показатель, названный частотой оврагов. Частота

овражной сети определяется как отношение суммарного количества склоновых и береговых оврагов на 1 км всей длины долинно-балочной сети (Овражная эрозия, 1989). Кроме того, важными показателями нарушенности территории эрозионными процессами являются площади оврагов и заовраженных земель, объем овражных размывов и слой овражной эрозии. Они характеризуют размеры безвозвратных потерь почв на сельскохозяйственных угодьях, а также интенсивность заиления водоемов и аккумуляции овражных выносов в долинно-балочной сети. Определение площадей и объемов оврагов производилось отдельно для каждого типа.

Таблица 3.10

Овражная расчлененность сельскохозяйственных угодий по административным районам Удмуртии

Административные районы	Количество вершин оврагов, ед	Плотность оврагов, ед./км ²	Протяженность оврагов, м	Густота оврагов, м/км ²
Ярский	83	0,10	6504	8,0
Глазовский	29	0,03	3556	3,4
Балезинский	38	0,04	2123	2,3
Кезский	23	0,03	2522	3,1
Юкаменский	64	0,09	6497	9,4
Красногорский	7	0,01	580	1,0
Дебесский	8	0,01	958	1,7
Игринский	14	0,02	987	1,7
Як-Бодьинский	13	0,03	1126	2,4
Шаржанский	105	0,13	13038	16,5
Селгинский	53	0,09	10441	18,3
Сюмсинский	17	0,04	8983	23,5
Увинский	116	0,14	26840	31,8
Вавожский	154	0,23	43247	64,8
Воткинский	150	0,19	16413	20,3
Завьяловский	272	0,28	51954	52,6
Малопургинский	173	0,25	36748	53,3
Можгинский	194	0,19	42639	42,1
Кизнерский	187	0,24	40245	52,1
Градовский	221	0,39	58956	104,2
Алнашский	227	0,35	56106	86,9
Княжевский	189	0,33	24860	43,2
Сарапульский	548	0,46	107180	90,1
Каракулинский	1196	1,40	340798	400,0
Камбарский	44	0,25	6932	39,2
Всего	4125	0,24	910233	50,1

Площади оврагов определялись по аэрофотопланшетам масштаба 1:10000 методом палетки при длине стороны ее квадратов в 2 мм. Одновременно определялись различные морфометрические характеристики оврагов и их водосборных площадей, что послужило исходным материалом для расчетов их средних значений по типам оврагов.

Выше указывалось, что средняя длина приводораздельных оврагов оказалась равной 236 м. Их среднеарифметическая площадь составляет 0,45 га. Общая площадь приводораздельных оврагов в республике достигает 624,2 га. Каждый овраг со своими многочисленными отвершками создает вокруг себя приовражную зону отчуждения (неудобий), которая обычно не обрабатывается, и по расчетам А.Г.Рожкова (1981) ее площадь в 3-5 раз превышает площадь самого оврага, поэтому для подсчета площади заовраженных (нарушенных оврагами) земель общая площадь приводораздельных оврагов увеличивалась в 5 раз, что составило 3121 га.

При средней длине придолинных оврагов в 98 м их среднеарифметическая площадь составляет 0,12 га. Суммарная площадь оврагов придолинного типа получилась равной 109,2 га. Учитывая, что овраги данного типа не имеют многочисленных отвершков, при расчетах площади заовраженных земель использовался коэффициент, равный 3. В данном случае площадь заовраженных земель составила 327,6 га.

Прибалочные овраги короче, чем придолинные, намного меньше у них и средняя площадь – 0,07 га. Общая площадь их составила всего 15,1 га, а суммарная площадь заовраженных ими земель – 45,3 га.

Среди вторичных оврагов самыми длинными оказались донные, их средняя длина достигает почти 300 м. По ширине они обычно уступают приводораздельным, поэтому чуть меньше оказалась и их средняя площадь – 0,24 га. Общая площадь донных оврагов составила 291,1 га. Для подсчета площади заовраженных земель использовался прежний коэффициент, с его учетом величина определяемого показателя оказалась равной 873,3 га.

Средняя длина вершинных оврагов лишь незначительно уступает приводораздельным, чуть меньше у них и средняя ширина, а поэтому и средняя площадь, которая составила 0,28 га. Суммарная площадь вершинных оврагов составила 158,5 га. При расчете площади заовраженных вершинными оврагами земель использовался коэффициент, равный 4. Таким образом определяемый показатель получился равным 634 га.

Из всех рассматриваемых типов пойменные овраги являются наиболее короткими, их средняя длина всего 82 м. Средняя площадь пойменных оврагов 0,05 га, а их суммарная площадь 2,4 га. Общая площадь заовраженных пойменными оврагами земель, рассчитанная с наименьшим коэффициентом, составила 7,2 га.

Таким образом общая площадь земель, занятая овражной сетью, составляет в республике 1200,5 га, а площадь заовраженных земель превышает данный показатель в 4,2 раза (табл. 3.11).

Таблица 3.11

Суммарная площадь оврагов различных типов и заовраженных (нарушенных оврагами) земель

Типы оврагов	Количество вершин оврагов	Средняя площадь, Га	Суммарная площадь, га	
			оврагов	Заовраженных земель
Приводораздельный	1387	0,35	624,2	3121,0
Придолинный	910	0,12	109,2	327,7
Прибалочный	216	0,07	15,1	45,3
Донный	1213	0,24	291,1	873,3
Вершинный	566	0,28	158,5	634,0
Пойменный	48	0,05	2,4	7,2
Всего:	4334	0,28	1200,5	5008,5

Приведенные выше цифры показывают, что овраги занимают лишь 0,03% от общей площади территории республики или 0,07% от площади сельскохозяйственных угодий. Более значительной оказывается доля заовраженных земель – 0,12% от общей площади территории и 0,28% от площади сельскохозяйственных угодий. По отношению к площади пашни доля оврагов составляет 0,08%, а заовраженных земель – 0,34%.

Объемы оврагов подсчитаны по данным полевых измерений. С этой целью для каждого типа оврага определялась средняя длина и с учетом данного показателя подбирались “эталонные” овраги для проведения измерительных работ в летний период. Для каждого типа выбиралось несколько (4-5 и более) “эталонных” оврагов, различающихся по составу размываемых пород, стадиям развития и другим показателям. На этих оврагах от устья к вершине через определенное расстояние (в зависимости от длины оврага) производилось многократное поперечное профилирование и рассчитывалась площадь каждого поперечного сечения. Затем определялись объемы фигур между ними, которые

впоследствии суммировались. На основе полученных значений объемов эталонных оврагов рассчитывался средний объем для каждого типа.

Наибольший средний объем имеют приводораздельные овраги – 12250 м³, их суммарный объем составляет почти 17 млн. м³ (табл. 3.12). Средний объем придолинных оврагов в 5 раз меньше приводораздельных (2380 м³), а суммарный их объем чуть более 2 млн. м³. Прибалочные овраги характеризуются наименьшими размерами среди первичных, их средний объем получился равным 120 м³, а суммарный составил лишь 26 тыс. м³.

Таблица 3.12

Объем оврагов различных типов и слой овражной эрозии на сельскохозяйственных угодьях Удмуртии

Типы оврагов	Объем оврагов		Слой овражной эрозии, мм	
	Средний, м ³	Суммарный, тыс. м ³	С/х угодья	Пашни
Приводораздельный	12250	16991	0,094	0,114
Придолинный	2380	2166	0,012	0,015
Прибалочный	120	26	0,0001	0,0002
Донный	4820	5847	0,032	0,039
Вершинный	8610	4873	0,027	0,033
Пойменный	80	4	0,00002	0,00003
Всего:	6901	29907	0,165	0,201

Среди вторичных оврагов наибольший средний объем имеют вершинные – 8610 м³. Поскольку количество вершинных оврагов меньше донных, то суммарный объем последних оказался несколько больше, чем у первых. Средний объем пойменных оврагов составил всего 80 м³, а суммарный – 4 тыс. м³ (табл. 3.12).

Слой овражной эрозии рассчитывался как отношение суммарного объема оврагов различного типа к площади анализируемых земель и выражался в мм. Поскольку на залесенных территориях овражная эрозия отсутствует, то при расчетах анализируемого показателя учитывались только сельскохозяйственные угодья.

Анализ полученных данных свидетельствует, что средний слой овражной эрозии за все время оврагообразования на сельскохозяйственных угодьях республики составил лишь 0,2 мм. Учитывая крайне неравномерное распространение оврагов, выше названные показатели были рассчитаны по крупным речным бассейнам и административным районам республики (табл. 3.13, 3.14). При расчетах учитывалось соотношение типов оврагов, их количественные

характеристики получены в результате повторного картирования овражной сети. Для речных бассейнов слой овражной эрозии рассчитывался только на эрозионно-активную площадь, куда относились все безлесные территории.

Таблица 3.13

Характеристика овражной расчлененности по основным речным бассейнам Удмуртии

Речные бассейны	Площадь, га		Объем оврагов, тыс. м ³	Слой овражной эрозии, мм
	оврагов	заовраженных земель		
Правобережье Чепцы	22,9	95,2	510	0,03
Левобережье Чепцы	59,2	253,1	1376	0,04
Кильмезь	28,4	119,7	621	0,05
Вала	130,1	528,2	2890	0,12
Левобережье Вятки и				
Тойма	155,8	620,3	3561	0,17
Иж	285,6	1190,5	6308	0,15
Сива	51,3	205,4	1125	0,08
Левобережье Камы	14,5	50,6	287	0,65
Правобережье Камы	452,7	1945,5	13229	0,10
Всего:	1200,5	5008,5	29907	0,16

Распределение площадей, объемов оврагов и величины слоя овражной эрозии по основным речным бассейнам (табл. 3.13) аналогично распределению густоты и плотности оврагов (табл. 3.8, 3.9). Наиболее высокие показатели характерны для правобережья Камы, а самые низкие отмечаются в бассейнах Чепцы, Кильмези и на левобережье Камы.

Анализ данных свидетельствует, что основная доля заовраженных земель (41%) и объема оврагов (43%) сосредоточена в Сарапульском и Каракулинском районах. Высоких значений достигает здесь и слой овражной эрозии (0,4-1,3 мм), рассчитанный к общей площади сельскохозяйственных угодий и на пашню (табл. 3.14). Наименьшие значения анализируемых показателей характерны для северных и западных районов республики.

Если величина среднего слоя овражной эрозии за весь период существования оврагов в целом для республики получилась ничтожно малой, то суммарный объем овражных форм превысил 29,9 млн. м³. По нашим расчетам средняя продолжительность жизни оврагов составляет около 100 лет, тогда величина ежегодного размыта почво-грунтов оврагами достигает 299,1 тыс. м³. Весь этот материал выносится на пойменные луга и пастбища, значительная часть его достигает

ближайших водоемов (пруды, реки), вызывая их обмеление. Кроме того с овражными выносами в водоемы поступают различные ядохимикаты и удобрения, смытые с пахотных земель и всякие нечистоты (мусор, навозные стоки и др.), сбрасываемые обычно в овраги.

Таблица 3.14

Характеристика овражной расчлененности по административным районам Удмуртии

Административные районы	Площадь, га		Объем оврагов, тыс.м ³	Слой овражной эрозии	
	оврагов	заовраженных земель		С/х земли	Пашня
Ярский	23,7	102,1	536,9	0,07	0,08
Глазовский	7,2	25,3	135,7	0,01	0,02
Балезинский	9,4	39,2	206,5	0,02	0,03
Кезский	5,8	23,5	123,8	0,02	0,02
Дебесский	2,9	9,9	53,1	0,01	0,01
Игринский	4,2	16,8	88,5	0,02	0,02
Красногорский	2,1	7,8	41,3	0,01	0,01
Юкаменский	28,6	117,6	630,0	0,09	0,11
Селгинский	17,9	77,3	407,2	0,07	0,08
Сюмсинский	9,6	41,4	218,3	0,06	0,07
Увинский	45,7	197,1	1038,4	0,12	0,15
Вавожский	41,3	178,3	954,0	0,14	0,17
Можгинский	50,8	212,4	1146,8	0,11	0,13
Кизнерский	57,8	241,8	1412,4	0,18	0,22
Як-Бодьинский	3,0	12,3	64,2	0,01	0,02
Завьяловский	93,2	391,6	2342,5	0,24	0,28
Малопургинский	62,7	255,4	1556,2	0,23	0,26
Киясовский	51,6	196,1	1252,4	0,22	0,26
Алнашский	59,5	233,7	1473,5	0,23	0,26
Граховский	64,7	265,6	1670,8	0,30	0,35
Шарканский	25,2	109,4	624,2	0,08	0,09
Воткинский	36,1	150,3	864,5	0,11	0,13
Сарапульский	166,4	734,5	4647,8	0,39	0,49
Камбарский	12,8	50,6	303,6	0,17	0,25
Каракулинский	318,3	1318,5	8114,4	0,95	1,3
Всего:	1200,5	5008,5	29907,0	0,16	0,20

Особенно большое бедствие причиняют овраги, растущие в пределах сельских населенных пунктов (с.Крымская Слудка и д.Бажениха Кизнерского района, с.Каракулино и др.). Активно развиваются овраги и в городах, чему способствуют асфальтированные поверхности, во много раз усиливающие поверхностный сток. Очень благоприятными оказались условия для развития оврагов и в гг.Ижевск, Сарапул. Значительный урон

наносят овраги, возникающие на склонах вдоль кюветов дорог и по трассам газо- и нефтепроводов. В практике известны случаи порыва трубопроводов из-за появления оврагов и оползней на склонах.

Таким образом, распространение оврагов в пределах территории Удмуртии является крайне неравномерным. Чтобы установить причину этого явления, необходимо проанализировать роль факторов оврагообразования.

4. ФАКТОРЫ ОБРАГООБРАЗОВАНИЯ

4.1. МЕТОДИКА АНАЛИЗА

Основными факторами, способствующими развитию оврагов, являются климатические условия, характер рельефа, состав подстилающих пород (геологическое строение), почвенно-растительный покров и хозяйственная деятельность человека.

С целью выявления роли факторов оврагообразования применялись различные методы математической статистики (корреляционный, дисперсионный, факторный и регрессионный анализы). Обработка данных и все расчеты осуществлялись на компьютере типа "Pentium - 166" с помощью общеизвестных прикладных пакетов программ – "Excel - 97", "Statistica" (версии 5,6) и других. Операционной территориальной единицей при расчетах служили элементарные речные бассейны.

На первом этапе определялся характер и наличие связи между плотностью овражной сети и каждым анализируемым фактором. Поскольку в большинстве случаев рассматриваемые зависимости не являются прямолинейными, а они чаще криволинейны, то наряду с обычным коэффициентом корреляции (r) рассчитывался еще дополнительный показатель – корреляционное отношение (η). Корреляционное отношение, в отличие от коэффициента корреляции, измеряет степень криволинейных и прямолинейных связей, оно всегда положительно и изменяется от 0 до 1 (Плохинский, 1970).

Корреляционное отношение является универсальным показателем корреляционных связей, поэтому квадрат корреляционного отношения (η^2) обычно применяют в качестве коэффициента детерминации, с помощью которого можно судить о силе влияния факторов на результативный признак.

Проверка гипотезы о форме связи между анализируемыми переменными осуществлялась с помощью критерия Блекмана (B), который вычислялся по следующей зависимости (Лакин, 1990):

$$B = N(\eta^2 - r^2),$$

где N – величина выборки;

η^2 – квадрат корреляционного отношения;

r^2 – квадрат коэффициента корреляции.

При наличии линейной связи этот показатель не превышает 11,37, если же связь между признаками нелинейна, то величина "В" больше 11,37.

На втором этапе, для оценки совместного влияния нескольких факторов, применялись дисперсионный, факторный и регрессионный анализы. Дисперсионный анализ, в отличие от корреляционного, позволяет установить силу влияния на анализируемый признак факторов, выраженных как количественными, так и качественными показателями. Он основан на разложении общей дисперсии изучаемой совокупности эмпирических наблюдений, обусловленной совместным действием факторов, на составные части, соответствующие каждому из факторов. Применяемые в анализе критерии позволяют одновременно изучать различия как в средних значениях, так и в дисперсиях. Применение дисперсионного анализа предполагает нормальное или близкое к нормальному распределение данных и независимость их между собой.

Факторный анализ в последние годы широко используется при исследовании сложных природных систем, формирующихся под воздействием и влиянием разнообразных факторов. Предпосылкой метода служит представление о том, что корреляция между показателями, характеризующими природную систему, является следствием их линейной зависимости от определенного числа других неизвестных "простых" характеристик, не коррелированных между собой. Суть анализа сводится к поиску этих неизвестных "простых" линейно независимых (ортогональных) показателей, которые и носят название главных компонент или факторов.

Метод главных компонент R-модификации с ортогональным варимаксным вращением факторов позволяет выявить структуру взаимосвязей изучаемых показателей и количественно оценить их. В результате анализа выделяются несколько ведущих факторов, действием которых в наибольшей степени объясняется изменчивость анализируемого показателя. Для описания зависимости между густотой овражного расчленения и определяющими ее факторами применялся множественный регрессионный анализ.

Условием правильного применения многих методов математической статистики является распределение анализируемых величин по нормальному закону. Особенно сильно отличается от нормального распределение показателей густоты овражной сети, вследствие подавляющего большинства элементарных бассейнов с нулевым значением густоты оврагов (табл. 3.5). Поэтому при проведении дисперсионного анализа на первом этапе водосборы с нулевым значением густоты оврагов не рассматривались. Поскольку значения густоты

оврагов варьируют в очень больших пределах, то для ликвидации влияния экстремальности показателей на результаты анализа они были преобразованы в логарифмические (табл. 4.1).

Проверка нормальности данного распределения осуществлялась с помощью критерия согласия К.Пирсона (Плохинский, 1970), который получился равным 13,1. Стандартные значения при 7 степенях свободы равны: 14,1; 18,5; 24,3. Рассчитанные значения критерия не достигают стандартных величин, следовательно распределение величин густоты овражной сети в данном случае неотличимо от нормального.

Таблица 4.1

**Преобразованное распределение густоты овражной сети
Удмуртской АССР**

Центры интервалов густоты овражной сети (м/км ²)	1,875	3,75	7,5	15	30	60	120	240	480	960
Округленные мантиссы логарифмов	0,3	0,6	0,9	1,2	1,5	1,8	2,1	2,4	2,7	3,0
Количество элементарных бассейнов	31	62	89	101	92	74	42	23	13	7

Для всех анализируемых факторов, аналогично показателям эрозионной расчлененности, рассчитывались основные статистические характеристики по крупным речным бассейнам: среднеарифметическое значение (M), стандартная ошибка (N), медиана (Me), мода (Mo), стандартное отклонение (σ), дисперсия выборки (D), эксцесс (E), асимметричность (A) и коэффициент вариации (Cv).

4.2. ВЛИЯНИЕ ГИДРОКЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ

Влияние климата на развитие овражной эрозии осуществляется через поверхностный сток, который в свою очередь зависит от осадков, температурного режима, свойств почво-грунтов и некоторых других метеорологических элементов (Субботин, 1966; Сурмач, 1976; Заславский, 1979, 1983; Ларионов и др., 1984 и др.).

Поверхностный сток, вызывающий возникновение и рост оврагов, формируется весной, в период интенсивного снеготаяния, и летом, во время выпадения ливневых осадков. Величина годового

стока зависит от множества причин, главными среди них являются: запасы воды в снеге к началу таяния, температурный режим воздуха и почв, инфильтрационная способность почвы, процессы замерзания и оттаивания почвы.

На территории Удмуртии средний многолетний слой половодного стока изменяется от 90-100 мм на юге до 160-170 мм на севере. Максимальные значения (1% обеспеченности) изменяются в пределах 200-300 мм, также увеличиваясь с юга на север. (Ресурсы..., 1973).

Важной характеристикой ливневого стока является эрозионный индекс дождей, предложенный американскими учеными (Wischmeier, Smith, 1958; Wischmeier, Smith, 1965). Он представляет собой сумму произведений энергии отдельных дождей на максимальную 30-минутную интенсивность. Показатели эрозионного потенциала осадков были рассчитаны и для территории нашей страны (Ларионов и др., 1984; Ларионов, 1987, 1993). В пределах территории Удмуртии эрозионный потенциал осадков изменяется незначительно: от 6 ед. в северной и восточной ее части до 7 ед. на западе. Максимальная 30-минутная интенсивность дождей 20%-й обеспеченности на крайнем севере и восточных районах республики составляет 0,6 мм/мин, а западные и юго-западные районы оконтуриваются изолиниями 0,7 – 0,8 мм/мин.

Максимальный суточный слой осадков за теплый период 1%-й обеспеченности составляет 80-100 мм в северных и западных районах, увеличиваясь до 100-120 мм и более на юго-востоке республики.

Значения же слоев паводочного стока 1%-й обеспеченности увеличиваются в северном направлении в пределах 10-40 мм. Это связано с тем, что величина паводочного стока больше зависит от продолжительности ливней, нежели от их интенсивности. Ливни редкой интенсивности выполняют основную эрозионную работу, но они часто ограничиваются небольшой территорией, поэтому их трудно зафиксировать на метеостанциях, а на гидропостах они зачастую и вовсе не регистрируются.

С целью выявления роли гидроклиматических условий, определяющих развитие овражной сети, были проанализированы следующие показатели:

- а) средний многолетний слой стока весеннего половодья (мм);
- б) средний многолетний слой паводочного стока (мм);
- в) максимальный суточный слой осадков летнего периода 1%-й обеспеченности (мм);

г) максимальные расходы весеннего половодья 1%-й обеспеченности, формирующиеся в замыкающих створах овражных водосборов ($\text{м}^3/\text{с}$).

Значения среднего слоя весеннего стока были заимствованы из справочников (Многолетние..., 1987; Ресурсы..., 1973) и определялись на каждый элементарный бассейн с учетом коэффициента дружности половодья, зависящего от степени залесенности и заболоченности водосбора. Распределение анализируемого показателя значительно отличается от нормального (рис. 22). Более половины элементарных бассейнов характеризуется значениями половодного стока от 100 до 110 мм. Основные статистические характеристики среднего слоя весеннего стока, рассчитанные по крупным речным бассейнам, приведены в таблице 4.2.

Таблица 4.2

Статистические характеристики среднего слоя весеннего стока по речным бассейнам Удмуртии

Речные бассейны	M	N	Me	Mo	σ	D	E	A	Cv
Верховья Вятки и Камы	151,2	1,221	148,5	148,5	5,857	34,31	0,846	1,196	3,9
Правобережье Чепцы	150,5	1,286	151,8	168,3	16,27	264,6	-1,239	-0,364	10,8
Левобережье Чепцы	129,8	0,932	132	138,6	14,73	217,0	-0,918	0,066	11,3
Кильмезь	113,7	0,674	110,6	105,6	8,259	68,21	-0,388	0,158	7,3
Вала	103,8	0,136	102,3	102,3	1,849	3,42	-0,869	-0,349	1,8
Левобережье Вятки и Тойма	104,3	0,178	105,6	105,6	1,804	3,25	-0,002	-1,009	1,7
Иж	101,0	0,171	99	99	2,479	6,15	-0,835	0,162	2,5
Сива	105,6	0,190	105,6	105,6	1,614	2,61	4,536	-0,779	1,5
Левобережье Камы	95,7	0,467	95,7	95,7	2,333	5,45	-0,846	-0,000	2,4
Правобережье Камы	100,6	0,201	99	99	1,660	2,75	-2,047	0,121	1,7
По всем	118,2	0,610	105,6	105,6	21,86	477,7	-0,028	1,132	18,5

По данным таблицы видно, что медиана и мода несколько отличаются от среднеарифметического значения, поэтому распределение анализируемого показателя характеризуется положительной асимметрией и очень низким отрицательным эксцессом. Наибольшая изменчивость показателя отмечается в бассейнах р.Чепца и р.Кильмезь.

Корреляционный анализ выявил наличие отрицательной связи ($r = -0,200$) между густотой овражной сети и средним слоем половодного стока (рис.23). Поскольку связь между анализируемыми показателями явно криволинейная ($B = 169,9$), то тесноту данной связи предпочтительнее характеризовать через показатель корреляционного

отношения, который оказался существенным ($\eta = 0,415$). Коэффициент детерминации, позволяющий судить о силе влияния фактора, оказался не высоким ($\eta^2 = 0,172$). Следовательно, густота овражной сети лишь на 17,2% определяется вариацией рассматриваемого показателя.

Таким образом, современное овражное расчленение территории республики нельзя объяснить изменением величины слоя весеннего стока, который увеличивается в северном направлении, где овраги встречаются крайне редко.

Средние многолетние значения слоя паводочного стока также были взяты из справочников (Ресурсы..., 1973; Многолетние..., 1987) и определялись на каждый элементарный бассейн аналогично предыдущему показателю. Распределение данного показателя незначительно отличается от нормального (рис. 24). Гистограмма показывает, что подавляющее большинство элементарных бассейнов характеризуется величиной слоя паводочного стока от 5 до 7 мм. Крайне редко встречаются бассейны со слоем паводочного стока менее 4 мм. Основные статистические характеристики среднего слоя паводочного стока, рассчитанные по крупным речным бассейнам, приведены в табл. 4.3.

Анализ табличных данных свидетельствует, что практически по всем речным бассейнам модальные и медианные значения слоя паводочного стока очень близки к среднеарифметическому. Отсюда распределение анализируемого показателя отличается очень низкими положительными значениями эксцесса и асимметрии. Относительно высокие значения коэффициента вариации характерны для бассейнов р.Чепца, р.Иж и правобережья р.Кама.

В данном случае корреляционный анализ также выявил наличие обратной связи ($r = -0,100$) между густотой овражного расчленения и слоем паводочного стока (рис. 25). Расчет корреляционного отношения еще раз подтвердил ($\eta = 0,201$, $\eta^2 = 0,040$) отсутствие какой-либо заметной связи между анализируемыми признаками. Следовательно, величина слоя паводочного стока не влияет на изменение густоты овражного расчленения территории.

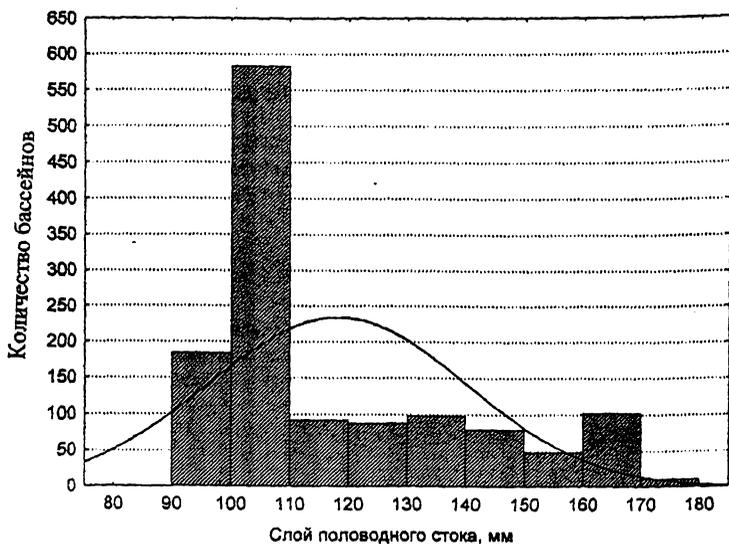


Рис. 22. Распределение элементарных бассейнов по градациям среднего слоя половодного стока

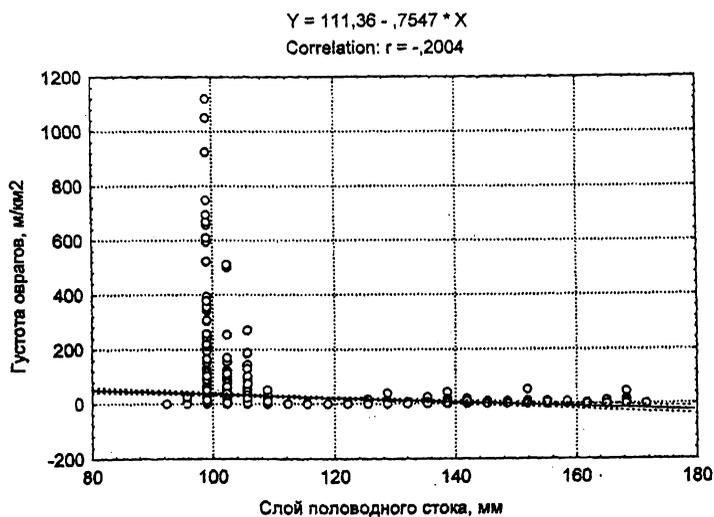


Рис. 23. Зависимость густоты овражной сети от величины среднего слоя половодного стока

Таблица 4.3

**Статистические характеристики среднего слоя паводочного стока
(мм) по речным бассейнам Удмуртии**

Речные бассейны	M	N	Me	Mo	σ	D	E	A	Cv
Верховья Вятки и Камы	7,11	0,025	7,1	7,1	0,122	0,01	4,781	2,047	1,7
Правобережье Чепцы	7,20	0,091	7	6	1,150	1,32	-0,977	0,581	16,0
Левобережье Чепцы	6,74	0,066	6,3	6,1	1,038	1,08	0,123	1,133	15,4
Кильмезь	5,79	0,026	6	6	0,317	0,10	-0,628	-0,853	5,5
Вала	5,04	0,036	4,9	4,6	0,485	0,24	-0,718	0,644	9,6
Левобережье Вятки и Тойма	6,54	0,062	6,5	7,2	0,627	0,39	-0,964	-0,110	9,6
Иж	5,56	0,043	5,3	5	0,618	0,38	-0,263	0,899	11,1
Сива	7,1	0,074	7,2	7,3	0,625	0,39	0,004	-0,451	8,8
Левобережье Камы	5,13	0,069	5	5	0,346	0,12	8,443	2,952	6,7
Правобережье Камы	5,39	0,077	5	5	0,636	0,405	0,216	1,346	11,8
По всем	6,15	0,030	6	5	1,071	1,15	0,635	0,877	17,4

Общеизвестно, что интенсивное развитие оврагов обычно происходит при экстремальных значениях жидкого стока. Поэтому для характеристики ливневого стока использовались значения максимального суточного слоя осадков летнего периода 1%-й обеспеченности. Исходные данные были заимствованы из карты (Инструкция..., 1979) и дополнены автором на основании анализа гидрометеорологических ежегодников за период с 1960 по 1997 г.

Распределение величин максимального суточного слоя ливневых осадков 1%-й обеспеченности сильно отличается от нормального (рис. 26). На гистограмме видно, что более чем на половине от общего числа элементарных водосборов рассматриваемый показатель не превышает 80 мм.

Имеется также несколько бассейнов, где данный показатель превышает 120 мм. Основные статистические характеристики значений максимального суточного слоя ливней 1%-й обеспеченности, рассчитанные по крупным речным бассейнам, приведены в таблице 4.4.

Представленные в таблице статистические характеристики показывают, что модальные и медианные значения анализируемого показателя в отдельных речных бассейнах (р.Иж, р.Кама) и по всей территории республики в целом несколько отличаются от средних величин. В указанных бассейнах отмечаются и относительно высокие значения коэффициентов вариации. Показатели эксцесса и асимметрии по речным бассейнам изменяются незначительно и имеют относительно

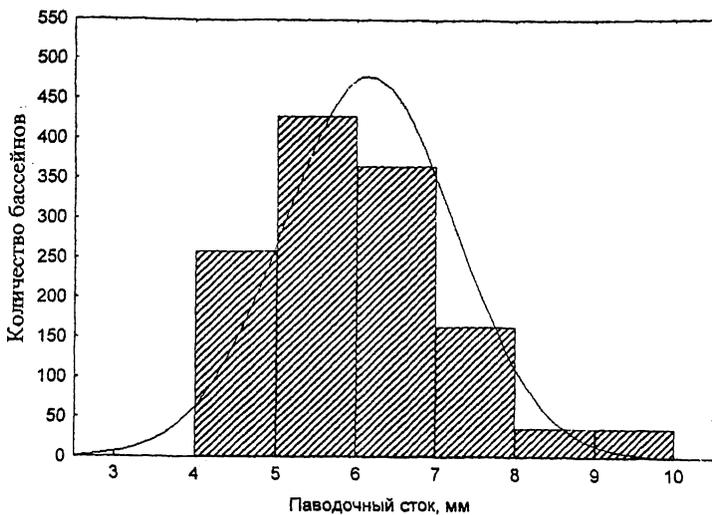


Рис. 24. Распределение элементарных бассейнов по градациям среднего слоя паводочного стока

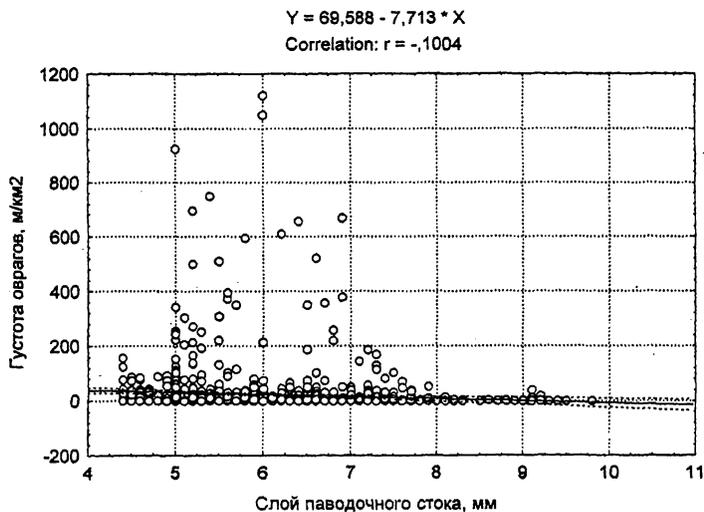


Рис. 25. Зависимость густоты овражной сети от величины слоя паводочного стока
низкие значения.

Таблица 4.4

Статистические характеристики максимального суточного слоя
ливневых осадков 1%-й обеспеченности (мм) по речным бассейнам
Удмуртии

Речные бассейны	M	N	Me	Mo	σ	D	E	A	Cv
Верховья Вятки и Камы	95	0,0	95	95	0	0	0	0	0
Правобережье Чепцы	93,8	0,462	95	95	5,85	34,22	0,445	-0,972	6,2
Левобережье Чепцы	83,0	0,274	80	80	4,333	18,77	0,341	1,221	5,2
Кильмезь	83,7	0,514	80	80	6,298	39,66	-0,521	1,185	7,5
Вала	84,2	0,453	80	80	6,145	37,76	-0,735	1,019	7,3
Левобережье Вятки и Тойма	83,1	0,260	85	85	2,641	6,98	-1,134	-0,054	3,2
Иж	87,5	0,908	80	80	13,12	172,1	0,648	1,473	15,0
Сива	80	0,0	80	80	0	0	0	0	0
Левобережье Камы	100,6	3,166	100	85	15,83	250,7	-1,421	0,223	15,7
Правобережье Камы	99,0	2,041	95	80	16,83	283,3	-1,593	0,205	17,0
По всем	87,0	0,273	80	80	9,770	95,46	2,695	1,652	11,2

На графике (рис. 27) хорошо прослеживается наличие положительной связи между плотностью овражной сети и величиной максимального суточного слоя осадков ($r = 0,435$), что подтверждается и вычислением корреляционного отношения ($\eta = 0,561, \eta^2 = 0,315$). Сила влияния рассматриваемого фактора на результативный признак в данном случае достигает 31,5%. Форма связи здесь явно криволинейная ($B = 161,3$). Таким образом, установлена достаточно тесная связь между показателем овражной расчлененности территории и экстремально интенсивными ливнями редкой повторяемости.

Важным показателем овражной эрозии, отражающим влияние осадков, длины и крутизны склонов, площади водосборов и почвенно-растительного покрова, является расход жидкого стока в замыкающем створе склонового водосбора. Этот показатель удобен для оценки интенсивности оврагообразования поскольку дает представление как о количестве стекающей воды, так и об интенсивности стока, поэтому находит применение у многих авторов (Зорина, Павлов, 1973; Любимов и др., 1980; Косов, Любимов, 1984; Морякова, Никольская, 1987; Зорина, 1987 и др.).

Максимальный расход талых вод 1%-й обеспеченности определяется по следующей формуле (Инструкция..., 1979):

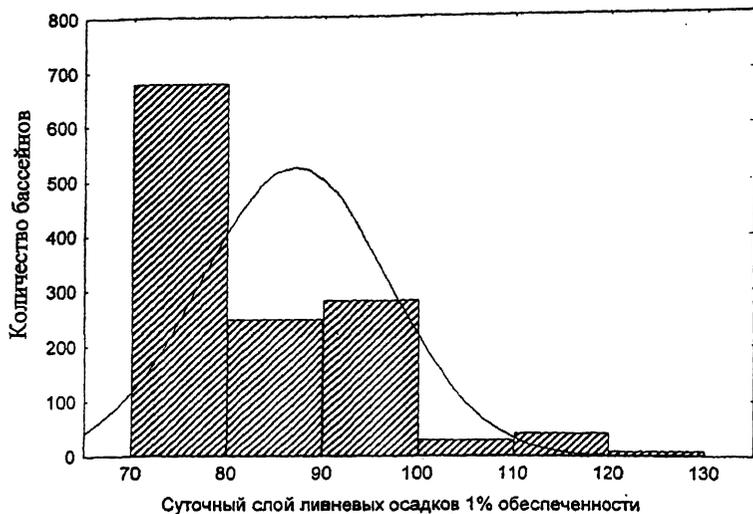


Рис. 26. Распределение элементарных бассейнов по градациям максимального суточного слоя ливневых осадков

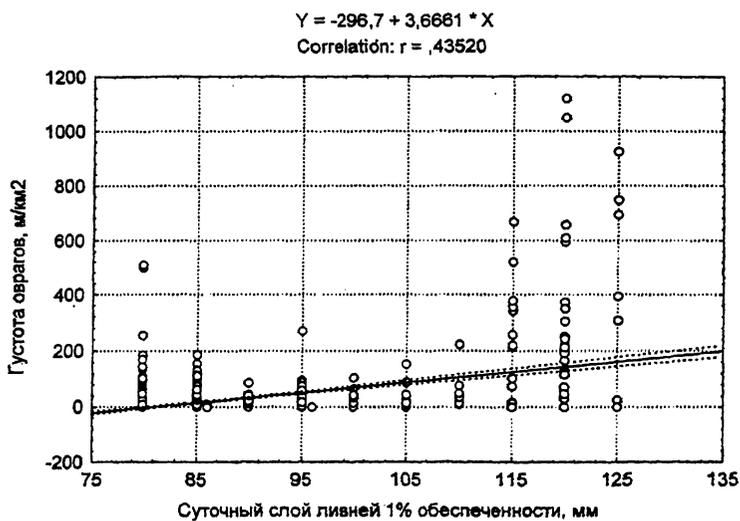


Рис. 27. Зависимость густоты овражной сети от величины максимального суточного слоя ливневых осадков

$$Q_{1\%} = 0,28a_{1\%} \cdot \varphi \cdot \delta_1 \cdot \delta_2 \cdot \delta_n \cdot K \cdot K_{\text{зат}} \cdot F,$$

где $Q_{1\%}$ - максимальный расход воды 1-й обеспеченности, м³/с;

0,28 – коэффициент размерности;

$a_{1\%}$ - максимальная часовая интенсивность водоотдачи 1%-й вероятности превышения, определяется по карте, мм/ч;

φ - коэффициент редукции, учитывающий снижение максимального модуля стока с увеличением площади водосбора, определяется по таблице 5 инструкции;

δ_1 - коэффициент, учитывающий снижение максимальной часовой интенсивности водоотдачи вследствие заболоченности водосбора, определяется по формуле

$$\delta_1 = 1/(1+0,04f_6),$$

где f_6 – заболоченность водосбора в %;

δ_2 – коэффициент, учитывающий снижение максимальной часовой интенсивности водоотдачи вследствие залесенности водосбора, определяется по формуле

$$\delta_2 = 1/(1+0,015f_n),$$

где f_n – залесенность водосбора в % (залесенность водосбора менее 5% при расчетах максимальных расходов не учитывается);

δ_n – коэффициент, учитывающий почвогрунты, принимался равным 1,3;

K – коэффициент, учитывающий влияние видов распашки на максимальную часовую интенсивность водоотдачи, принимается равным:

• для вспашки поперек склона – 0,8;

для вспашки вдоль склона, многолетней залежи – 1,2;

для выпасаемой залежи, целины – 1,3;

вводится только при площадях водосборов $F < 0,05 \text{ км}^2$ с учетом процентного отношения распаханых площадей к общей площади водосбора; при $F > 0,05 \text{ км}^2$ принимается равным 1.

$K_{\text{зат}}$ – коэффициент, учитывающий увеличение максимального расхода, вследствие прорыва заторов; вводится при расчетах максимальных расходов лишь на малых водосборах лесостепной и степной зон, поэтому нами не учитывался;

F – площадь овражного водосбора, определяется по известной зависимости, полученной в ГГИ:

$$F = 0,2L^2,$$

где L – средняя длина склонов долинно-балочных водосборов.

Наибольшие величины максимальных расходов половодья (1,2 – 1,5 м³/с) обычно приурочены к низменным районам с малыми средними уклонами поверхности за счет значительных размеров их водосборных площадей и к беслесным водосборам с малой густотой долинно-балочного расчленения. Наименьшие расходы (до 0,2 м³/с) наиболее характерны для бассейна р.Чепца, где вследствие максимальной густоты долинно-балочной сети распространены наиболее короткие склоны с очень малыми площадями овражных водосборов.

Распределение величин максимальных расходов половодья в значительной степени отличается от нормального (рис.28). Судя по гистограмме, почти 80% элементарных водосборов характеризуются расходами половодья до 0,4 м³/с. Основные статистические характеристики значений максимальных расходов половодья, рассчитанные по крупным речным бассейнам, приведены в нижеследующей таблице 4.5.

Таблица 4.5

Статистические характеристики максимальных расходов половодья 1%-й обеспеченности(м³/с) по речным бассейнам Удмуртии

Речные бассейны	M	N	Me	Mo	σ	D	E	A	Cv
Верховья Вятки и Камы	0,19	0,022	0,169	-	0,107	0,011	1,647	1,15	56,3
Правобережье Чепцы	0,22	0,013	0,180	-	0,163	0,027	2,196	1,441	74,1
Левобережье Чепцы	0,21	0,010	0,164	0,111	0,156	0,024	2,827	1,498	74,3
Кильмезь	0,37	0,017	0,323	0,656	0,211	0,045	-0,570	0,488	57,0
Вала	0,36	0,014	0,321	0,283	0,195	0,038	0,069	0,122	54,2
Левобережье Вятки и Тойма	0,46	0,023	0,39	-	0,229	0,052	0,252	0,461	49,8
Иж	0,43	0,015	0,38	0,614	0,216	0,046	3,611	1,414	50,2
Сива	0,37	0,022	0,32	0,223	0,188	0,036	0,368	1,092	50,8
Левобережье Камы	0,64	0,048	0,658	-	0,240	0,058	-0,403	0,133	37,5
Правобережье Камы	0,50	0,032	0,445	-	0,261	0,068	-0,926	0,112	52,2
По всем	0,34	0,006	0,286	0,671	0,222	0,049	1,117	1,052	65,3

Анализ табличных данных показывает, что значения максимальных расходов половодья возрастают в южном направлении. По всем речным бассейнам модальные и медианные значения существенно отличаются от их средней величины, значительно изменяются также показатели эксцесса и асимметрии. Наибольшая изменчивость анализируемых показателей характерна для бассейна р.Чепца, где коэффициенты вариации намного выше, чем в целом по республике.

В результате корреляционного анализа установлено наличие прямой связи между густотой овражной сети и максимальными

расходами половодья ($r = 0,271$), что отчетливо прослеживается и на графике (рис.29). Связь здесь явно криволинейная ($B = 205,4$). Расчет корреляционного отношения ($\eta = 0,483$) подтверждает наличие связи между рассматриваемыми переменными. Сила влияния анализируемого фактора достигает 23,3%. Невысокие значения корреляционного отношения и коэффициента детерминации связаны в основном с наличием большого количества безовражных бассейнов, характеризующихся высокими расходами половодья за счет значительных размеров их площадей водосборов.

Итак, анализ гидрометеорологических факторов оврагообразования показал, что объемные характеристики величины жидкого стока не влияют на густоту современного овражного расчленения территории. Развитие овражной сети связано преимущественно с экстремальными характеристиками жидкого стока – интенсивными ливнями и максимальными расходами весеннего половодья.

4.3. ВЛИЯНИЕ РЕЛЬЕФА

Рельеф земной поверхности является одним из ведущих факторов эрозионных процессов, поскольку он оказывает существенное влияние на распределение атмосферных осадков, скорость склонового стока, увлажнение и тепловой режим почво-грунтов. Основные морфометрические параметры рельефа, определяющие условия развития овражной эрозии – длина, крутизна, экспозиция и форма профиля склонов, глубины местных базисов эрозии, форма и площади балочных водосборов. В данной работе анализировалась роль глубин местных базисов эрозии, уклонов поверхности, длин склонов долинной и долинно-балочной сети, асимметрии склонов речных долин. Влияние площадей балочных водосборов учитывалось при определении максимальных расходов половодья.

Глубины местных базисов эрозии. Одним из первых на роль глубин местных базисов эрозии в процессе оврагообразования указывал В.В. Докучаев (1878). Он устанавливает одну из основных закономерностей в развитии и распространении оврагов: чем глубже врезаются речные русла, являющиеся местными базисами эрозии, тем энергичнее развиваются овраги. Эта закономерность вслед за В.В. Докучаевым была подтверждена рядом исследователей (Козменко, 1913, 1937; Керн, 1928; Соболев, 1948 и др.).

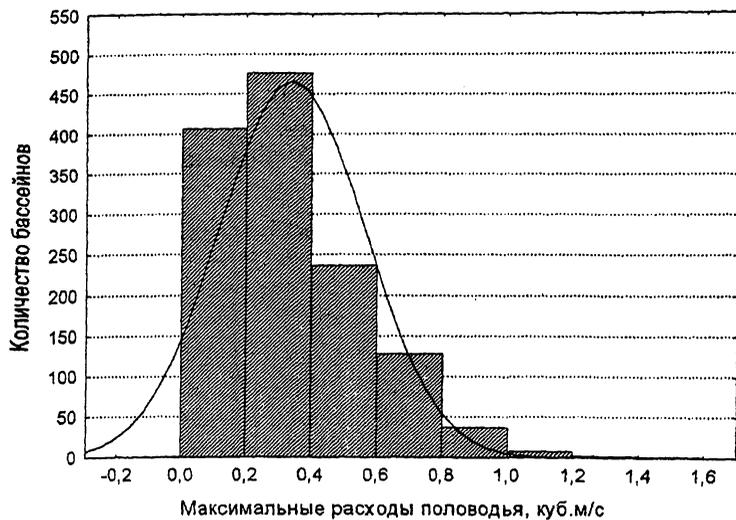


Рис. 28. Распределение элементарных бассейнов по градациям максимальных расходов половодья

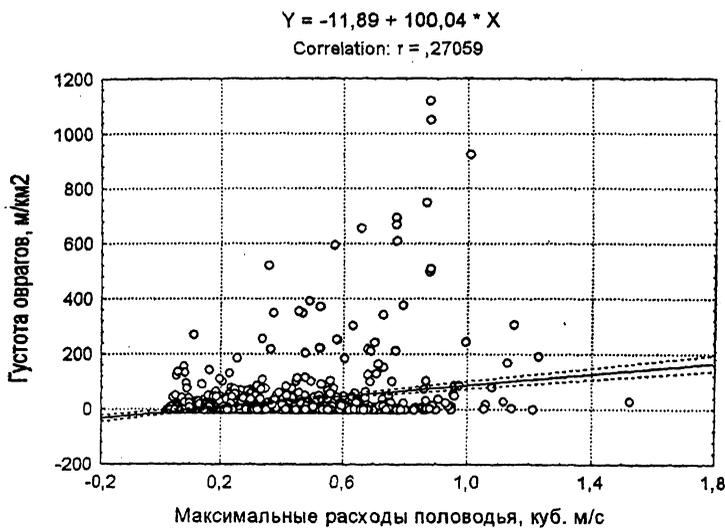


Рис. 29. Зависимость густоты овражной сети от максимальных расходов половодья

Карта глубин местных базисов эрозии (МБЭ) строилась по методу, предложенному С.В. Калесником (1936). В пределах каждого элементарного бассейна по топографическим картам определяется разность максимальной и минимальной отметок высот. Затем, согласно принятой шкале условных обозначений, контуры бассейнов закрашиваются или заштриховываются (Рысин, Бутаков, 1981).

Малые глубины вертикальной расчлененности отмечаются в верховьях рек Вятка и Кама, в бассейнах рек Кильмезь, Чепца и на левобережье р. Кама. Правобережье р. Кама, бассейн р. Сива имеют наибольшую вертикальную расчлененность, здесь многие элементарные речные водосборы имеют глубину базиса эрозии 140-150 м и более (рис. 30). В целом по республике отмечается тенденция увеличения вертикальной расчлененности с северо-запада на юго-восток.

Связь между густотой овражного расчленения и глубинами местных базисов эрозии отчетливо прослеживается при сопоставлении соответствующих карт (рис. 22, 30). Максимальная расчлененность территории оврагами имеет место в юго-восточных районах республики, где отмечаются и наибольшие глубины базисов эрозии. Верховья рек Вятки и Камы, бассейн р. Чепцы, правобережье р. Кильмезь и левобережье р. Камы, имеющие малые глубины эрозионного расчленения, характеризуются незначительной заовраженностью.

Распределение элементарных бассейнов по интервалам глубин местных базисов эрозии очень близко к нормальному (рис. 31). Преобладающими являются водосборы со значением глубин местных базисов эрозии 80-100 м. Редко встречаются бассейны как с малыми (до 20 м), так и с большими значениями (160-170 м) вертикального расчленения поверхности. Основные статистические характеристики глубин местных базисов эрозии, рассчитанные по крупным речным бассейнам, представлены в таблице 4.6.

Данные таблицы показывают, что значительные вариации переменных относительно их средних величин характерны для бассейнов верховий Вятки и Камы, р. Кильмезь и особенно левобережья Камы. Коэффициенты эксцесса и асимметрии по всей территории очень низкие.

О тесной зависимости рассматриваемых признаков свидетельствуют данные таблицы 4.7, где представлены средние значения густоты овражной сети, рассчитанные по отдельным градациям глубин местных базисов эрозии.

Таблица 4.6.

**Статистические характеристики глубин местных базисов эрозии (м)
по речным бассейнам Удмуртии**

Речные бассейны	M	N	Me	Mo	σ	D	E	A	Cv
Верховья Вятки и Камы	56,7	4,259	50	39	20,43	417,2	-1,243	0,360	36,0
Правобережье Чепцы	78,5	1,702	81	100	21,53	463,4	-0,121	-0,323	27,4
Левобережье Чепцы	75,4	1,096	77	80	17,33	300,2	0,327	-0,511	23,0
Кильмезь	67,6	1,971	64	61	24,14	582,6	0,030	0,310	35,7
Вала	95,0	1,596	95	101	21,65	468,7	-0,081	0,227	22,8
Левобережье Вятки и Тойма	107,8	1,835	106	105	18,62	346,8	-0,446	0,185	17,3
Иж	96,6	1,738	97	101	25,13	631,4	0,248	-0,384	26,0
Сива	120,3	2,694	120	120	22,86	522,6	1,340	-0,374	19,0
Левобережье Камы	66,8	7,595	75	100	37,98	1442	-1,526	-0,030	56,9
Правобережье Камы	126,3	2,521	127,5	151	20,79	432,1	-0,258	-0,453	16,5
По всем	87,8	0,794	87	101	28,46	810,1	-0,189	0,051	32,4

Таблица 4.7.

**Средние значения густоты оврагов по градам глубин местных
базисов эрозии**

Градации глубин МБЭ, м	< 25	25-50	50-75	75- 100	100-125	125-150	> 150
Средняя густота оврагов, м/км ²	1,1	0,6	1,5	12,1	34,4	66,4	267
Количество бассейнов	17	98	311	445	281	111	22

На графике (рис.33) отчетливо проявляется наличие связи между густотой овражной сети и глубинами местных базисов эрозии ($r = 0,296$). Поскольку рассматриваемая связь имеет явно криволинейный характер ($B = 334,7$), то ее более объективную оценку получим через показатель корреляционного отношения, который оказался действительно высоким ($\eta = 0,590$). Густота овражной сети на 34,8% определяется вариацией анализируемого фактора. Отсюда следует, что глубины местных базисов эрозии оказывают существенное влияние на густоту современного овражного расчленения территории.

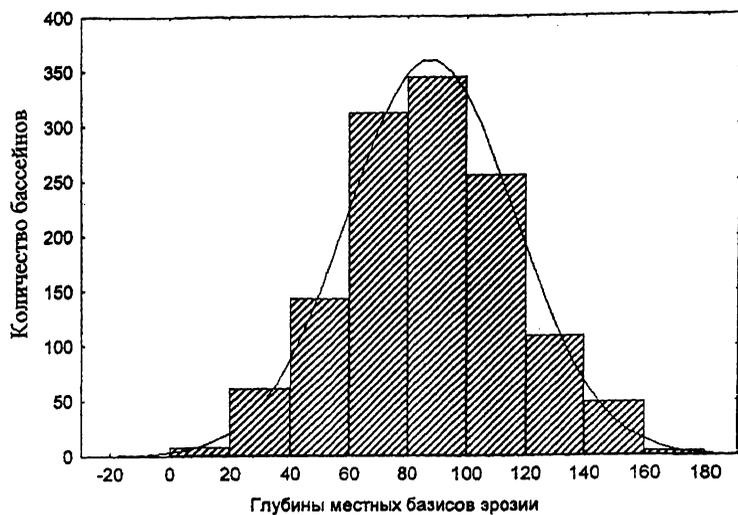


Рис. 31. Распределение элементарных бассейнов по интервалам глубин местных базисов эрозии

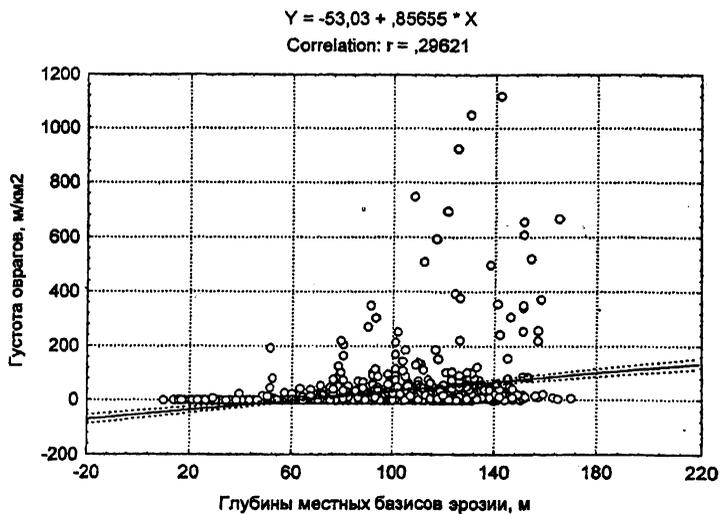


Рис. 32. Зависимость густоты овражной сети от глубин местных базисов эрозии

Средние уклоны поверхности. Благодаря уклону земной поверхности происходит концентрация и сток талых и ливневых вод по различным элементам рельефа. Чем круче склон, тем выше скорость, кинетическая энергия водного потока и его эродирующая способность (Rysin I.I., Venchikov A.I., 1993).

Влияние крутизны склона на интенсивность эрозии оценивается исследователями по-разному. В уравнениях, отражающих эту зависимость, показатель степени при уклоне изменяется у различных авторов от 0,4-0,5 до 1,0-2,0 (Корнев, 1937; Гуссак, 1937; Поляков, 1939; Zingg, 1940; Сластухин, 1948; Лопатин, 1952; Конке, Бертран, 1960; Швебс, 1974; Сурмач, 1979; Singh, Baby, Chandr, 1981; Jovers, 1991 и др.), что связано с большой вариацией крутизны склонов на экспериментальных участках и противозерозионной устойчивостью почв. Г.А.Ларионов (1993) показал, что роль уклона в значительной степени определяется значением пульсационных скоростей потока, превышающих пороговую величину.

С целью выявления роли данного параметра рельефа в развитии овражной сети Удмуртии вначале была построена карта средних уклонов поверхности. Средние уклоны поверхности (I) рассчитывались на каждый элементарный бассейн по зависимости, предложенной Н.М.Волковым [1950]:

$$I = (h \cdot L) / F,$$

где h - сечение горизонталей; L - суммарная длина горизонталей в пределах элементарного водосбора с площадью F . Значение L можно подсчитать достаточно легко, если на карту наложить сетку квадратов со стороной d (Архипов и др., 1976), таким образом получим:

$$L = (\pi/4) \cdot dm,$$

где m - число пересечений горизонталей со сторонами квадрата.

Исходя из результатов вычислений, весь ряд показателей уклонов был разбит на 9 градаций через 1.5° , получившаяся шкала послужила основой для построения карты средних уклонов поверхности Удмуртии (рис. 33).

Наиболее крутосклонным является рельеф северных районов республики, особенно правобережья р.Чепца, что объясняется густой сетью здесь балочной и долинной сети. Там преобладают водосборы со средними уклонами поверхности $6-8^\circ$.

Данный показатель namного уменьшается в пределах слабо расчлененной Кильмезской низменности, где в рельефе преобладают уклоны в $2-3^\circ$. В бассейнах рр. Иж, Тойма и на левобережье р. Вятка среднее значение уклонов возрастает до $3,4^\circ$. Значительными уклонами

характеризуются бассейны р. Сива (4,9°) и правобережья р. Кама (4,8°) вследствие высокой вертикальной и горизонтальной расчлененности поверхности. Низменное левобережье р. Кама, естественно, имеет наименьшие уклоны (рис. 33).

Преобладающими в рельефе изучаемой территории оказались уклоны от 2 до 4° при их среднеарифметическом значении 4,4°. Распределение анализируемых величин лишь немногим отличается от нормального (рис. 34).

Основные статистические характеристики средних уклонов поверхности элементарных водосборов, рассчитанные по крупным речным бассейнам, представлены в таблице 4.8.

Таблица 4.8.

Статистические характеристики средних уклонов поверхности водосборов (в град.) по речным бассейнам Удмуртии

Речные бассейны	M	N	Me	Mo	σ	D	E	A	Cv
Верховья Вятки и Камы	4,3	0,530	3	2,4	2,543	6,47	-1,141	0,727	59,1
Правобережье Чепцы	6,9	0,250	7	4	3,160	9,98	-1,234	-0,053	45,8
Левобережье Чепцы	6,2	0,164	6,5	7	2,597	6,75	-0,599	0,020	41,9
Кильмезь	2,6	0,145	2	2,4	1,770	3,13	3,786	1,858	68,1
Вала	2,7	0,088	2,6	1,4	1,196	1,43	-0,201	0,618	44,3
Левобережье Вятки и Тойма	3,4	0,088	3,2	3,1	0,897	0,80	0,637	0,534	26,4
Иж	3,4	0,072	3,2	3,2	1,037	1,07	0,186	0,298	30,5
Сива	4,9	0,227	4,8	2,7	1,924	3,70	0,084	0,459	39,3
Левобережье Камы	1,2	0,105	1,3	1,4	0,527	0,28	2,104	1,153	43,9
Правобережье Камы	4,8	0,121	4,7	4,3	0,999	1,0	0,382	0,210	20,8
По всем	4,4	0,072	3,8	1,4	2,571	6,61	0,405	0,996	58,4

Данные таблицы подтверждают близость распределения анализируемых показателей нормальному закону, о чем свидетельствуют очень низкие значения коэффициентов асимметрии и эксцесса. Наибольшая изменчивость показателей относительно их средних величин характерна для бассейнов р.Кильмезь, верховий Вятки и Камы и правобережья Чепцы.

Анализ соответствующих карт (рис. 21 , 33) показывает, что слабо заовраженными являются территории как со значительными уклонами (Верхнекамская возвышенность), так и относительно ровные (правобережье р.Кильмезь, левобережье р. Кама). Высокая заовраженность более характерна для территории со средними значениями уклонов. В результате зависимость густоты овражной расчлененности от средних уклонов поверхности практически не

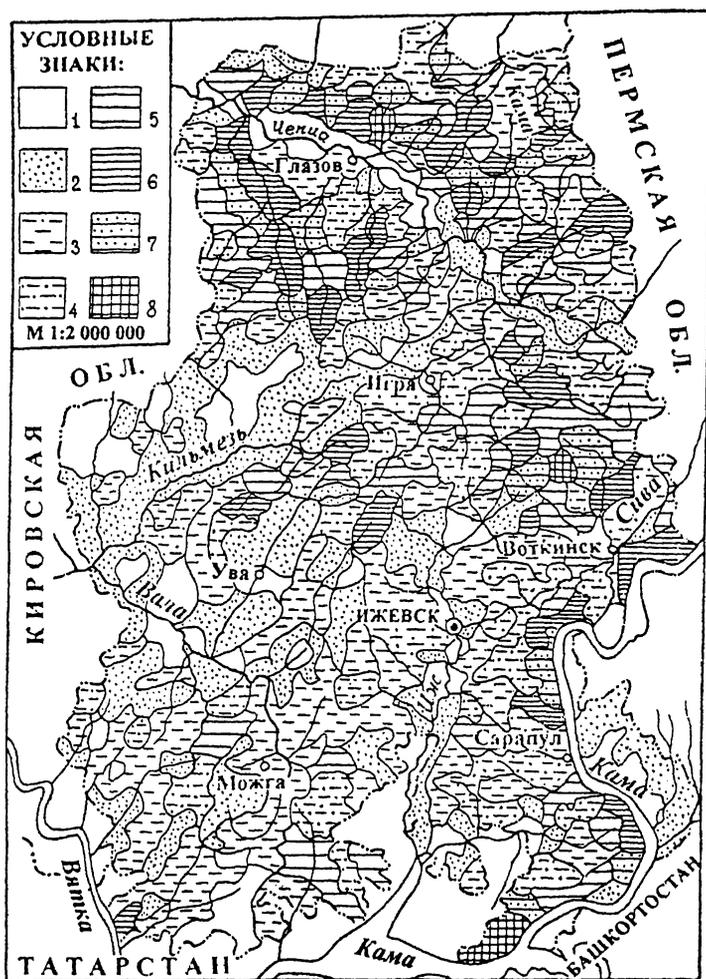


Рис. 33. Средние уклоны поверхности элементарных бассейнов Удмуртской Республики.
Условные обозначения (в градусах): 1. Менее 1,5; 2. 1,5 – 3,0; 3. 3,0 – 4,5; 4. 4,5 – 6,0; 5. 6,0 – 7,5; 6. 7,5 – 9,0; 7. 9,0 – 10,5; 8. 10,5 и более

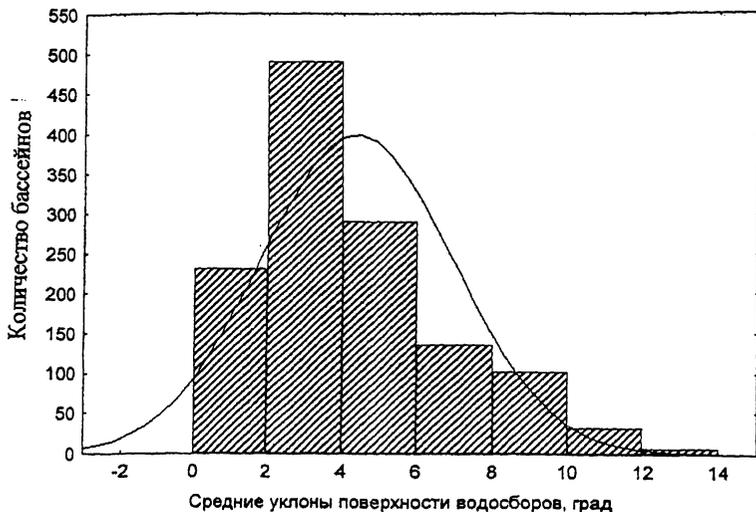


Рис. 34. Распределение элементарных бассейнов по градациям их средних уклонов поверхности

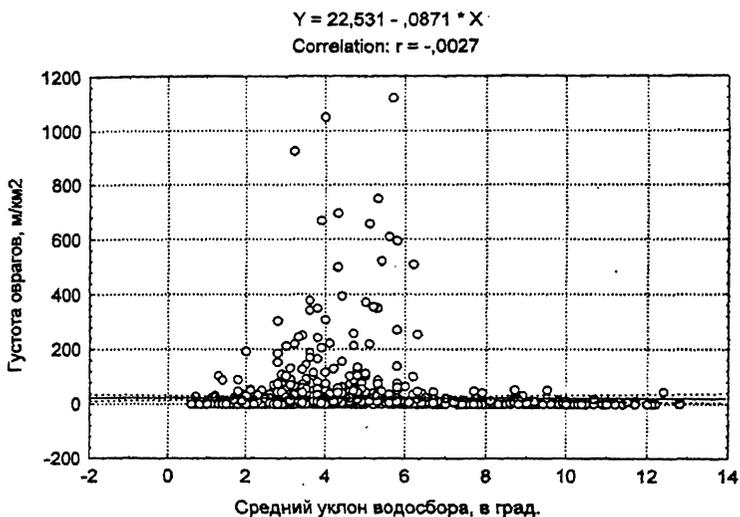


Рис. 35. Зависимость густоты овражной сети от средних уклонов поверхности

проявляется (рис. 35). Анализируемая связь не подтвердилась также при расчетах корреляционного отношения и коэффициента детерминации ($\eta = 0,051$, $\eta^2 = 0,003$).

Общеизвестно, что крутизна склонов является одним из ведущих факторов оврагообразования, это подтверждается и экспедиционными наблюдениями: овраги чаще всего развиваются на более крутых склонах долин и балок. Но при подсчете средних уклонов поверхности всего бассейна значение фактора крутизны склонов сильно сглаживается. Кроме того, отсутствие связи между анализируемыми показателями можно объяснить тем, что элементарные водосборы с наибольшими средними уклонами поверхности имеют очень короткие склоны, недостаточные для концентрации мощных водных потоков, приводящих к образованию оврагов. Пояс овражной эрозии в данном случае замещается поясом древних и современных балок. Поэтому наряду с крутизной важным параметром рельефа, определяющим условия оврагообразования, является длина (протяженность) склона.

Средняя длина склонов долинно-балочных водосборов. Развитие оврагов определяется не только высотой и крутизной склонов, но и его длиной. С возрастанием длины склона (т.е. длины линии стока) в условиях слабо водопроницаемых пород наряду с площадью водосбора происходит увеличение объема и концентрации стекающей воды, а следовательно и эродирующей силы потока. Правда роль длины склонов в эрозионных процессах оценивается исследователями неоднозначно (Корнев, 1937; Zingg, 1940; Chudek, 1971; Швевс, 1974; Сурмач, 1976, 1979; Иванов, 1984; Wischmeier, Smith, 1978; Ларионов, 1993 и др.). Это связано с изменчивостью эрозионно-аккумулятивных процессов на различных по длине участках склона в зависимости от водопроницаемости почво-грунтов и множества других факторов.

Чтобы определить роль длины склонов в развитии овражной эрозии, впервые для территории Удмуртии была построена карта средних длин склонов долинно-балочных водосборов. Средняя длина склонов (водосборов) рассчитывалась на каждый элементарный бассейн по формуле (Нежиховский, 1971):

$$L = 1/(2,25K_{д-б}),$$

где L – средняя длина склона (км) в пределах речного бассейна, $K_{д-б}$ – густота долинно-балочной сети в пределах данного бассейна ($\text{км}/\text{км}^2$).

Анализ карты показывает, что значения средних длин склонов изменяются по территории республики в широких пределах: от 200-300 м и менее в северных районах до 1400 м и более в западных (рис. 36).

Максимальные длины линий стока приурочены, как правило, к низменным районам с малой горизонтальной и вертикальной расчлененностью рельефа (Кильмезская низменность, левобережье р. Кама). Наименьшие средние длины склонов имеют бассейны в северной части республики вследствие наибольшей здесь горизонтальной расчлененности поверхности (бассейн р. Чепца, верховья рек Вятка и Кама).

Распределение элементарных бассейнов по интервалам средних длин склонов немного отличается от нормального (рис. 37). Преобладающее число элементарных бассейнов характеризуется длиной склонов от 400 до 800 м (66%). В пределах 113 речных водосборов средние длины склонов менее 300 м, а для 230 водосборных бассейнов данный показатель превышает 1000м. Статистические характеристики средних длин склонов долинно-балочных водосборов, рассчитанные по крупным речным бассейнам, приведены в таблице 4.9.

Таблица 4.9.

Статистические характеристики средних длин склонов долинно-балочных водосборов (м) по речным бассейнам Удмуртии

Речные бассейны	M	N	Me	Mo	σ	Д	E	A	Cv
Верховья Вятки и Камы	531,2	36,49	476	671	175,0	30626	-0,642	0,495	32,9
Правобережье Чепцы	447,5	17,46	376	746	220,8	48763	-1,060	0,434	49,3
Левобережье Чепцы	467,3	13,86	444	820	219,1	47992	0,021	0,581	46,9
Кильмезь	1103	47,47	1073	1603	581,4	338034	-0,497	0,532	52,7
Вала	948,9	29,20	885	676	396,1	156917	0,339	0,806	41,7
Левобережье Вятки и Тойма	757,4	22,25	752	794	225,8	50981	0,223	0,571	29,8
Иж	747,6	22,74	668	547	328,8	108114	0,611	0,937	44,0
Сива	652,1	39,32	565	439	333,6	111289	2,886	1,719	51,2
Левобережье Камы	1447	87,09	1458	-	435,4	189598	-1,228	0,245	30,1
Правобережье Камы	501	18,63	472	306	153,7	23613	1,620	1,184	30,7
По всем	707,6	11,59	622	704	415,5	172646	2,270	1,401	58,7

Представленные в таблице данные указывают на значительную вариабельность анализируемого показателя относительно его средней величины в бассейнах р.Кильмезь, р.Сива и р.Чепца. Отмечаются высокие значения среднеквадратического отклонения, дисперсии, коэффициента вариации и в целом для всей территории. Величины эксцесса и дисперсии, коэффициента вариации и в целом для всей территории. Величины эксцесса и асимметрии относительно небольшие.

Зависимость густоты овражной сети от средних длин склонов долинно-балочных водосборов на графике практически не обнаруживает-

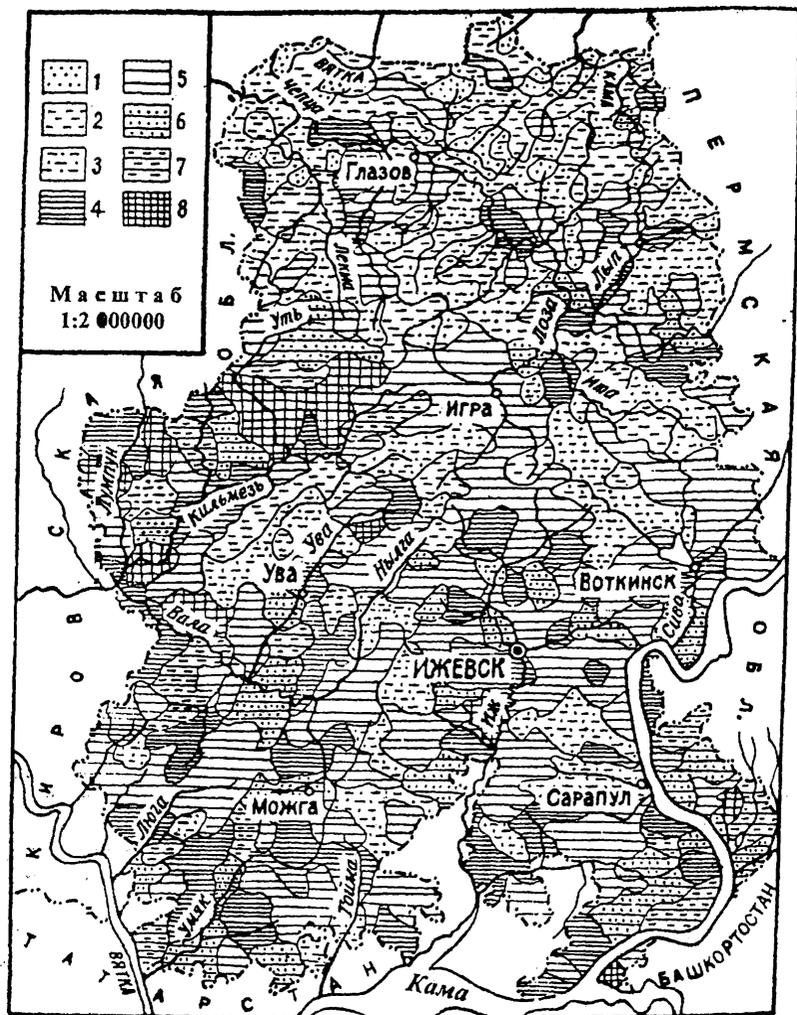


Рис. 36. Средние длины склонов долинно-балочных водосборов Удмуртской Республики.
 Условные обозначения (м): 1. Менее 200; 2. 200 – 400; 3. 400 – 600; 4. 600 – 800; 5. 800 – 1000; 6. 1000 – 1200; 7. 1200 – 1400; 8. 1400 и более

ся (рис. 38). Низкие значения густоты оврагов характерны для водосборов как с короткими, так и с длинными склонами. Значительная вариация показателя овражности имеет место лишь в узком интервале (400-900 м) длин склонов. Связь здесь явно криволинейная ($B = 87,6$). Расчет корреляционного отношения и коэффициента детерминации подтвердил наличие очень слабой связи между анализируемыми признаками ($\eta = 0,272$, $\eta^2 = 0,068$).

Средние длины склонов долинно-балочных водосборов определяют условия формирования лишь первичных оврагов. Склоновые водотоки, попадая в балочную сеть усиливают свою эродирующую способность в результате дальнейшей концентрации и обуславливают развитие вторичных оврагов. Поэтому для оценки условий оврагообразования как первичного, так и вторичного типов следует рассматривать средние длины склонов долинной (речной) сети. Данный показатель характеризует среднюю длину линий стока в пределах элементарного речного водосбора. Он определялся по известной зависимости Р.Хортона (1948):

$$L = 1/2K_d$$

где L – средняя длина линии стока (км); K_d – густота долинной сети (км/км²) в пределах элементарного речного бассейна.

Значения средних длин линий стока изменяются в широких пределах: от 450-500 м в северных районах до 2000-3000 м и более в бассейне р.Кильмезь и на левобережье Камы. Преобладающее большинство элементарных бассейнов имеет длину линии стока от 900 до 1200 м. Особенности их изменения по территории аналогичны изменению густоты долинной сети (рис. 17). Статистические характеристики средних длин линий стока по основным речным бассейнам Удмуртии приведены в таблице 4.10.

Анализ статистических данных показывает, что в большинстве бассейнов (за исключением р.Кильмезь) вариация анализируемых показателей относительно их средних значений сравнительно небольшая. Отмечаются достаточно высокие положительные значения эксцесса в бассейнах левобережья Чепцы, р.Сива и правобережья Камы, что свидетельствует об островершинном характере распределения анализируемых показателей. Показатели асимметрии как по отдельным бассейнам, так и по всей территории достаточно низкие. Следовательно, распределение рассматриваемого показателя не сильно отличается от нормального, что видно и на гистограмме (рис. 39).

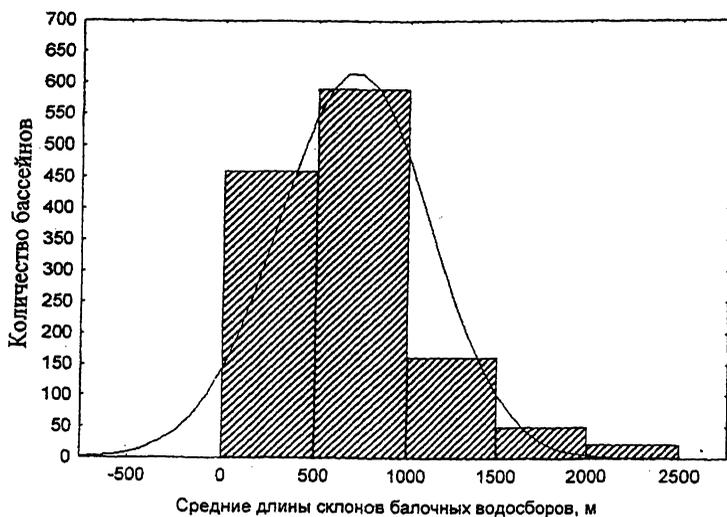


Рис. 37. Распределение элементарных бассейнов по интервалам средних длин склонов долинно-балочных водосборов

$$Y = 32,833 - ,0151 * X$$

Correlation: $r = -,0762$

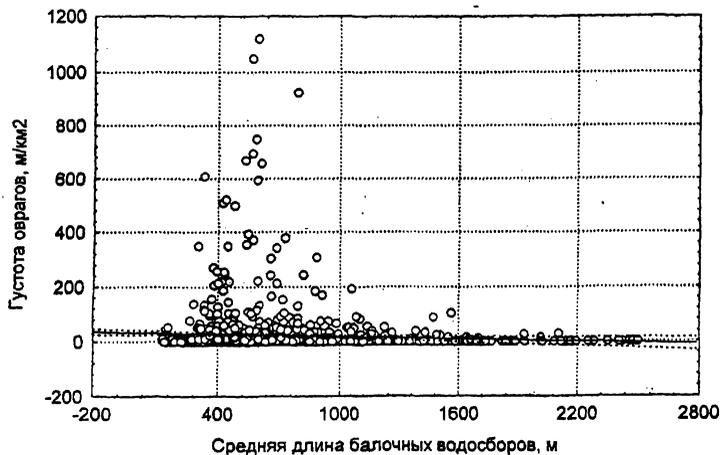


Рис. 38. Зависимость густоты овражной сети от средних длин склонов долинно-балочных водосборов

Таблица 4.10

**Статистические характеристики средних длин линий стока по
речным бассейнам Удмуртии**

Речные бассейны	M	N	Me	Mo	σ	D	E	A	Cv
Верховья Вятки и Камы	925,5	72,42	862	862	347,3	120616	2,956	1,486	37,5
Правобережье Чепцы	1013	27,19	980	1282	343,9	118254	1,731	0,992	33,9
Левобережье Чепцы	1062	20,16	1000	1190	318,8	101603	5,702	1,655	30,0
Кильмезь	1451	50,40	1351	2273	617,3	381048	0,217	0,834	42,5
Вала	1415	30,21	1389	1613	409,8	167960	-0,029	0,447	29,0
Левобережье Вятки и Тойма	1479	46,12	1351	1136	468,1	219080	2,313	1,306	31,6
Иж	1344	28,39	1250	1000	410,5	168506	2,814	1,494	30,5
Сива	1314	53,13	1282	1282	450,8	203258	5,271	1,698	34,3
Левобережье Камы	1677	106,01	1724	1852	530,1	280955	-0,718	0,196	31,6
Правобережье Камы	1285	51,64	1163	1042	425,8	181302	7,670	2,259	33,1
По всем	1256	13,02	1163	1282	466,6	217713	2,115	1,218	37,1

Как и в предыдущем случае, зависимость густоты овражной сети от длин линий стока не обнаружена (рис. 40). Форма связи здесь также криволинейная ($B = 21,9$). Расчет корреляционного отношения и коэффициента детерминации ($\eta = 0,287$, $\eta^2 = 0,082$) указывает на наличие лишь очень слабой связи между рассматриваемыми признаками.

Отсутствие прямой связи между густотой овражной сети и длиной склонов объясняется легко, поскольку мы не учитываем здесь влияние уклонов. Густота оврагов уменьшается на водосборах с длинными склонами вследствие их очень малых уклонов, а на склонах средней длины и со значительными уклонами показатель овражности резко возрастает. Кроме того, овраги редко встречаются на водосборах с очень короткими склонами, поскольку даже в условиях их значительной крутизны на них невозможна концентрация таких объемов стока, которые достаточны для возникновения оврагов. Таким образом, при раздельном анализе влияния уклонов и длин склонов на густоту овражной сети их роль практически не заметна. Поэтому эти важные параметры рельефа необходимо рассматривать совместно.

Совместное влияние уклонов и длин склонов. Поскольку принципиально важным здесь является установление пороговых (критических) значений уклонов и длин склонов, необходимых для возникновения оврагов, то в анализе ограничимся только теми бассейнами, где развита современная овражная сеть. Определение пороговых значений параметров рельефа имеет важное значение для

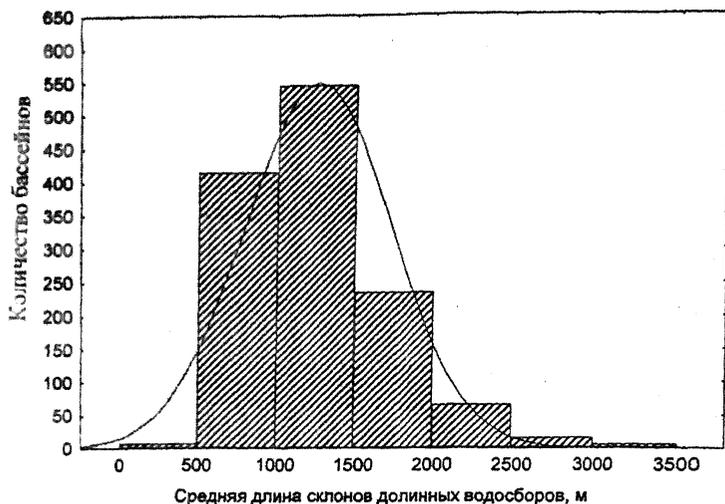


Рис. 39. Распределение элементарных бассейнов по интервалам длин линий стока речных водосборов

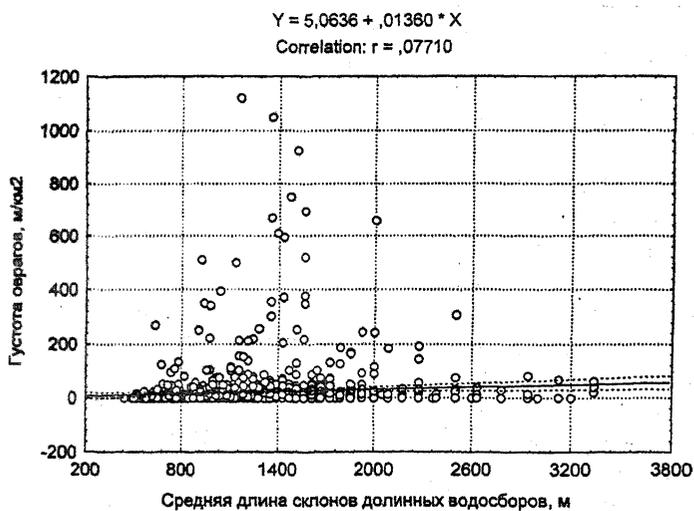


Рис. 40. Зависимость густоты овражной сети от длин линий стока речных водосборов

прикладных целей, особенно при проектировании противоэрозионных мероприятий и в частности создании почвозащитных лесополос. Об этом свидетельствуют и появившиеся в последние годы работы преимущественно зарубежных исследователей (Patton, Schumm, 1975; Ebisemiju, 1989; Lopes, 1990; Jovers, 1991 и др).

С целью определения пороговых значений анализируемых параметров рельефа был построен график, где на оси абсцисс отмечены значения длин склонов долинно-балочных водосборов, а на оси ординат – средние уклоны элементарных водосборов. На этом графике в виде точек было показано расположение заовраженных бассейнов в зависимости от их значений анализируемых показателей (рис. 41). Причем обнаружилась достаточно тесная обратная связь между самими параметрами рельефа ($r = -0,678$), что вполне естественно и не требует объяснений. Далее необходимо соединить плавной линией наименьшие попарные значения анализируемых показателей и по полученной кривой (номограмма) можно найти пороговые значения для любых величин уклонов и длин склонов.

Ниже приводятся некоторые пороговые значения уклонов и длин склонов, контролирующие возможность появления оврагов в пределах Удмуртии при современных климато-ландшафтных условиях (табл. 4.11).

Таблица 4.11

Пороговые значения средних уклонов (I) и средних длин склонов долинно-балочных водосборов (L), определяющие развитие оврагов на территории Удмуртии

I , град	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
L , м	2100	860	480	300	240	200	190	185	180	175	172,5	170	168

Анализ графика показывает, что большинство заовраженных бассейнов располагается в пределах интервалов длин склонов от 400 до 900 м и соответственно уклонов – от 3° до 6°. Причем водосборы с наиболее высокой плотностью оврагов имеют среднюю длину склонов 480-600 м и соответственно уклоны 6-4°.

Таким образом, длина и крутизна склонов играют важную роль в развитии овражной эрозии. Возникновение оврагов происходит обычно при определенных сочетаниях указанных параметров рельефа, обеспечивающих формирование на склонах достаточных величин расхо-

дов водных потоков. Наиболее благоприятными для развития оврагов в Удмуртии оказались водосборы со средними значениями уклонов и длин склонов.

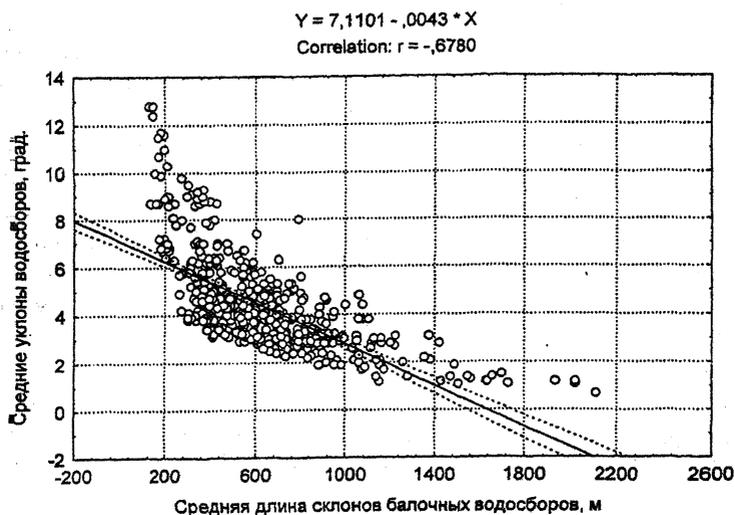


Рис. 41. Распределение заовраженных элементарных бассейнов в соответствии со значениями их средних уклонов и средних длин склонов долинно-балочных водосборов

Асимметрия склонов речных долин. Изучением асимметрии склонов речных долин занимались многие исследователи (Щукин, 1960; Сементовский, 1963; Дедков, 1970; Димо, Келлер, 1907; Архангельский, 1911; Нгуструев, 1916; Мазарович, 1927; Колбин, 1945; Poser, 1948; Tricart, 1951; Перов, 1956; Ступишин, 1950; Сергеев, 1967; Порман, 1974; Бабанов, 1979; Фердман, 1970; Karrasch, 1970 и др.). Специальное изучение причин асимметрии на востоке русской равнины, проведенное Г.П.Бутаковым совместно с А.И.Алексенцевой, Ю.В.Бабановым, В.И.Мозжериним (Бутаков и др., 1977; Алексенцева, Бутаков, 1978; Бутаков, Алексенцева, 1979; Бутаков, 1986) показало, что главными являются две: планетарный закон Бэра-Бабинне и климат. Причем для долин малых рек наиболее характерной является инсоляционная

асимметрия, а для крупных (с максимальными расходами воды не менее 600-900 м³/с) – планетарная (Дедков, 1970).

С целью изучения влияния асимметрии склонов речных долин на развитие овражной эрозии по выделенным элементарным бассейнам определялся показатель асимметрии. Он определялся по следующей формуле (Бутаков и др., 1977):

$$A = 1 - L_{кр}/L_{п.}$$

где A – коэффициент асимметрии (изменяется от 0 в симметричных долинах до 1 в резко асимметричных),

$L_{кр}$ и $L_{п.}$ – длины горизонтального проложения крутого и пологого склонов.

Коэффициент асимметрии определялся через каждые 0,5 км по длине главного водотока по топографическим картам 1:50000 масштаба. В качестве интегрального показателя для элементарного бассейна использовалось среднеарифметическое значение полученных коэффициентов. По крупным и средним речным долинам использовались данные, полученные Г.П.Бутаковым, А.И.Алексенцевой (1979).

Значения коэффициентов асимметрии изменяются на территории Удмуртии в значительных пределах: от 0,2-0,4 в северных районах до 0,6-0,7 в южных. Асимметрия речных долин меньше всего выражена в верховьях Вятки и Камы (0,35), на правобережье Чепцы (0,41). Средние значения коэффициента асимметрии (0,45-0,50) характерны для большинства речных бассейнов. Наибольших значений он достигает на правобережье Камы (табл. 4.12).

Представленные в таблице статистические характеристики показывают, что в большинстве речных бассейнов отклонения анализируемого показателя от средней величины незначительны. Несколько выше коэффициенты вариации в бассейнах р.Вала, левобережья Вятки и р.Тойма, р.Сива и р.Иж. Во многих бассейнах (р.Кильмезь, левобережье Чепцы, верховья Вятки и Камы, р.Вала) отмечаются высокие положительные значения эксцесса. В большинстве речных бассейнов распределение рассматриваемого показателя характеризуется очень низким значением асимметрии, значит оно близко к нормальному. Это хорошо видно на гистограмме (рис. 42).

В подавляющем большинстве случаев крутые склоны речных долин ориентированы к теплым румбам, что говорит о развитии южного варианта климатической асимметрии (Пресняков, 1955; Дедков, 1970; Дедков и др., 1977; Бутаков, 1986). В долинах с резко выраженной асимметрией обычно наблюдаются и максимальные мощности (более 10-12 м) делювиально-солифлюкционных отложений, которые приурочены к

пологим склонам. В таких долинах складываются благоприятные условия для развития овражной эрозии. На крутых склонах возникает серия коротких придолинных оврагов, а на противоположных – густая сеть длинных оврагов с многочисленными отвершками.

Таблица 4.12

Статистические характеристики коэффициента асимметрии по речным бассейнам Удмуртии

Речные бассейны	M	N	Me	Mo	σ	D	E	A	Cv
Верховья Вятки и Камы	0,35	0,003	0,35	0,35	0,014	0,0002	8,605	3,140	4,0
Правобережье Чепцы	0,41	0,001	0,41	0,41	0,016	0,0002	3,904	-1,485	3,9
Левобережье Чепцы	0,44	0,001	0,44	0,44	0,022	0,001	41,81	5,135	5,0
Кильмезь	0,47	0,001	0,46	0,46	0,016	0,0003	25,21	4,01	3,4
Вала	0,48	0,003	0,47	0,47	0,042	0,002	7,445	0,727	8,8
Левобережье Вятки и Тойма	0,49	0,006	0,48	0,48	0,061	0,004	3,719	0,836	12,4
Иж	0,49	0,004	0,48	0,5	0,060	0,004	4,769	0,696	12,2
Сива	0,48	0,005	0,47	0,47	0,046	0,002	4,579	1,551	9,6
Левобережье Камы	0,48	0,002	0,48	0,48	0,008	0,0001	1,990	1,513	1,7
Правобережье Камы	0,54	0,005	0,54	0,55	0,041	0,002	2,322	1,325	7,6
По всем	0,46	0,002	0,46	0,47	0,055	0,003	3,365	0,759	12,0

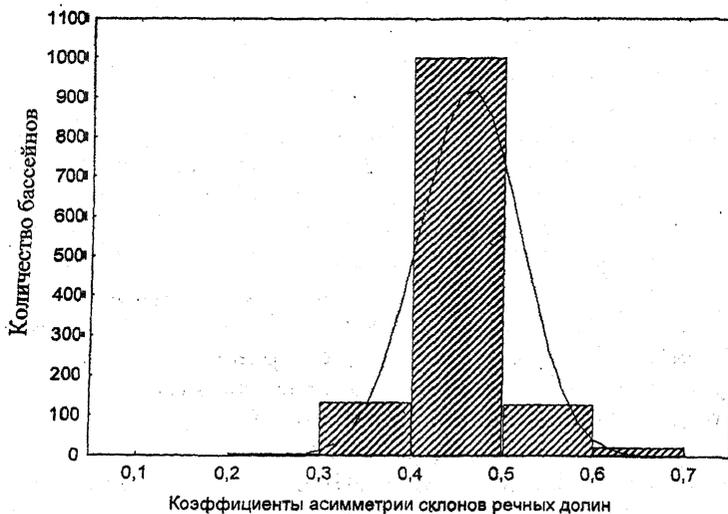


Рис. 42. Распределение элементарных бассейнов по градациям коэффициентов асимметрии склонов речных долин

На четырех малых реках правобережья Камы с ярко выраженной асимметрией были подсчитаны количество оврагов и длина их на 1 км линии простираения склона, а также их средние характеристики (табл. 4.13).

Таблица 4.13

Овражность на склонах асимметричных долин малых рек правобережья Камы

Река	A	Склоны долин	Количество оврагов на 1 км	Длина оврагов на 1 км	Средняя длина оврага, км
Жидковка	0,76	Крутой	5,2	0,9	0,19
		Пологий	1,0	0,6	0,57
Сухаревка	0,72	Крутой	2,8	0,6	0,19
		Пологий	1,2	0,5	0,48
Ветлянка	0,68	Крутой	2,0	0,4	0,20
		Пологий	1,1	0,3	0,44
Северянка	0,50	Крутой	1,9	0,3	0,21
		Пологий	1,3	0,2	0,38

Согласно полученным данным, чаще всего овраги развиваются на более крутых склонах теплых румбов, где на 1 км линии простираения склона долин приходится от 2 до 5 оврагов и 0,3 - 0,9 км их общей длины. Здесь развиваются более короткие овраги со средней длиной 0,19 - 0,21 км. На противоположных, теневых склонах овраги встречаются намного реже (на 1 км линии простираения склонов приходится 1,0 - 1,3 оврага и 0,2 - 0,6 км их общей длины). Однако овраги здесь имеют большую длину (0,38 - 0,57 км). С уменьшением показателя асимметрии речных долин различия в заовраженности противоположных склонов сглаживаются преимущественно за счет значительного снижения количества и протяженности оврагов на крутых склонах.

Поскольку степень асимметричности малых и средних рек заметно уменьшается к северу, то одновременно уменьшается и мощность делювиально-солифлюкционных суглинков на склонах, редкими становятся крутые склоны. В связи с этим можно предположить о влиянии рассматриваемого фактора на густоту овражного расчленения территории.

О наличии связи между рассматриваемыми показателями указывают и средние значения густоты оврагов, подсчитанные для отдельных интервалов значений коэффициентов асимметрии (табл. 4.14).

По данным таблицы следует, что густота овражной сети резко возрастает в бассейнах, где средние значения коэффициентов асимметрии речных долин превышают 0,5, при меньших значениях густота оврагов очень мала.

Таблица 4.14

Средние значения густоты овражной сети по интервалам значений коэффициентов асимметрии речных долин

Интервалы коэффициентов асимметрии	< 0,3	0,3-0,4	0,4-0,5	0,5-0,6	> 0,6
Средняя густота оврагов, м/км ²	0,2	3,1	6,3	151,5	120,3
Количество бассейнов	8	126	1003	118	30

Корреляционный анализ показал наличие положительной связи между густотой овражной сети и показателем асимметрии склонов долин ($r = 0,333$) (рис. 43). Об этом свидетельствует и показатель корреляционного отношения ($\eta = 0,492$). Полученный коэффициент детерминации ($\eta^2 = 0,242$) показывает, что густота овражной сети на 24,2% определяется вариацией рассматриваемого фактора. Таким образом, современная овражная расчлененность изучаемой территории в значительной степени определяется влиянием асимметрии склонов речных долин.

Итак, анализ факторов рельефа показал, что на современную густоту овражной сети Удмуртии в наибольшей степени оказывают влияние глубины местных базисов эрозии и асимметрия склонов речных долин. Глубины же местных базисов эрозии непосредственно определяют крутизну и длину склонов. Связь со средними уклонами и длинами водосборов в отдельности не обнаруживается, их роль проявляется лишь при совместном влиянии. Для прикладных целей очень важно установить их пороговые значения, контролирующие потенциальную возможность развития оврагов в условиях современных природно-антропогенных ландшафтов.

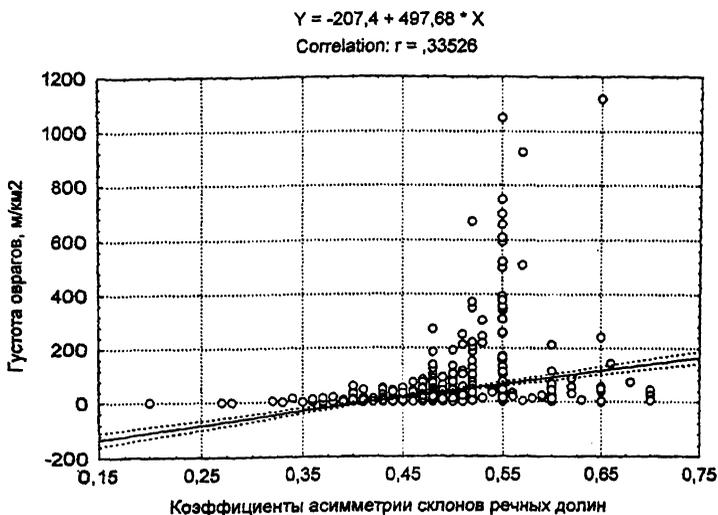


Рис. 43. Зависимость густоты овражной сети от асимметрии склонов речных долин

4.4. РОЛЬ СОСТАВА ГОРНЫХ ПОРОД

Выходящие на дневную поверхность породы обладают неодинаковыми физическими свойствами (плотность, твердость, водопроницаемость, трещиноватость, структура и т.д.), поэтому в разной степени противостоят размыву и обуславливают различие в овражной расчлененности территории. Количественная оценка роли литологического фактора осуществляется исследователями различными методами. К наиболее ранним следует отнести попытки использования для этих целей балльной оценки (Региональные..., 1972). В настоящее время размываемость горных пород оценивают по величине допускаемой неразмывающей скорости водного потока (Киселев, 1957; Мирцхулава, 1970) или по физическим параметрам струи воды, размывающей данную породу (Бастраков и др., 1972; 1977).

Чтобы установить роль состава горных пород в развитии современной овражной эрозии, выходящие на дневную поверхность отложения в пределах исследуемой территории были разделены на пять групп в зависимости от их эрозионной прочности и с учетом возможностей развития на них оврагов. В первую группу были включены песчаные отложения плейстоценового возраста, характеризующиеся очень низкой эрозионной прочностью (3-150 Ньютон) (по Г.В.Бастракову, 1993). Поскольку ареалы распространения песчаных покровов в основном покрыты лесами, и кроме того они обладают высокой водопроницаемостью, то овраги на них практически не встречаются. В бассейнах с преобладающим распространением данных отложений овраги могут появляться лишь на крутых склонах речных долин или в местах их локального отсутствия. Песчаные отложения распространены преимущественно в западных районах Удмуртии. Следующие четыре группы пород располагаются по степени уменьшения их эрозионной прочности. Возможность развития на этих отложениях оврагов не ограничивается природными факторами, а зависит в основном от их эрозионных свойств.

Вторая группа включает трудно размываемые ($2600-7 \cdot 10^5 \text{H}$) коренные породы верхней перми с маломощными элювиально-делювиальными отложениями. Они распространены преимущественно в северных районах Удмуртии.

В третью группу горных пород были включены средне размываемые элювиально-делювиальные суглинки (450-2600 Н), подстилаемые на небольшой глубине трудно размываемыми коренными породами. Встречаются в основном в северных и центральных районах.

Четвертая группа объединяет легко размываемые делювиально-солифлюкционные суглинки (40-450 Н) со средней максимальной мощностью до 10-15 м в сочетании с элювиально-делювиальными отложениями. Распространены преимущественно в центральных и редко в южных районах.

В пятую группу горных пород были включены легко размываемые делювиально-солифлюкционные суглинки, со средней максимальной мощностью более 15 м, распространенные преимущественно в южных районах Удмуртии (Бутаков, 1986).

Распределение элементарных бассейнов по выделенным группам горных пород несколько отличается от нормального (рис. 44). Наиболее распространенными являются вторая и третья группы горных пород, они являются преобладающими в пределах 739 элементарных водосборов.

Меньше всего встречается бассейнов с первой и пятой группами литологических комплексов.

Чтобы установить зависимость между густотой овражной сети и составом размываемых отложений были рассчитаны средние значения густоты оврагов по выделенным группам горных пород (табл. 4.15).

Таблица 4.15

Средние значения густоты овражной сети по группам горных пород

Группы горных пород	1	2	3	4	5
Средняя густота оврагов, м/км ²	2,1	1,9	15,3	28,5	119,1
Количество бассейнов	219	431	308	182	145

Данные таблицы свидетельствуют, что наиболее подвержены овражной эрозии легко размываемые делювиально-солифлюкционные суглинки. Очень низкая густота оврагов на песчаных отложениях легко объясняется, поскольку они обладают высокой водопроницаемостью и сток на них может формироваться только весной по мерзлому грунту или во время ливней экстремальной интенсивности. Кроме того, как указывалось выше они практически полностью залесены. Наименее заовраженными оказались бассейны с преобладающим распространением коренных пород и маломощных элювиально-делювиальных образований. Это связано, во-первых, с их высокой эрозионной устойчивостью и, во-вторых, с геоморфологическими особенностями территории, где вследствие высокой густоты долинно-балочной сети водосборы имеют очень короткие склоны.

Зависимость густоты овражной сети от состава горных пород отчетливо прослеживается и на графике (рис. 45).

Поскольку состав горных пород не выражен количественными показателями, то объективную оценку роли данного фактора можно получить с помощью дисперсионного анализа. В анализ включались только заовраженные бассейны. Результаты однофакторного дисперсионного анализа представлены в таблице 4.16.

Результаты анализа показали, что литологический фактор обеспечивает разнообразие анализируемого показателя овражности почти на 38%, но данный показатель не сопоставим с остальными, поскольку здесь не учитывались безовражные водосборы.

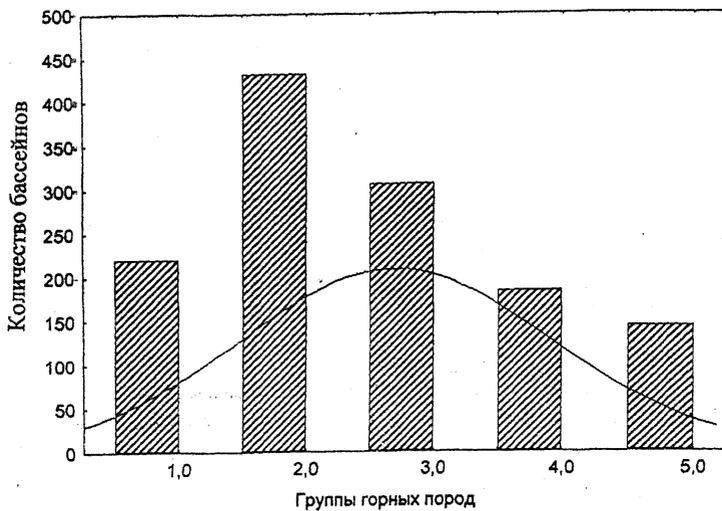


Рис. 44. Распределение элементарных бассейнов по группам горных пород

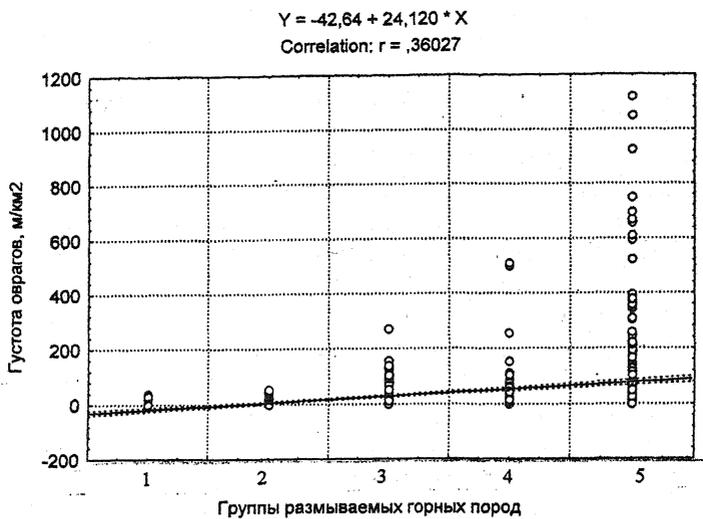


Рис. 45. Зависимость густоты овражной сети от состава горных пород

Таблица 4.16

Результаты однофакторного дисперсионного анализа

Источник вариации	σ^2	η	F	Fst	Достоверность
Факториальный	1292,65	0,3765	1451,3	3,850	99,9%
Случайный	949,47	0,6235			
Общий	2242,13	1,0			

Условные обозначения: σ^2 – варианса; η – сила влияния; F – эмпирическое значение критерия Фишера; Fst – стандартное значение критерия Фишера.

Таким образом, современная овражная сеть развивается главным образом на легко размываемых делювиально-солифлюкционных суглинках, что подтверждается и экспедиционными наблюдениями. Как показали исследования Г.П.Бутакова (1986), мощность этих отложений на крайнем юге Удмуртии превышает 15-20 м и постепенно уменьшается в северном направлении, достигая лишь 2-5 м в верховьях Вятки и Камы. Если учесть, что в северном направлении уменьшается и густота овражной сети независимо от степени сельскохозяйственной освоенности территории, то вероятно здесь сказывается определенная роль и вышеуказанного фактора. Чтобы подтвердить это предположение был проведен корреляционный анализ между густотой овражной сети и средними значениями максимальных мощностей делювиально-солифлюкционных отложений. Значения последних определялись по карте (Бутаков, 1986), также использовались данные бурения скважин на месторождениях глинистого сырья (Лебедев, Рысин, 1987) и результаты полевых исследований автора.

Распределение значений анализируемого фактора близко к нормальному (рис. 46). Преобладают элементарные бассейны со значениями мощностей суглинков от 10 до 15 м. Были подсчитаны и основные статистические характеристики данного показателя (табл. 4.17).

Анализ статистических данных показывает, что изменчивость рассматриваемого показателя относительно средней величины по речным бассейнам незначительная. Коэффициенты вариации несколько выше лишь в бассейнах правобережья Чепцы и р.Иж. Показатели эксцесса и асимметрии по всем бассейнам характеризуются низкими величинами.

Корреляционный анализ подтвердил наличие прямой связи ($r = 0,371$) между густотой овражной сети и максимальными мощностями делювиально-солифлюкционных суглинков (рис. 47). Связь эта по форме криволинейная ($B = 167,9$), поэтому значения корреляционного отноше-

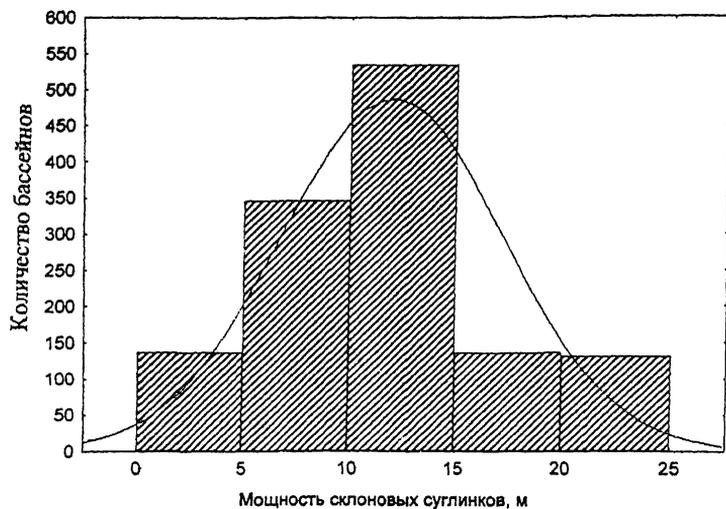


Рис. 46. Распределение элементарных бассейнов по градициям мощностей склоновых суглинков

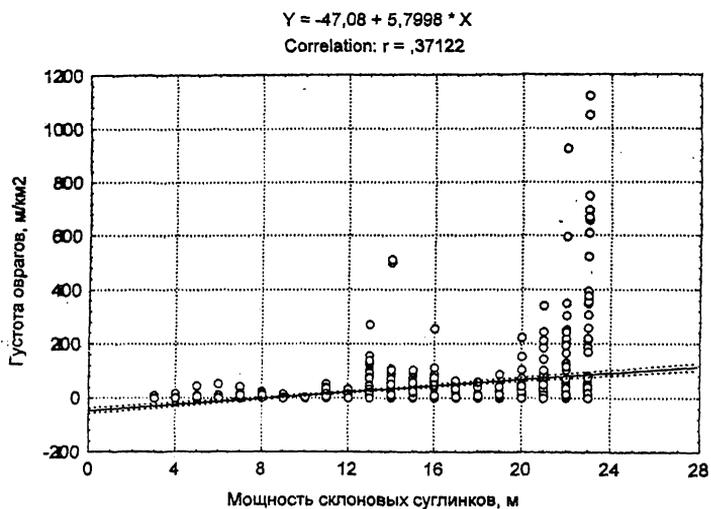


Рис. 47. Зависимость густоты овражной сети от мощностей склоновых суглинков

ния и коэффициента детерминации оказались существенными ($\eta = 0,518$, $\eta^2 = 0,268$). О наличии прямой связи между рассматриваемыми показателями убедительно свидетельствуют и данные таблицы 4.18.

Таблица 4.17

Статистические характеристики максимальных мощностей делювиально-солифлюкционных суглинков (м) по речным бассейнам Удмуртии

Речные бассейны	M	N	Me	Mo	σ	Д	Е	А	Сv
Верховья Вятки и Камы	3,4	0,104	3	3	0,499	0,25	-1,951	0,477	14,7
Правобережье Чепцы	5,4	0,094	6	6	1,190	1,42	-0,650	-0,512	22,0
Левобережье Чепцы	8,2	0,095	8	7	1,507	2,27	-0,653	0,605	18,4
Кильмезь	11,4	0,117	12	13	1,438	2,07	-1,036	-0,496	12,6
Вала	13,7	0,072	13	13	0,982	0,96	2,015	1,500	7,2
Левобережье Вятки и Тойма	20,1	0,207	21	21	2,102	4,42	-0,48	-0,680	10,5
Иж	15,9	0,254	14	13	3,670	13,47	-1,051	0,780	23,1
Сива	12,3	0,134	12	13	1,138	1,30	0,099	-0,070	9,3
Левобережье Камы	18,0	0,406	17	16	2,031	4,12	-0,088	0,773	11,3
Правобережье Камы	18,7	0,387	18	20	3,193	10,19	-1,532	0,199	17,1
По всем	11,9	0,147	13	13	5,268	27,8	-0,574	0,289	44,3

Таблица 4.18

Средние значения густоты овражной сети по градациям максимальных мощностей делювиально-солифлюкционных суглинков

Градации мощностей суглинков, м	< 5	5-10	10-15	15-20	> 20
Средняя густота оврагов, м/км ²	0,4	2,0	9,7	38,2	130
Количество бассейнов	139	346	530	138	132

Особенно резкое возрастание густоты оврагов отмечается для бассейнов с наибольшими мощностями делювиально-солифлюкционных суглинков, что объясняется по-видимому еще и тем, что они расположены в районах, характеризующихся значительными глубинами местных базисов эрозии и высокой сельскохозяйственной освоенностью. Низкое значение средней густоты оврагов в первом и втором интервалах мощностей суглинков можно объяснить тем, что сюда вошло большое

количество безовражных бассейнов вследствие их высокой лесистости или же распространения коротких склонов с выходами на дневную поверхность трудноразмываемых коренных пород.

Отсюда следует, что распространение современной овражной сети в пределах республики в значительной степени контролируется литологическим фактором. В наибольшей степени овраги развиваются на легко размываемых лессовидных делювиально-солифлюкционных суглинках, причем с увеличением их мощности возрастает и густота овражных форм.

4.5. РОЛЬ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА

Почвы играют большую роль в развитии эрозионных процессов, поскольку они первыми испытывают воздействие склонового стока. Устойчивость почвы к эрозии зависит от многих ее свойств (водопроницаемость, структурность, механический состав, содержание гумуса, состав почвенного поглощающего комплекса и т.п.), поэтому для ее определения используются различные показатели.

В настоящее время наиболее часто устойчивость почвы к эрозии определяется следующими количественными показателями: 1) размывающая скорость (Мирицхулава, 1957; Кузнецов, 1973); 2) отношение мощности струи воды к скорости размыва образца почвы (Бастраков, 1972; 1977); 3) количество смытой почвы, отнесенное к показателю эрозионного потенциала осадков или объему (слою) стока (Wischmeier, Smith, 1965; Ларионов, 1984); 4) смываемость почв относительно эталона (Швебс, 1974; Сурмач, 1979; Иванов, Лопырев, 1979).

Противоэрозионная устойчивость почвы нами определялась по методике, разработанной Г.В.Бастраковым (1972, 1977, 1983, 1993). Сущность ее состоит в том, что почва или горная порода подвергается размыву свободной струей воды, истекающей под давлением из насадка. В качестве показателя используется динамическое сопротивление размыву (R), выражаемое отношением мощности размывающей струи к скорости размыва:

$$R = N/V = Nt/L,$$

где N – мощность струи на выходе из насадка, Вт;

V – средняя скорость размыва, м/с;

t – время размыва, с;

L – глубина (длина) размыва, м.

Отбор образцов почв и их подготовка к испытанию сопротивления на разрыв осуществлялись согласно методическим рекомендациям (Бастраков, 1983). Испытания проведены в приборе с диаметром отверстия насадка 0,0025 м, при постоянной мощности струи 1Вт и при скорости размыва не менее 0,001 м/с (Бастраков, 1980).

Для испытания отбирались различные разновидности почв, распространенные в пределах республики. Всего было отобрано 226 образцов почв (Рысин, 1990; Рысин, Лебедев, 1993). Полученные значения сопротивления размыву (табл. 4.19) характеризуют минимальную способность верхнего горизонта почв противостоять эрозии, поскольку характер подготовки образцов к испытанию приведен в соответствие с состоянием почв в условиях чистого пара.

Таблица 4.19

Сопротивление размыву (R) пахотного горизонта несмытых почв нарушенной структуры на территории Удмуртии

N п/п	Название почвы	Механический состав	R, Ньютон		
			Мин.	Макс.	Сред.
1	Элювиально-подзолистая	Связнопесчаный	5	8	6
		Супесчаный	5	9	7
2	Дерново-подзолистая	Супесчаный	6	18	10
		Легкосуглинистый	10	22	15
		Среднесуглинистый	15	28	20
		Тяжелосуглинистый	20	32	25
3	Светло-серая лесная	Легкосуглинистый	14	30	22
		Среднесуглинистый	15	33	25
		Тяжелосуглинистый	21	40	28
4	Серая лесная	Легкосуглинистый	15	33	24
		Среднесуглинистый	17	42	30
		Тяжелосуглинистый	20	50	35
5	Темно-серая лесная	Среднесуглинистый	22	60	38
		Тяжелосуглинистый	30	77	46
		Легкоглинистый	40	97	60
6	Дерново-карбонатная оподзоленная	Тяжелосуглинистый	20	48	32
7	Дерново-карбонатная выщелоченная	Тяжелосуглинистый	26	63	40
		Легкоглинистый	35	74	48
8	Дерново-карбонатная типичная	Тяжелосуглинистый	33	80	50
		Легкоглинистый	40	85	55
9	Дерновая аллювиальная слоистая оглеенная	Среднесуглинистый	13	32	21
10	Дерновая аллювиальная зернистая	Тяжелосуглинистый	35	50	42

Данные таблицы свидетельствуют, что наибольшим сопротивлением к размыву характеризуются темно-серые лесные и дерново-карбонатные почвы. Почвы подзолистого типа обладают наименьшим сопротивлением к размыву. Исследования показали (Рысин и др., 1993), что сопротивление размыву, как правило, возрастает с увеличением количества гумуса и содержания илистой фракции, а также с уменьшением содержания песчаных фракций. Противозерозионная устойчивость существенно снижается и в смытых разновидностях почвы.

Полученные значения сопротивления почв размыву нами использовались для оценки влияния почвенного фактора на густоту овражной сети. Для этого в пределах каждого элементарного бассейна, в соответствии с преобладающими типами почв, определялось среднее значение их сопротивления на размыв (эрозионная прочность).

Преобладающими в республике оказались бассейны со значением эрозионной прочности почвы от 10 до 20 ньютон (рис. 48). Лишь несколько элементарных водосборов характеризуются значением эрозионной прочности, превышающим 40 ньютон.

Среднее значение данного показателя по республике составило 17,7Н, медиана и мода оказались равными 15Н (табл. 4.20).

Распределение анализируемых показателей в целом незначительно отличается от нормального, поскольку величины эксцесса и асимметрии низкие, за исключением лишь верховий Вятки и Камы. Значительные вариации относительно среднего значения характерны для бассейнов левобережья Вятки и р.Тойма, левобережья Камы и особенно р.Иж.

Таблица 4.20

Статистические характеристики эрозионной прочности (Н) по речным бассейнам Удмуртии

Речные бассейны	М	N	Me	Mo	σ	Д	Е	А	Сv
Верховья Вятки и Камы	15,1	0,087	15	15	0,417	0,17	12,30	4,796	2,8
Правобережье Чепцы	17,2	0,474	15	15	5,993	35,92	2,325	1,446	34,8
Левобережье Чепцы	17,1	0,295	17	17	4,665	21,76	1,328	0,395	27,3
Кильмезь	11,9	0,395	10	7	4,843	23,45	0,106	0,738	40,7
Вала	13,3	0,318	13	10	4,319	18,65	0,992	0,889	32,5
Левобережье Вятки и Тойма	20,6	0,985	17	9	10,0	100,0	-1,198	0,438	48,5
Иж	21,1	0,744	20	10	10,76	115,8	-0,726	0,412	51,0
Сива	18,7	0,857	18	15	7,27	52,87	-0,521	0,223	38,9
Левобережье Камы	17,8	1,764	15	30	8,83	77,75	-1,709	0,419	49,6
Правобережье Камы	31,7	0,624	31	35	5,145	26,47	-0,854	-0,079	16,2
По всем	17,7	0,228	15	15	8,165	66,66	0,644	1,012	46,1

Средние значения густоты оврагов, подсчитанные для отдельных интервалов величин эрозионной прочности почв, показали, что вначале отмечается возрастание овражности по мере увеличения эрозионной характеристики почвы, затем происходит некоторый спад (табл. 4.21).

Таблица 4.21

Средние значения густоты овражной сети по отдельным интервалам величин эрозионной прочности почвы

Интервалы эрозионной прочности, Н	< 10	10-20	20-30	30-40	> 40
Средняя густота оврагов, м/км ²	1,8	9,4	28,8	135,5	84,7
Количество бассейнов	292	657	225	108	3

Аналогичная зависимость прослеживается и на графике (рис. 49), при этом теснота связи между густотой овражной сети и эрозионной прочностью почвы оказывается значительной ($r = 0,373$). Характер связи отличается от линейного ($B = 28,9$). Величины корреляционного отношения и коэффициента детерминации оказались не высокими ($\eta = 0,402$, $\eta^2 = 0,162$). Наличие прямой связи между анализируемыми признаками, на первый взгляд, кажется противоречит общепринятым представлениям об эрозии. По логике здесь должна быть скорее обратная связь, нежели прямая. В действительности все объясняется достаточно просто. Поскольку почвы с высокой эрозионной устойчивостью являются и более плодородными, то они в большей степени оказались распаханными и лишены естественного растительного покрова (сведение лесов). В данном случае характер использования земли оказался во много раз более сильным фактором, чем противоэрозионные свойства почвы.

Некоторое уменьшение густоты оврагов в бассейнах со значением эрозионной прочности более 40Н можно объяснить сравнительно низкой выборкой данной градации, где оказались преимущественно межпритоковые участки крупных рек со значительными площадями пойменных почв, обладающих высокой противоэрозионной устойчивостью. На пойменных же землях, по известным причинам, овраги встречаются крайне редко. Наряду с пойменными в этих бассейнах представлены серые и темно-серые лесные почвы, развитые в средних и нижних частях пологих склонов речной долины. Они также отличаются высокой эрозионной прочностью, но овраги здесь получают широкое распространение, хотя среднее значение

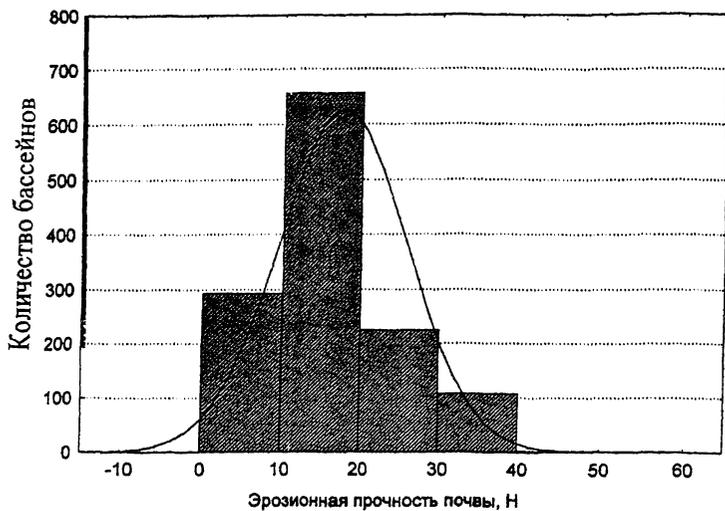


Рис. 48. Распределение элементарных бассейнов по градациям значений эрозионной прочности почвы

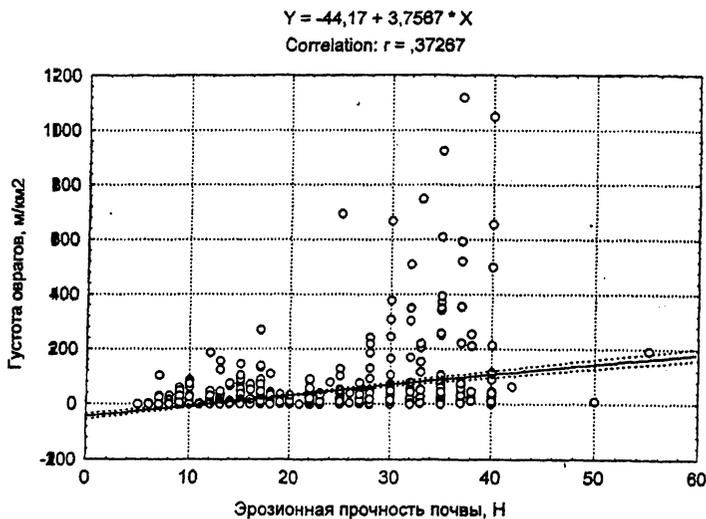


Рис. 49. Зависимость густоты овражной сети от величины эрозионной прочности почвы

их густоты для всего бассейна оказывается невысоким вследствие значительной площади безовражных пойм.

Таким образом установлено, что почвенный покров не оказывает какого-либо заметного влияния на развитие современного оврагообразования. Характер обработки почвы и растительный покров по своему значению (об этом будет изложено в следующих разделах) во много раз превосходят эрозионные свойства самой почвы.

4.6. ЗАЩИТНАЯ ФУНКЦИЯ РАСТИТЕЛЬНОСТИ

Противоэрозионная роль растительного покрова общеизвестна. Особенно большое значение имеет лесная растительность, способствующая как задержанию большого количества осадков на своей поверхности, так и ослаблению их действия на почву благодаря раздроблению дождевых капель кронами деревьев. Основную почвозащитную функцию в лесах выполняет лесная подстилка, обладающая хорошей водопроницаемостью и большой влагоемкостью. Она способна очень быстро поглощать в 2-6 раз больше воды, чем ее вес в воздушно-сухом состоянии (Заславский, 1979). Сток в темнохвойных лесах составляет только доли процента от слоя осадков (Краснощеков, 1977; Ковалев, 1979), он незначителен и в широколиственных лесах (Тарасашвили, 1955; Ажигиров, 1984) и несколько возрастает лишь в сосновых лесах (Молчанов, 1960; Реймерс, 1978).

Почвозащитная роль леса выражается также в предохранении почв от глубокого промерзания, так как кроны деревьев, кустарники, наземный покров с подстилкой и более мощный, чем на открытых участках, снежный покров оказывают обогревающее воздействие.

Большую противоэрозионную роль выполняют корневые системы растений, которые пронизывают почвенные агрегаты и препятствуют их размыву. Многочисленные корни способствуют увеличению пористости почвы, улучшают ее структуру и служат источником накопления органического вещества, что приводит к повышению ее плодородия и противоэрозионной устойчивости (Рысин, Венчиков, 1996).

С целью выявления роли растительного покрова в распространении оврагов нами была построена карта лесистости Удмуртии по элементарным бассейнам (рис. 50). Исходные данные определялись по крупномасштабным топокартам (М 1:50000) методом палетки и выражались в процентах по отношению к площади

элементарного водосбора. Контуры лесов и их площади в отдельных случаях уточнялись по аэрофотоматериалам.

В категорию лесов относились также искусственные лесонасаждения на вырубках, песках и на неудобьях, массивы кустарников и садов, а также болота, относящиеся к эрозионно неактивным землям.

Максимальной залесенностью характеризуются верховья Вятки и Камы (85,9%), левобережье Камы (75,6%) и бассейн р.Кильмезь (71,3%) (рис. 50, табл. 4.22). Слабо залесены бассейны среднего и нижнего течения р.Иж, р.Тойма и особенно правобережья р.Кама, где отдельные водосборы практически полностью лишены лесов.

Данные таблицы показывают, что наибольшая изменчивость рассматриваемого показателя характерна для правобережья Камы, где имеются бассейны и с относительно высокой лесистостью (до 56%). Достаточно высокий показатель вариации отмечается также для бассейна р.Иж, левобережья Вятки и р.Тойма, р.Сива. Процент лесистости меньше всего изменяется в верховьях Вятки и Камы.

Таблица 4.22

**Статистические характеристики лесистости по речным бассейнам
Удмуртии**

Речные бассейны	M	N	Me	Mo	σ	Д	Е	А	Сv
Верховья Вятки и Камы	85,9	1,786	88	88	8,567	73,4	3,059	-1,584	10,0
Правобережье Чепцы	63,7	1,433	66	81	18,13	328,7	-0,982	-0,353	28,5
Левобережье Чепцы	56,2	1,382	52	51	21,86	477,8	-1,205	0,187	38,9
Кильмезь	71,3	1,832	78	79	22,43	503,3	-0,807	-0,664	31,5
Вала	61,8	1,822	66	84	24,72	611,1	-0,951	-0,395	40,0
Левобережье Вятки и Тойма	45,5	2,696	41	14	27,36	748,4	-1,193	0,275	60,1
Иж	45,2	2,018	41	43	29,17	850,8	-1,064	0,264	64,5
Сива	48,2	2,725	45	40	23,12	534,6	-0,657	0,389	48,0
Левобережье Камы	75,6	3,662	82	90	18,31	335,3	-0,178	-0,885	24,2
Правобережье Камы	13,5	1,488	12	10	12,27	150,6	1,485	1,192	90,9
По всем	56,4	0,766	58	34	27,46	753,8	-1,087	-0,232	48,7

Распределение анализируемых величин характеризуется невысоким отрицательным эксцессом и очень слабой правосторонней асимметрией, по своему виду оно несколько отличается от нормального (рис. 51). Преобладающее большинство элементарных бассейнов имеют лесистость

в пределах 60-80%, меньше всего водосборов с лесистостью менее 20%.

Современная площадь лесов в Удмуртской Республике, включая древесно-кустарниковую растительность и болотные массивы, составляет 20859 км² (49,6% от всей площади). По нашим данным, средневзвешенное значение лесистости оказалось несколько завышенным – 51,2%, что объясняется, во-первых, несовершенством методики подсчета и, во-вторых, учетом лесных площадей соседних территорий, поскольку административная граница на значительном протяжении проходит по лесным массивам. Показатели в общем сопоставимы, к тому же наши исследования не требуют точных кадастровых оценок лесных площадей.

Сопоставление карты лесистости (рис. 50) с картой густоты овражной сети (рис. 22) показывает, что максимальная заовраженность наблюдается на водосборах с низкой лесистостью (правобережье Камы, бассейн р.Гойма, низовья р.Иж), менее всего овраги встречаются на правобережье р.Кильмезь, левобережье р.Кама, в верховьях Вятки и Камы, которые отличаются высокой залесенностью территории.

Анализ всего массива данных показывает очень ясную обратную зависимость густоты овражной сети от степени залесенности территории (табл. 4.23).

Таблица 4.23

Средняя густота овражной сети в различных интервалах залесенности

Интервалы лесистости, %	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70	70-80	80-90	90-100
Средняя густота оврагов, м/км ²	264	54	36	14	12	10	5,5	5,3	1,1	0,3
Количество бассейнов	69	91	94	159	138	153	168	178	137	98

Корреляционный анализ также подтвердил наличие существенной обратной связи ($r = -0,374$) между густотой овражного расчленения и величиной лесистости водосборных бассейнов (рис. 52). Характер связи сильно отличается от прямолинейной ($B = 270,6$). Величина корреляционного отношения и коэффициент детерминации оказались существенными ($\eta = 0,592$, $\eta^2 = 0,350$). Близкие результаты получены и для территории востока Русской равнины (Овражная..., 1990).

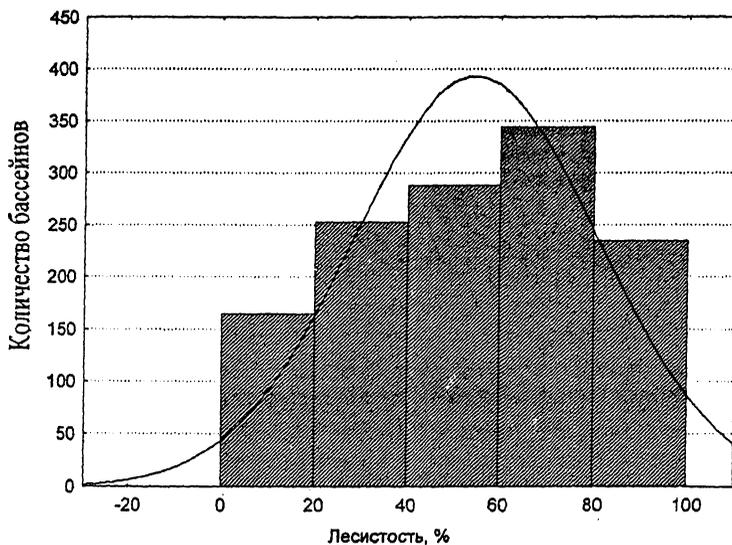


Рис. 51. Распределение элементарных бассейнов по интервалам лесистости территории

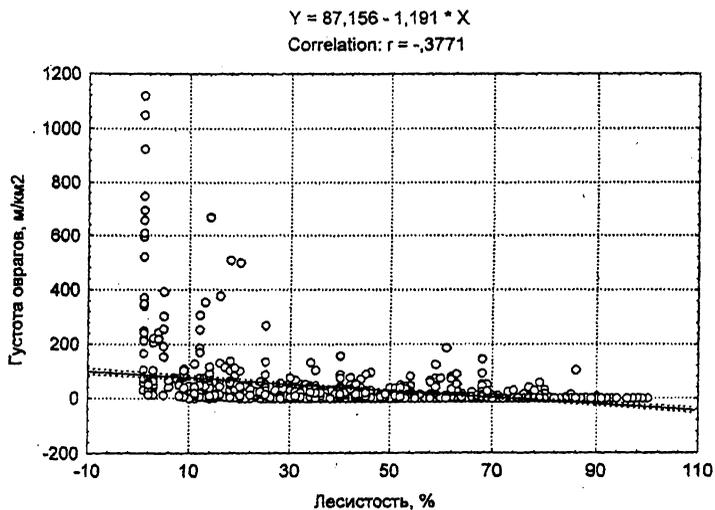


Рис. 52. Зависимость густоты овражной сети от степени залесенности территории

Таким образом, из всех рассмотренных факторов оврагообразования роль лесистости оказалась наибольшей. Поскольку степень залесенности территорий, в отличие от других факторов, в основном определяется хозяйственной деятельностью человека, то антропогенный фактор оказывается ведущим в развитии современной овражной эрозии.

4.7. ХОЗЯЙСТВЕННАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ЧЕЛОВЕКА

Наиболее значительно и своеобразно воздействие, которое оказывает на эрозию хозяйственное использование территории.

Неумеренное уничтожение естественного растительного покрова, ухудшение на пашнях и пастбищах инфильтрационных и водопоглотительных свойств и их противоэрозионной устойчивости, образование на поверхности почв при их обработке и при использовании территории под выпас неровностей, концентрирующих поверхностный сток и усиливающих эродирующую способность стекающей воды, являются главными причинами возникновения и развития современной овражной эрозии.

Вырубка лесов и распашка этих территорий резко изменяет все факторы, определяющие интенсивность эрозии.

В первую очередь это проявляется через увеличение поверхностного половодно-паводочного стока и уменьшение меженного, питающегося подземными водами. Такие изменения в режиме стока многие исследователи связывают с ухудшением фильтрационных свойств почво-грунтов в результате уничтожения естественного растительного покрова и распашки земель (Докучаев, 1877, 1878, 1892; Марш, 1886; Никитин, 1887, 1898; Воейков, 1894; Львович, 1963, 1986; Водогрецкий, 1990; Дедков, Мозжерин, 1996, Курбанова, 1997 и др.). Отдельные авторы (Оппок, 1904; Отоцкий, 1899 и др.) считают, что главной причиной изменения режима стока являются естественные и антропогенно обусловленные изменения климата.

Убедительные доказательства изменений стока дают наблюдения на бассейнах-аналогах, резко различающихся лишь по лесистости их водосборов (Материалы..., 1975). Например, данные по двум парным логам на р.Письмирь (Ульяновское Заволжье) показывают, что в безлесном бассейне слой весеннего стока в 55 раз выше, чем в лесном, а по максимальному стоку безлесный бассейн превосходит лесной почти в

150 раз. Аналогичные результаты получены и на других парных бассейнах Поволжья и Русской равнины.

В.И.Мозжерин (1994), используя методику В.Г.Водогрецкого (1979, 1990), предпринял попытку определения общей величины водного стока и его отдельных составляющих для некоторых рек Среднего Поволжья на период, предшествующий интенсивному хозяйственному освоению территорий. Сопоставив полученные данные с современными, он определил, что освоение водосборов (вырубка лесов и распашка земель) не вызвало заметных изменений общей величины стока. Но значительные изменения коснулись соотношения подземного и поверхностного стока. Доля подземного стока в среднем уменьшилась на 31% по сравнению с доагрикультурными ландшафтами. Одновременно происходило увеличение поверхностного стока и в результате соотношение между подземным и поверхностным стоком снизилось с 0,60 до 0,43.

Близкие результаты по рекам Башкортостана получил В.А.Балков (1982). По его данным соотношение подземного и поверхностного стока за последние 200-250 лет уменьшилось с 0,50 – 0,85 до 0,26 – 0,47.

Резкое сокращение инфильтрации талых и дождевых вод после вырубки лесов и распашки земель ведет к уменьшению питания подземных вод. В этом же направлении влияет увеличение глубины промерзания почв после их распашки. Вследствие этого уровень верхних водоносных горизонтов понижается, местами эти горизонты полностью дренируются. Источники уменьшают свой дебит и даже полностью исчезают (Дедков и др., 1988, 1995).

Антропогенно обусловленное увеличение поверхностного стока и уменьшение сопротивления почвенно-растительного покрова его воздействию вызвало многократное усиление эрозионных процессов и изменило структуру и функционирование системы эрозии.

В доагрикультурное время сток взвешенных наносов не превышал 10-20 т/км²/год, что свидетельствует о слабой эрозии. Всюду преобладала русловая эрозия. По мере сокращения лесистости и увеличения распаханности возрастала эрозия бассейновая – почвенная и овражная. При распаханности 40-50% бассейновая эрозия становится преобладающей, при распаханности более 70%, она формирует 80-90% стока наносов (Дедков, Мозжерин, 1984).

В лесостепи Приволжской возвышенности четырехкратное сокращение лесистости вызвало шестикратное увеличение стока взвешенных наносов малых рек и трехкратное – крупных (Дедков, Мозжерин, 1976). По данным стационарных наблюдений

Э.А.Часовниковой (1987) объем сноса с безлесного бассейна р.Елшанка (Ульяновское Поволжье) в десятки (в 25 – 40) раз больше, чем с залесенного. Особенно сильная эрозия характерна для стыка лесной и лесостепной зон (крайний север Приволжской возвышенности, Предкамье Татарстана и Удмуртии), где модули стока взвешенных наносов достигают 400-500 т/км²/год.

По данным А.Г.Рожкова (1981) имеется тесная зависимость между количеством оврагов и удаленностью их от населенных пунктов. Причем количество оврагов резко сокращается при удалении от сел до 4 км, при дальнейшем возрастании расстояния уменьшение оврагов происходит незначительно.

Лучшим интегральным показателем хозяйственной деятельности человека как фактора развития овражной эрозии является суммарная площадь эрозионно активных или эрозионно неактивных земель в каждом бассейне. Однако получение таких данных для всех элементарных бассейнов представляет собой очень сложную задачу. Поэтому для оценки антропогенного фактора использовался самый доступный показатель - степень залесенности бассейна. Чем интенсивней проявлялась на той или иной территории сельскохозяйственная деятельность человека, тем меньше залесенность. Справедливость этого положения подтверждается данными о сельскохозяйственной освоенности и залесенности как по крупным регионам (табл. 4.24), так и в пределах административных районов Удмуртии (табл. 4.25).

Таблица 4.24

Некоторые характеристики хозяйственной освоенности территории по административным регионам востока Русской Равнины (Овражная эрозия..., 1990)

Регион	Залесенность, %	С/х угодья, %	Пахотные земли, %	Средняя плотность сельского населения, чел/км ²
Пермская обл.	68,0	21,0	13,0	4,7
Кировская обл.	53,5	35,1	22,2	4,6
Удмуртская респ.	48,3	43,3	35,6	14,3
Татарская респ.	16,0	60,7	54,1	17,6
Марийская респ.	56,0	32,4	27,3	10,4
Чувашская респ.	33,0	54,4	44,7	36,6
Ульяновская обл.	28,0	63,3	52,4	11,9

Связь между залесенностью территории и ее распаханностью хорошо прослеживается по административным районам Удмуртии (табл.

4.25) о чем убедительно свидетельствует и высокий коэффициент корреляции между ними ($r = 0.93$).

Таблица 4.25

Некоторые характеристики хозяйственной освоенности территории и густота оврагов по административным районам Удмуртской Республики (по состоянию на 1.01.1996 г.)

Административные районы	Залесенность, %	С/х угодья, %	Пахотные земли, %	Густота оврагов, м/км ²
Алнашский	18,4	72,4	63,2	62,6
Балезинский	57,1	37,2	29,9	0,9
Вавожский	53,9	39,9	32,8	25,9
Воткинский	41,0	45,0	36,8	9,2
Глазовский	45,8	47,8	39,1	1,6
Граховский	35,5	58,5	49,4	61,0
Дебесский	38,7	55,1	46,8	0,9
Завьяловский	41,7	45,2	38,0	23,8
Игринский	66,1	26,1	20,9	0,4
Камбарский	60,3	26,5	18,1	10,4
Караулинский	5,6	71,5	54,4	286,1
Кезский	59,9	34,9	28,3	1,1
Кизнерский	59,0	36,3	30,1	18,9
Киясовский	23,2	70,0	59,1	30,2
Красногорский	64,3	31,5	25,9	0,3
Малопургинский	34,2	56,6	48,5	30,1
Можгинский	41,1	50,6	43,1	21,3
Сарапульский	26,2	63,2	49,9	57,0
Селтинский	65,1	30,4	25,6	5,6
Сюмсинский	73,7	21,4	17,3	5,0
Увинский	59,0	34,6	27,7	11,0
Шарканский	34,9	56,3	49,7	9,3
Юкаменский	27,3	67,6	57,9	6,4
Як-Бодьинский	67,4	26,0	20,7	0,6
Ярский	40,1	53,7	42,1	4,3
Итого:	48,3	43,3	35,6	23,1

Наибольшая густота овражной сети отмечается в южных районах с большим процентом распаханности территорий (Караулинский, Сарапульский, Алнашский, Граховский и Киясовский районы). Овраги встречаются крайне редко в районах, где процент пахотных угодий низкий (Сюмсинский, Игринский, Якшур-Бодьинский, Красногорский, Кезский и Балезинский районы).

Наряду с распахиваемыми склонами, активное развитие оврагов наблюдается на пастбищах с перегруженным выпасом скота, в пределах населенных пунктов, вдоль дорог, трасс ЛЭП, трубопроводов и даже в лесу по местам трелевки древесины.

Таким образом, одним из важнейших факторов овражной расчлененности территории Удмуртии является антропогенный, роль которого проявилась главным образом посредством сведения лесов и последующей распашки земель (Рысин, 1983). Остальные факторы по степени воздействия на густоту овражной сети расположились в следующем порядке: глубина местного базиса эрозии (интегральный показатель совместного влияния длины и крутизны склонов), максимальный суточный слой ливневых осадков 1%-й обеспеченности, мощность делювиально-солифлюкционных суглинков, асимметрия склонов речных долин, максимальные расходы половодья 1%-й обеспеченности. Роль непосредственного влияния оставшихся факторов (слой поповодного и паводочного стока, средние уклоны поверхности, и средние длины склонов долинных и балочных водосборов, эрозионная прочность почвы) не проявляется. Большое значение оказывает и состав горных пород, его вклад более объективно будет оценен в следующем разделе.

4.8. КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА ФАКТОРОВ ОВРАГООБРАЗОВАНИЯ

Значимость многочисленных факторов развития овражной эрозии неодинакова. В результате взаимодействия и взаимозависимости как учтенных, так и неучтенных факторов роль каждого из них может быть занижена или наоборот, завышена.

Чтобы получить более объективную оценку роли рассмотренных факторов оврагообразования необходимо максимально исключить влияние ведущего фактора – залесенности территории. Поэтому на втором этапе анализа рассматривались только те элементарные бассейны, лесистость которых не превышает 25%. Таких бассейнов насчитывается 200, причем распределение значений густоты овражной сети в них оказалось близким к нормальному (рис. 53). Показатели густоты оврагов здесь также заменялись значениями их логарифмов. В пределах выделенных бассейнов сосредоточено 61,4% оврагов от их общего количества и 67,2% по протяженности, что указывает на надежную репрезентативность выборки. Полученная выборка характеризуется

преобладанием водосборов со значением густоты оврагов $30 - 100 \text{ м/км}^2$, их насчитывается 60. Причем здесь оказалось 12 бассейнов с нулевым значением густоты овражной сети и лишь 2 бассейна, где данный показатель превышает 1000 м/км^2 (рис. 53). Выборка отличается сравнительно низкой отрицательной асимметрией ($A = -0,210$) и очень малой величиной эксцесса ($E = -0,129$).

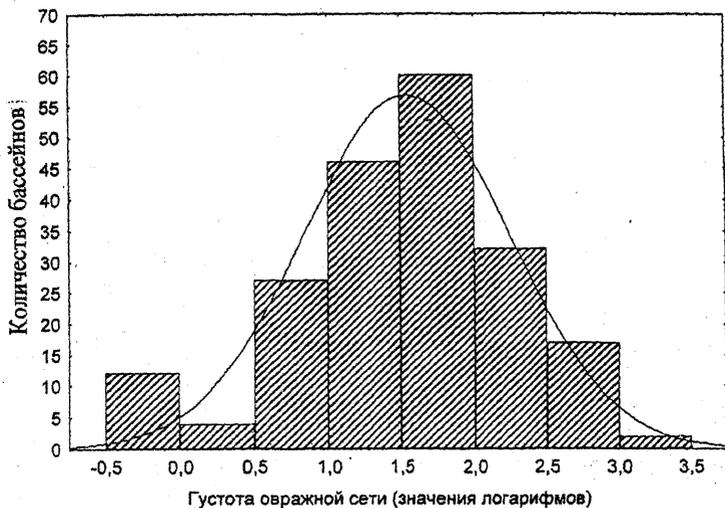


Рис. 53. Распределение элементарных бассейнов по интервалам густоты овражной сети (значение их логарифмов)

Между всеми рассматриваемыми факторами был проведен корреляционный анализ, результаты которого сведены в таблицу в виде корреляционной матрицы (табл. 4.26). Результаты анализа еще раз подтверждают о наличии тесной зависимости между густотой овражного расчленения и интенсивными ливнями редкой повторяемости ($r = 0,55$), асимметрией склонов речных долин ($r = 0,55$), мощностью делювиально-солифлюкционных суглинков ($r = 0,52$), глубиной местных базисов эро-

Таблица 4.26

Матрица коэффициентов прямолинейной корреляции

Густота оврагов и факторы	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1. Густота оврагов	1,00	-0,08	-0,38*	0,14	-0,45*	-0,09	0,40*	-0,01	0,55*	0,52*	0,49*	0,67*	0,55*	0,57*
2. Слой паводочного стока		1,00	0,18*	0,24*	0,14	0,11	0,08	0,08	-0,16*	0,17*	0,04	-0,09	-0,25*	0,07
3. Слой половодного стока			1,00	-0,18*	0,42*	0,58*	-0,34*	-0,26*	-0,30*	-0,69*	-0,43*	-0,36*	-0,28*	-0,24*
4. Длина долинных склонов				1,00	0,01	-0,21*	0,13	0,54*	0,04	0,25*	0,12	0,04	0,02	0,38*
5. Лесистость					1,00	0,22	-0,11	0,00	-0,26*	-0,59*	-0,50*	-0,80*	-0,27*	-0,45*
6. Средний уклон водосбора						1,00	0,07	-0,60*	-0,10	-0,50*	-0,15	-0,17*	-0,18*	-0,36*
7. Глубина базиса эрозии							1,00	-0,01	0,30*	0,23*	0,21*	0,18*	0,11	0,12
8. Длина балочных склонов								1,00	-0,03	0,24*	-0,01	-0,02	-0,04	0,59*
9. Асимметрия склонов									1,00	0,34*	0,34*	0,36*	0,34*	0,23*
10. Мощность суглинков										1,00	0,63*	0,56*	0,55*	0,39*
11. Почвы											1,00	0,50*	0,40*	0,30*
12. Распаханность												1,00	0,64*	0,43*
13. Ливни 1 % обеспеченности													1,00	0,26*
14. Максимальные расходы половодья														1,00

Примечание. Показатели, отмеченные звездочкой, достоверны на уровне не ниже 99,9 %.

зии ($r = 0,40$). Относительно высокой оказалась зависимость густоты оврагов от эрозионной прочности почвы ($r = 0,49$), что прежде всего объясняется, как указывалось ранее, ее тесной связью с распаханностью территории ($r = 0,50$). Особенно обращает на себя внимание возросшая роль максимальных расходов поводного стока ($r = 0,57$), который по степени влияния на анализируемый показатель оказался на втором месте. Несмотря на исключение из анализа бассейнов с лесистостью более 25%, ее влияние остается еще существенным ($r = -0,45$).

Как и прежде, не обнаружена связь густоты овражного расчленения со средними значениями слоев паводочного и поводного стока, длин склонов долинных и балочных водосборов, уклонов элементарных бассейнов. Следует отметить наличие значительной прямой связи между длиной балочных склонов и максимальными расходами поводья ($r = 0,59$), поэтому при исключении влияния последнего обнаруживается наличие существенной положительной связи между густотой оврагов и средними длинами склонов балочных водосборов ($r = 0,49$).

Средние уклоны водосборов обнаруживают тесную связь с мощностью суглинков ($r = -0,50$), которые существенно влияют на показатель овражного расчленения территории. Поэтому для определения частного коэффициента корреляции между густотой овражной сети и средними уклонами водосборов необходимо исключить влияние мощности суглинков. В этом случае отчетливо проявляется обратная связь между рассматриваемыми показателями ($r = -0,47$), объясняется это тем, что наибольшие значения средних уклонов характерны для водосборов с высокой горизонтальной расчлененностью и имеющих короткие склоны, где овраги не встречаются. Длина этих склонов обычно меньше пороговых значений, определяющих условия возникновения оврагов. Об этом свидетельствует и высокий отрицательный коэффициент корреляции между средними уклонами и длинами склонов балочных водосборов ($r = -0,60$).

Поскольку состав горных пород трудно выразить количественно и, следовательно, невозможно обработать корреляционным анализом. Поэтому для оценки роли литологического фактора и определения силы влияния остальных факторов на густоту овражного расчленения применялся однофакторный дисперсионный анализ.

Дисперсионный анализ подтвердил полученные выводы и не внес существенных изменений на оценку роли факторов оврагообразования. Сила влияния литологического фактора оказалась значительной ($\eta^2 = 0,682$), уступающей по величине лишь воздействию

распаханности ($\eta^2 = 0,851$), мощности склоновых суглинков ($\eta^2 = 0,796$) и интенсивным ливням ($\eta^2 = 0,763$).

Модель, положенная в основу факторного анализа, представляет главную компоненту как линейную комбинацию исходных показателей. С точностью до постоянного множителя (равного $\lambda_i^{0,5}$) модель i -й главной компоненты (а общее число таких компонент, как и число показателей, равно m) имеет вид:

$$\lambda_i^{0,5} y_i = w_{i1}x_1 + w_{i2}x_2 + \dots + w_{im}x_m,$$

где y_i – i -я компонента; w_{ij} – нагрузка i -й компоненты на j -й показатель.

Соответственно и каждый показатель определяется линейной комбинацией главных компонент:

$$X_i = \lambda_1^{-0,5} w_{1j}y_1 + \lambda_2^{-0,5} w_{2j}y_2 + \dots + \lambda_m^{-0,5} w_{mj}y_m,$$

где λ_i – собственные числа корреляционной матрицы, соответствующие данному фактору i (Кноринг, Деч, 1989).

В основу интерпретации матрицы нагрузок положена модель, выработанная на основе имеющихся представлений о последствиях влияния различных условий (антропогенных, климатических, геолого-геоморфологических) на овражную расчлененность территории. При этом все многообразие и сложность взаимоотношений природных и природно-антропогенных условий было сведено к четырем факторам (компонентам), которые рассматривались как действующие независимо друг от друга.

Итоговая матрица факторных нагрузок приведена в таблице 4.27, где каждый столбец представлен значениями коэффициентов корреляции между анализируемыми показателями и соответствующими главными компонентами, интерпретируемыми как факторы исследуемой модели. Вес факторов дан под матрицей нагрузок. Анализ веса полученных факторов показывает, что их воздействием можно объяснить более 70% изменчивости значений анализируемых показателей.

Наибольшая роль в изменчивости анализируемых показателей принадлежит первому фактору (ведущий фактор), который оказывает доминирующее влияние на густоту овражной сети ($r = 0,670$). Поскольку данный фактор (компонента) наиболее тесно связан с показателями распаханности ($r = 0,895$) и лесистости ($r = -0,866$) элементарных водосборов, то его следует назвать антропогенным. Кроме того, главная компонента имеет тесную связь с ливневыми осадками ($r = 0,805$) и мощностью склоновых суглинков ($r = 0,674$). Общий вклад

антропогенного фактора, обеспечивающего изменчивость анализируемых показателей, составляет 28,3%. Ведущий фактор (F_1) наиболее тесно связан со следующими переменными:

$$F_1 = (11_{0,895} \cdot 12_{0,805} \cdot 9_{0,674} \cdot 14_{0,670}) / 4_{0,866}$$

Таблица 4.27

Матрица варимаксных факторных нагрузок на четыре главных компоненты, определяющие условия овражного расчленения территории

Условия оврагообразования (переменные)	Главные компоненты (факторы)			
	F_1	F_2	F_3	F_4
Слой паводочного стока (1)	-0,077	-0,055	-0,006	0,812*
Слой половодного стока (2)	-0,338	-0,575	-0,449	0,525
Средняя длина склонов долинных водосборов (3)	-0,015	0,527	0,164	0,447
Лесистость (4)	-	-0,082	0,020	0,126
Средний уклон водосбора (5)	0,866*	-	0,047	0,245
Глубина местного базиса эрозии (6)	0,036	0,860*	0,850*	0,103
Средняя длина склонов балочных водосборов (7)	-0,082	0,871*	-0,057	0,260
Коэффициент асимметрии склонов речных долин (8)	0,343	0,021	0,631	-0,156
Мощность склоновых суглинков (9)	0,674*	0,441	0,269	0,075
Эрозионная прочность почвы (10)	0,644	0,087	0,300	0,097
Распаханность (11)	0,895*	0,030	0,113	0,019
Ливни 1%-й обеспеченности (12)	0,805*	0,033	0,048	-0,171
Максим. расходы половодья (13)	0,410	0,524	0,128	0,399
Густота оврагов (14)	0,670*	0,042	0,523	0,110
Вес факторов, %	28,3	18,6	13,0	10,4

Примечание. Звездочкой отмечены наиболее значимые нагрузки.

На втором месте по силе воздействия на условия оврагообразования стоит фактор, связанный с горизонтальной расчлененностью рельефа (F_2). Этот фактор (компонента) не оказывает влияния на густоту овражного расчленения. Воздействие его опосредовано через показатели 7 (средняя длина склонов балочных водосборов) и 5 (средние уклоны водосборов), связанных между собой обратной зависимостью. Второй фактор имеет следующее взаимоотношение со значимыми переменными:

$$F_2 = 7_{0,871}/5_{0,860}.$$

Следующим по силе воздействия на условия оврагообразования является фактор, определяющий вертикальную расчлененность рельефа (F_3). Данный фактор оказывает значительное воздействие и на густоту овражного расчленения ($r = 0,523$), но в меньшей степени, чем первый. Третий фактор имеет достаточно тесную связь и с показателем 8 (асимметрия склонов речных долин), что свидетельствует о правильной интерпретации выбранной модели. Фактор вертикальной расчлененности рельефа описывается следующими переменными:

$$F_3 = 6_{0,850} \cdot 8_{0,631}.$$

На последнем месте по значимости оказался фактор, наиболее тесно связанный с климатическими показателями, имеющими зональный характер. Климатический фактор (F_4) не оказывает прямого воздействия на густоту овражного расчленения и описывается следующей зависимостью:

$$F_4 = 1_{0,812} \cdot 2_{0,525}.$$

Таким образом, факторный анализ позволил выделить по силе влияния на условия оврагообразования четыре независимых компоненты и выявить наиболее значимые показатели, в наибольшей степени определяющие густоту овражного расчленения территории. Среди них следует назвать следующие: распаханность, лесистость, ливневые осадки редкой повторяемости, глубины местных базисов эрозии, мощность склоновых суглинков, асимметрия склонов речных долин.

Для оценки совместного влияния всех анализируемых факторов и их различных сочетаний использовался множественный регрессионный анализ. Коэффициент множественной линейной регрессии между густотой овражной сети и всеми рассматриваемыми факторами достаточно высокий ($R = 0,879$), с учетом же ведущих 6 факторов коэффициент связи снижается лишь незначительно ($R = 0,804$). Для этих факторов получено следующее уравнение множественной линейной регрессии:

$$Y = -4,723 + 0,044X_1 + 0,029X_2 + 0,008X_3 + 0,006X_4 + 0,020X_5 + 2,79X_6,$$

где Y – показатель заовраженности территории (логарифмы густоты овражного расчленения);

X_1 – распаханность, %;

X_2 – лесистость, %;

X_3 – максимальный суточный слой ливневых осадков 1%-й обеспеченности, мм;

X_4 – глубины местных базисов эрозии, м;

X_5 – мощность склоновых суглинков, м;

X_6 – коэффициент асимметрии склонов речных долин.

Анализ результатов различных методов математической обработки материала позволяет выделить 4 главнейших фактора развития овражной эрозии на территории республики: антропогенный (выражаемый лесистостью и распаханностью территории), гидрометеорологический (интенсивные ливни и максимальные расходы половодья 1%-й обеспеченности), геоморфологический (глубины местных базисов эрозии, асимметрия склонов речных долин, длина и крутизна склонов балочных водосборов) и геологический (состав горных пород и мощность склоновых делювиально-солифлюкционных суглинков).

4.9. О СЕВЕРНОЙ ГРАНИЦЕ ИНТЕНСИВНОЙ ОВРАЖНОЙ ЭРОЗИИ НА ПАХОТНЫХ ЗЕМЛЯХ

Обращает на себя внимание проблема резкого уменьшения (в сотни раз) густоты оврагов на пахотных землях северных районов Удмуртии (бассейны р.Чепца, верховья Вятки и Камы, правобережья р.Кильмезь и др.). Здесь встречаются единичные овраги только на крутых длинных склонах с нарушенным растительным покровом в пределах населенных пунктов или вдоль дорог. Активное развитие овражной эрозии на распаханых водосборах отмечается лишь к югу от указанной территории.

Причину отсутствия овражной эрозии на пахотных землях северных районов Удмуртии нельзя объяснить только их относительно меньшей сельскохозяйственной освоенностью, поскольку здесь имеются отдельные районы (Юкаменский, Дебесский), не уступающие по проценту распаханности земель южным (табл. 4.25).

Гидрометеорологические условия также не могут являться причиной столь резкого уменьшения густоты оврагов на рубеже южнотаежных и подтаежных (смешанных) лесов, поскольку в северном направлении возрастают и объем, и слой стока как талых, так и ливневых

вод. Интенсивность же ливневых осадков и максимальные расходы половодья в северном направлении уменьшаются, что, несомненно, способствует ослаблению овражной эрозии, но не столь резко.

В лесной зоне, как отмечал еще В.И.Масальский (1897), вследствие большой влажности климата стенки оврагов быстро оплывают и зарастают. Но и эта особенность оврагов таежной зоны усиливается постепенно, а не скачкообразно, как густота овражной сети.

Глубина расчленения рельефа (глубина местных базисов эрозии) играет важную роль в развитии овражной эрозии, что подтверждается данными корреляционного и дисперсионного анализов. В республике она уменьшается в северном направлении, что, безусловно, оказывает влияние на величину овражности. Но этот фактор не является главным, поскольку анализ соответствующих карт (рис. 30, 22) показывает, что стократные различия в густоте оврагов между севером и югом республики сохраняются в одинаковых интервалах не только лесистости, но и глубины расчленения рельефа.

Густота овражной сети обнаруживает отчетливую связь с густотой долинно-балочного расчленения (рис. 17, 18, 22). Следствием этой обратной связи является прямая зависимость густоты овражного расчленения от длины долинно-балочно-водораздельных склонов. Для убедительности приведем данные, полученные нами путем обработки почти 7000 речных бассейнов востока Русской равнины (Дедков и др., 1993), где указанная связь проявляется еще отчетливее (табл. 4.28).

Данные таблицы 4.28 показывают уменьшение в северном направлении длины склонов и густоты овражной сети. Однако, если длина склонов изменяется постепенно, то густота овражной сети в одинаковых интервалах лесистости делает резкий скачок близ рубежа смешанных лесов и южной тайги. В южной тайге по сравнению со смешанным лесом длина склонов сокращается в среднем в 1.7 раза, в то время как густота овражной сети в 60 раз. Этот скачок приходится на интервал длины склонов 250-350 м, имеющий, очевидно, пороговое значение.

Кроме того, длина склонов от водораздельной линии до тальвега измерялась непосредственно по крупномасштабным картам и аэрофотоснимкам. Измерялась также длина верхней приводораздельной части склонов, не затронутой овражной эрозией (ширина пояса отсутствия овражной эрозии). Измеренные длины склонов близки к расчетным, но имеют большую дисперсию. Ширина водораздельных поясов отсутствия овражной эрозии колеблется в больших пределах - от 50 до 1000 м и более, составляя в среднем около 300 м, что совпадает с

пороговым значением длины пологих склонов, ниже которого нет овражной эрозии (Дедков и др., 1993). На коротких склонах объем и концентрация стока талых и ливневых вод все еще недостаточны для линейной эрозии, способной образовать овраг. Отсюда следует вывод, что овраги отсутствуют на склонах, длина которых при одинаковой крутизне не превосходит ширину пояса отсутствия овражной эрозии. Уменьшение длины склонов в северной части Вятско-Камского края выступает как главная причина резкого сокращения овражной эрозии на пахотных землях.

Таблица 4.28

Густота овражной сети (К, м/км²), густота долинно-балочной сети (Д, м/км²) и длина долинно-балочных склонов (L, м) на пахотных землях различных зон востока Русской равнины при одинаковых значениях лесистости

Лесистость, %	Лесостепь				Смешанный лес			
	N	K	Д	L	N	K	Д	L
0-10	360	428	832	534	261	452	1222	364
10-20	214	330	931	477	104	348	1178	377
20-30	176	326	976	455	55	232	1149	387
30-40	124	337	925	480	26	371	1242	358
40-50	85	270	877	507	30	212	1168	381
50-60	62	207	889	500	12	158	1200	370
60-70	36	274	853	521	7	126	1183	376
Среднее	-	353	895	498	-	360	1189	375
Лесистость, %	Южная тайга				Средняя тайга			
	N	K	Д	L	N	K	Д	L
0-10	20	11	2434	183	6	0.7	2024	220
10-20	27	23	2054	216	17	1	2266	196
20-30	62	5	2105	211	31	2	2393	186
30-40	107	5	1905	233	61	3	2447	182
40-50	111	6	1993	223	70	2	2355	189
50-60	113	6	1816	245	68	1	2233	200
60-70	130	3	1733	256	97	2	2313	192
Среднее	-	6	1889	224	-	2	2327	191

Примечание. N - количество речных бассейнов, по которым определялась густота овражной и долинно-балочной сети. Средняя площадь бассейнов от 34 до 76 км².

Другая важная причина изменения интенсивности овражной эрозии на пахотных землях рассматриваемой территории - распространение плейстоценовых склоновых делювиально-солифлюкционных лессовидных суглинков - самых легко эродируемых здесь пород. Наибольшие мощности и самое широкое распространение

эти суглинки имеют на крайнем юге республики, в северном направлении они постепенно сокращаются и в верховьях рек Вятки и Камы практически полностью исчезают. Севернее зоны их распространения склоны сложены пермскими и мезозойскими глинами, а также моренными суглинками, противозерозионная стойкость которых значительно выше, чем у лессовидных суглинков.

С развитием плейстоценовых делювиально-солифлюкционных шлейфов связана климатическая (инсоляционная) асимметрия склонов речных долин. Степень ее выраженности прямо влияет на овражную эрозию. Хорошо инсолируемые склоны благоприятны для овражной эрозии вследствие их большой крутизны, а противоположные "теньевые" склоны - благодаря развитию на них лессовидных суглинков. Выраженность асимметрии склонов уменьшается в северном направлении и это также влияет на сокращение овражной эрозии.

Таким образом, основными факторами, определяющими овражное расчленение изучаемой территории, являются высокая степень земледельческой освоенности, значительный неравномерный во времени поверхностный сток воды, достаточная для возникновения линейной эрозии: длина и крутизна склонов, зависящие от густоты и глубины долинно-балочного расчленения, широкое распространение легко размываемых лессовидных суглинков и глинистых пород.

4.10. ЗОНАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ РАЗВИТИЯ ОВРАГОВ

Овражная эрозия развивается во всех ландшафтных зонах востока Русской равнины. Самая интенсивная современная овражная эрозия характеризует лесостепь и степь, что связано с наибольшей земледельческой освоенностью этих зон. Естественная овражная эрозия в ограниченных масштабах также может проявляться во всех зонах, но самые благоприятные условия для ее развития существуют, как отмечал еще Л.С.Берг (1947), в полупустынях и пустынях.

В различных природных зонах развитие овражных форм протекает неодинаково (Косов, 1962; Любимов, 1970, 1998 и др.). При этом особенно значительны различия в эволюции оврагов в лесной и пустынно-полупустынной зонах.

В лесной зоне, как отмечал еще В.И.Масальский (1897), оврагов мало даже на пахотных землях. Исключением является лишь южная подзона этой зоны (Овражная..., 1990). Возможные причины слабого развития овражной сети на распаханых возвышенностях лесной зоны нами были рассмотрены в предыдущем разделе.

Другой особенностью образующихся в лесной зоне немногочисленных оврагов является сравнительно быстрое прохождение цикла развития. Обвально-осыпная стадия эволюции овражных склонов, характерная для врезающихся оврагов, вскоре сменяется стадией оплывания склонов, ведущей к скорому превращению оврагов в молодые балки (лога). Интенсивное оплывание и оползание склонов оврагов лесной зоны было замечено еще В.И.Масальским (1897).

Иначе развиваются овраги в пустынях и полупустынях. Они особенно многочисленны в лессах, суглинках и глинах. Овраги длительное время сохраняют крутые медленно осыпающиеся склоны и свежий морфологический облик (Маккавеев, 1955; Косов, 1962; Дедков, 1987, 1990; Graf, 1988; Нигматов, 1995; Любимов, 1998 и др.). Овраги образуются здесь во время очень редких сильных ливней. В разделяющий ливни сухой период, длительность которого может достигать нескольких лет, овраги сохраняют стабильность. Эрозии нет, осыпание склонов происходит очень медленно, оплывание и оползание в сухом климате отсутствует. Б.П.Любимов (1998) удачно определил такое состояние между ливнями как “консервацию”. Вполне очевидно, что обилие и свежесть эрозионных форм в аридной зоне есть следствие очень медленного, в отличие от лесной зоны, развития этих форм в связи со слабой денудацией их склонов. При этом овраги сохраняют V – образный поперечный профиль и симметричность склонов.

Промежуточные зоны – лесостепная и степная, имеют свои особенности развития оврагов. Овражная эрозия в этих зонах в основном есть следствие уничтожения человеком естественной растительности и распашки земель. На распахиваемых возвышенностях овражная сеть отличается большой густотой, достигающей 1 – 2 км/км². Эволюция овражной сети происходит здесь не так быстро, как в лесной зоне, но и не так медленно, как в аридной.

Характерной особенностью оврагов в этих зонах является зависимость эволюции склонов от их экспозиции. В стадии промоины и интенсивного врезания роль экспозиции мало заметна. Но дальнейшее развитие противоположных склонов во многом зависит от экспозиции и определяемого ею гидрометеорологического режима. Более сухие и прогреваемые склоны южной и западной экспозиции очень медленно проходят осыпную стадию и длительное время сохраняют значительную (30 – 45°) крутизну. Для них характерен аридный тип эволюции. На теневых склонах северной и восточной экспозиции осыпная стадия сравнительно быстро сменяется развитием сплывин, оползней, течением грунта – т.е. процессов, более характерных для овражных склонов лесной

зоны. Менее инсолируемые склоны под действием упомянутых процессов выполаживаются и так возникает гидротермическая инсоляционная асимметрия овражных склонов, отмечавшаяся многими исследователями (Масальский, 1897; Ферхмин, Докучаев, 1884; Мазарович, 1927; Спиридонов, 1956; Николаев, 1956; Дедков, 1970 и др.). Нами асимметрия овражных склонов рассматриваемого типа наблюдалась на обширном пространстве всего востока Русской равнины – от южной тайги до полупустыни. При этом крутизна хорошо инсолируемого склона обычно не менее $25 - 30^{\circ}$, а различия в крутизне противоположных склонов могут достигать двух – трехкратной величины.

В рассматриваемой современной инсоляционной асимметрией овражных склонов можно видеть некоторую аналогию с инсоляционной солифлюкционной асимметрией долин малых рек и крупных балок, сформировавшейся на Русской равнине в условиях многолетней мерзлоты в перигляциальном климате плейстоцена (Дедков, 1970; Бутаков, 1986 и др.). Последняя, однако, выражена более резко и различия в крутизне противоположных склонов обычно достигают 10 – 15 кратной величины. Эти различия более значительны в той мере, в какой перигляциальная солифлюкция, сформировавшая шлейфы мощностью до 10 – 15 м, превосходят современное оплывание и слабое течение грунта, захватывающие овражный склон на глубину лишь в дециметры или немногие метры. Имеет значение и фактор времени: современное оплывание овражных склонов охватывает лишь десятки или первые сотни лет, перигляциальная солифлюкция – тысячи и десятки тысяч лет.

Таким образом, в лесостепи и степи в развитии овражных склонов проявляется известное в геоботанике «правило предварения» (Вальтер, Алехин, 1936), в соответствии с которым на более прогреваемых склонах появляются представители более южной зоны, на теневых менее прогреваемых склонах – представители более северной зоны. Следует полагать, что это относится не только к представителям флоры соседних зон, но и к господствующим в этих зонах склоновым процессам.

Полевые экспедиционные наблюдения показали, что инсоляционная асимметрия овражных склонов еще отчетливо проявляется в подтаежной зоне (зона смешанных хвойно-широколиственных лесов), в подзоне южной тайги она встречается реже и постепенно исчезает на широте г.Глазова вместе с интенсивным проявлением овражной эрозии на пахотных землях.

5. МЕХАНИЗМ И ДИНАМИКА СОВРЕМЕННОЙ ОВРАЖНОЙ ЭРОЗИИ

5.1. МЕТОДИКА ИЗУЧЕНИЯ ДИНАМИКИ ОВРАГООБРАЗОВАНИЯ

Карты густоты и плотности оврагов показывают общую пораженность территории процессами линейной эрозии временных водотоков. Эта пораженность является итогом длительного развития процессов, зачастую охватывающего несколько столетий. Поэтому эти карты овражности не позволяют оценить современную динамику эрозионных процессов. Для данной цели необходимо определять скорости роста оврагов в различных условиях в настоящий момент.

Современную динамику оврагов можно оценивать различными характеристиками:

- линейными (прирост вершины оврага, изменение ширины, глубины);
- площадными (увеличение площади, занятой оврагом);
- объемными (определение объема материала, выносимого оврагом).

Поскольку второй и третий показатели являются производными от первых, то чаще всего используются данные по линейным характеристикам - обычно вершинный прирост (Соболев, 1948; Косов, 1960, 1963; Рожков, 1968; Миронова, Сетунская, 1974; Косов и др., 1976, Коротина, 1981; Сетунская, 1986; Бутаков и др., 1987; Рысин, 1988, 1994 и др.).

В целях изучения механизма оврагообразования и получения количественных характеристик их сезонного и ежегодного приростов, начиная с 1978 г. нами ведутся стационарные наблюдения за ростом 168 оврагов на 28 ключевых участках, расположенных в различных районах республики (рис. 54).

Определение скорости роста оврагов производится путем измерения расстояния от вершины оврага до предварительно установленного репера. В качестве реперов часто используются специально маркированные деревья, растущие по линии роста оврага или в его днище, а также искусственные объекты (столбы различного назначения, строения и др.). Кроме этого осуществляется продольное и поперечное профилирование оврага на различных участках,

устанавливается мощность и состав размываемых пород, степень задернованности его склонов и другие характеристики. На большинстве стационаров (93 оврага) наблюдения проводились один раз в год (обычно в июле), а на 10 ключевых участках (46 оврагов) измерения осуществлялись дважды: в конце мая или начале июня, после схода талых вод (до начала ливневых дождей) и в октябре или начале ноября, после окончания сезона летне-осенних ливней. С 1993 г. на 10 оврагах, расположенных вблизи г.Ижевска проводятся дополнительные наблюдения летом после выпадения сильных ливней. Изучение оставшихся 29 оврагов осуществляется эпизодически, через 2-3 года (рис. 54).

Наблюдениями охвачены различные типы оврагов, среди которых преобладают первичные (58,9%), из них чуть больше половины приводораздельных. Среди вторичных оврагов преобладают вершинные (62,3%), очень низка доля пойменных оврагов (табл. 5.1). Количество оврагов на стационарах колеблется от 1 до 16.

Основные морфометрические характеристики оврагов и их водосборов по ключевым участкам представлены в приложении 1. Номера ключевых участков (полевых стационаров) соответствуют их обозначению на картосхеме (рис. 54).

На начальном этапе изучались преимущественно активно растущие овраги, в настоящее время они находятся на различных стадиях развития, некоторые прекратили свой рост. Кроме них в наблюдения вовлекаются и вновь появившиеся овраги или отвершки, поэтому количество изучаемых оврагов возрастает. Увеличилось и количество ключевых участков.

Для определения среднегодового прироста оврагов в период, предшествовавший стационарным наблюдениям, использовались контактные аэрофотоснимки (АФС) масштабов 1:17000-30000 залетов 1959 и 1970-х гг., а также аэрофотопопланы масштаба 1:10000 различных лет аэросъемок (рис.55, 56). Применение АФС позволяет получить среднегодовые показатели прироста оврагов за интервал времени, прошедший между двумя повторными аэрофотосъемками.

Среднегодовой прирост оврага определяется как отношение суммарного прироста всех его растущих вершин с отвершками к количеству этих вершин. Скорость роста оврагов выражается в м/год с точностью до 0.01 м. Затем рассчитывается среднее значение скорости оврагообразования для ключевого участка за год и многолетний период.

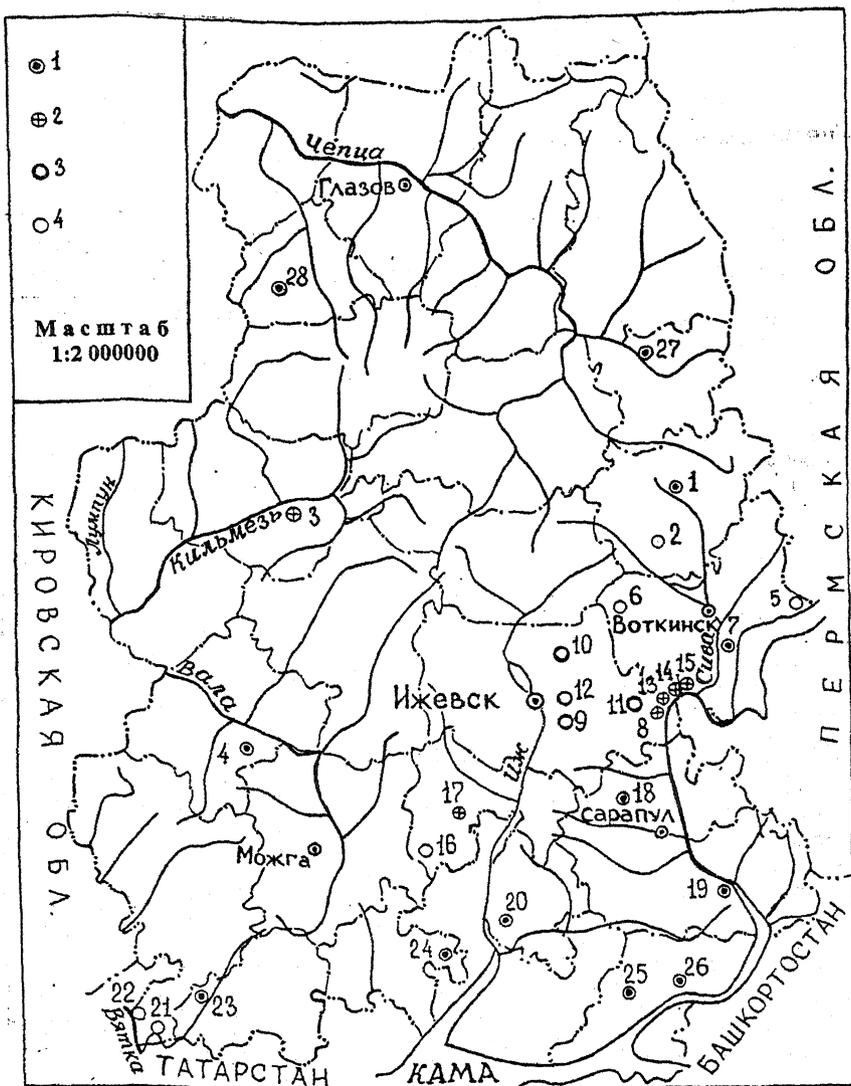


Рис. 54. Расположение ключевых участков (стационаров) по изучению механизма и динамики оврагообразования.

Условные обозначения: 1 – наблюдения на стационарах ежегодные (1 раз в год); 2 – сезонные (2 раза в год); 3 – многократные (после ливней); 4 – эпизодические (через 2 – 3 года)

Таблица 5.1

Соотношение различных типов оврагов по ключевым участкам
(стационарам)

Стационары	Количество оврагов					
	первичные			вторичные		
	прибало- лочные	придо- линные	приво- раздельные	пойме- нные	дон- ные	верши- нные
1. Пужьгурт	2	5	1	1	5	2
2. Ст. Быги	-	-	1	-	-	-
3. Селты	-	5	-	-	-	-
4. Бол. Волково	-	-	1	-	3	1
5. Степаново	-	2	3	-	-	-
6. Черная-Светлое	-	-	2	-	5	-
7. Фертжки	-	-	1	-	-	7
8. Макарово	-	1	-	-	-	2
9. Мещеряки	-	-	1	-	-	-
10. Ягул	-	-	2	-	1	1
11. Забегалово	-	1	2	-	-	1
12. Ст. Мартьяново	-	-	1	-	-	-
13. Докша	-	6	-	-	-	-
14. Поваренки	1	-	2	-	-	4
15. Сидоровы Горы	-	3	3	-	-	-
16. Ниж Юри	-	-	1	-	-	1
17. Курегово	5	-	1	-	3	1
18. Девятово	-	1	1	-	-	-
19. Мазунино	3	2	-	-	-	1
20. Мушак	2	-	5	-	-	-
21. Бажениха	-	2	7	-	-	-
22. Крымская Слудка	-	-	3	-	-	2
23. Русский Куюк	-	-	7	-	1	-
24. Варжи Ятчи	-	4	1	-	5	5
25. Кулюшево	3	-	3	-	-	10
26. Вятское	-	-	-	-	-	5
27. Варжи	-	-	1	-	-	-
28. Муляино	1	-	-	-	2	-
Итого:	17	32	50	1	25	43

5.2. ПРОСТРАНСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ СКОРОСТЕЙ РОСТА ОВРАГОВ

Анализ полученных данных свидетельствует о большом диапазоне средних скоростей роста оврагов за последние три с половиной

десятилетия. При этом имеются существенные различия как между первичными (прибалочными, придолинными и приводораздельными), так и вторичными (донными и вершинными) оврагами (табл. 5.2). По данным стационарных наблюдений, наибольшие различия наблюдаются среди первичных оврагов. Наименьшие значения скоростей роста за многолетний период характерны для стационаров у с. Крымская Слудка Кизнерского района (0,2 м/год), с. Девятово (0,3 м/год), с. Мазунино Сарапульского района (0,35 м/год), с. Степаново Воткинского района и д. Ст. Мартьяново Завьяловского района (0,4 м/год).

Большинство изучаемых здесь оврагов достигли пределов своего развития и прекратили свой рост. Часть вершин оврагов достигла относительно ровных приводораздельных участков или размывает очень прочные коренные породы. Некоторые овраги снизили темпы роста за счет резкого искусственного уменьшения их водосборной площади (противоэрозионные сооружения, строительство дорожной насыпи и др.). Максимальные средние многолетние скорости роста отмечаются у с. Мушак Киясовского района (7,3 м/год) и у д. Старые Быги Шаржанского района (4,6 м/год). Средняя скорость роста по всем первичным оврагам за анализируемый период оказалась невысокой – 1,26 м/год.

Для вторичных оврагов столь резкого различия средних скоростей не наблюдается. Очень медленный рост вторичных оврагов за многолетний период характерен для ключевых участков у с. Мазунино (0,3 м/год) и у д. Фертики Воткинского района (0,4 м/год). Их малые скорости роста легко объясняются, поскольку они находятся на последней стадии развития и интенсивно зарастают. Максимальные средние скорости роста зафиксированы у пяти донных оврагов на стационаре близ с. Варзи-Ятчи (4,0 м/год), с учетом вершинных их среднее значение существенно уменьшается (2,3 м/год). Интенсивный рост оврагов наблюдается также у д. Бол. Волково Воткинского района (2,8 м/год). Средняя скорость роста вторичных оврагов несколько выше (1,35 м/год), чем у первичных. Относительно низкие значения средних скоростей роста вторичных оврагов обусловлены медленным развитием вершинных.

Какой-либо пространственной дифференциации средних скоростей не наблюдается. Обычно небольшие скорости прироста соседствуют со значительными и это характерно для многих районов республики. Причем высокие скорости роста могут наблюдаться и на участках со слабой овражной расчлененностью, а территории с густой овражной сетью часто характеризуются низкими скоростями оврагообразования.

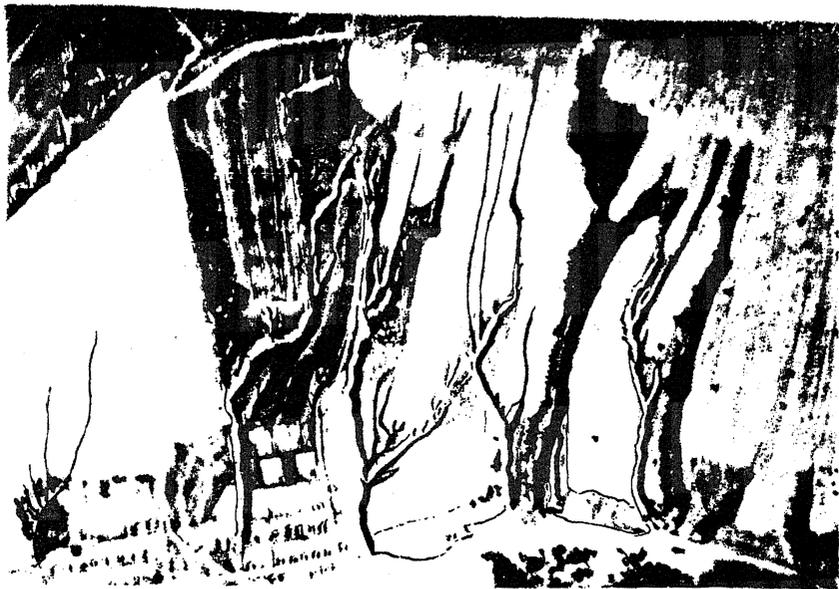


Рис. 55. Овражная сеть на ключевом участке у д.Бажениха Кизнерского района по данным аэросъёмки 1959 г.

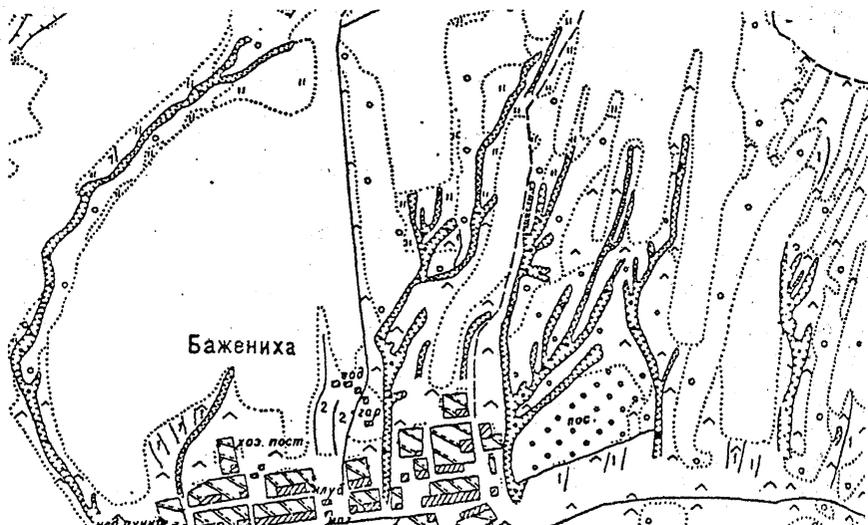


Рис. 56. Овражная сеть на ключевом участке у д.Бажениха Кизнерского района по данным аэросъёмки 1983 г.

Таблица 5.2

Средние скорости роста оврагов по данным стационарных наблюдений за многолетний период

Ключевые участки	Период наблюдений, годы	Количество оврагов	Средние скорости роста, м/год		
			первичные	вторичные	по всем
1. Пужьегурт	1985-1997	16	0,7	1,6	1,2
2. Ст. Быги	1978-1997	1	4,6	-	4,6
3. Селгы	1978-1997	5	0,6	-	0,6
4. Бол. Волково	1978-1997	5	2,0	2,8	2,6
5. Степаново	1978-1997	5	0,4	-	0,4
6. Черная - Светлое	1978-1997	7	0,85	2,1	1,7
7. Фертики	1993-1997	8	2,4	0,4	0,7
8. Макарово	1983-1997	3	2,1	1,7	1,8
9. Мешеряки	1978-1997	1	0,8	-	0,8
10. Ягул	1978-1997	4	0,45	0,85	0,65
11. Забегалово	1991-1997	4	1,3	0,9	1,2
12. Ст. Мартьяново	1978-1997	1	0,9	-	0,9
13. Докша	1978-1997	6	0,65	-	0,65
14. Поваренки	1983-1997	7	0,8	0,55	0,7
15. Сидоровы Горы	1983-1997	6	0,6	-	0,6
16. Ниж. Юри	1978-1997	2	0,3	1,8	1,05
17. Курегово	1978-1997	10	1,2	1,35	1,3
18. Девятово	1978-1997	2	0,3	-	0,3
19. Мазунино	1978-1997	6	0,34	0,3	0,33
20. Мушак	1978-1997	7	7,3	-	7,3
21. Бажениха	1978-1997	9	0,8	-	0,8
22. Крымская Слудка	1978-1997	5	0,2	0,50	0,34
23. Русский Куюк	1978-1997	8	1,2	0,6	1,1
24. Варзи Ятчи	1978-1997	15	0,4	2,3	1,7
25. Кулюшево	1978-1997	16	0,8	0,55	0,65
26. Вятское	1978-1997	5	-	0,8	0,8
27. Варни	1992-1997	1	0,1	-	0,1
28. Муллино	1992-1997	3	0,6	3,2	2,3
Итого:		168	1,26	1,35	1,29

При характеристике средних скоростей роста оврагов очень важно знать их соотношение по стадиям развития. Выше указывалось, что на первых двух стадиях овраги характеризуются очень высокой интенсивностью развития, которая резко снижается на последних. Многие из исследуемых оврагов в настоящее время находятся в стадии выработки профиля "равновесия" (43,5%), большинство оврагов все еще в стадии активного развития (45,2%) с максимальными скоростями роста (табл. 5.3). Лишь несколько донных оврагов находятся в стадии зарождения, их малые скорости роста связаны с тем, что некоторые из

них, возможно, пройдут укороченный цикл развития и затухнут на начальном этапе. Стадия затухания характерна для 14 изучаемых оврагов, которые в последние годы прекратили свой рост и активно зарастают.

Таблица 5.3

Соотношение оврагов на стационарах по стадиям развития и их средние скорости роста

Стадии развития	Первичные овраги		Вторичные овраги	
	Средняя скорость, м/год	Количество оврагов	Средняя скорость, м/год	Количество оврагов
I	-	-	1,96	5
II	2,25	44	2,03	32
III	0,52	46	0,62	27
IV	0,19	9	0,32	5
По всем:	1,26	99	1,35	69

Различия средних многолетних скоростей по отдельным оврагам еще более значительны. Рекордсменом в данном случае является приводораздельный овраг, развивающийся в делювиально-солифлюкционных лессовидных суглинках в 0,5 км восточнее с. Мушак Киясвского района. Его средняя скорость роста за 15 - летний период развития составила 40,4 м/год. Длина его от устья до вершины, измеренная по тальвегу в 1997 году, была равна 606 м. Глубина вреза в нижней части достигает 12-15 м, ширина до 20-25 м, крутизна стенок иногда превышает 50°. Овраг вскрыл водоносный горизонт и на его дне образовался постоянный водоток.

Среди вторичных оврагов наибольшей средней многолетней скоростью выделяется донный овраг, растущий в древней балке в 2 км южнее с. Варзи-Ятчи со средней скоростью 12,4 м/год за 20 - летний период. Глубина вторичного вреза достигает 5-7 м, ширина на отдельных участках превышает 12-15 м. Размывает рыхлые балочные отложения преимущественно суглинистого состава.

Наименьшими средними скоростями роста (0,1-0,2 м/год) характеризуются овраги, находящиеся в стадии затухания, они могут быть различного типа и встречаются на различных стационарах. В отдельных случаях такие низкие скорости могут иметь овраги и на третьей стадии развития, если они размывают прочные коренные породы.

За прошедший 1997 г. суммарный прирост всех исследуемых оврагов достиг 126 м, что в среднем составило 0,75 м на каждый овраг. Наиболее активный рост оврагов отмечался по следующим ключевым участкам: "Старые Быги" (9,6 м/год), "Муллино" (3,5 м/год), "Макарово" (2,45 м/год), "Волково" (2,24 м/год) и "Мушак" (1,33 м/год).

При анализе годового прироста по отдельным оврагам также выделяется Быгинский приводораздельный овраг № 17 (9,6 м/год), несколько уступает ему Муллинский донный овраг № 167, выросший на 7,5 м. На 6,7 м вырос в длину Макаровский придольный овраг № 48. Ранее упоминавшийся Мушакский приводораздельный овраг № 106 разрушил дорожную дамбу и в настоящее время рост его вершины сдерживает корневая система древесно-кустарниковой растительности придорожной лесополосы (6,6 м/год). Значительными темпами продолжают развиваться Куреговский донный овраг № 90 (3,1 м/год), Волковский донный овраг № 25 (2,9 м/год), Светлянский донный овраг №39 (2,9 м/год), Вятский вершинный овраг № 163 (2,8 м/год) и Кулюшевский прибалочный овраг № 149 (2,6 м/год). Угрожающе продолжается вершинный размыв Фертиковских оврагов №№ 42,44,47 (1,7 - 2,3 м/год).

Медленный рост оврагов отмечался на ключевых участках "Варни" (0,06 м/год), "Пужьегурт" (0,15 м/год), "Сидоровы Горы" (0,15 м/год), "Ягул" (0,16 м/год), "Докша" (0,24 м/год) и "Поваренки" (0,26 м/год). Здесь на некоторых оврагах в последние два года прироста вообще не наблюдалось. Таких оврагов по всем стационарам в настоящее время насчитывается 19. В годы с экстремальными условиями поверхностного стока ныне заросшие овраги могут возобновить свой рост, поэтому мы их не исключаем из наблюдения.

5.3. ВРЕМЕННОЙ АНАЛИЗ ИНТЕНСИВНОСТИ ОВРАГООБРАЗОВАНИЯ

Средние показатели прироста оврагов в год дают слишком обобщенную характеристику интенсивности эрозионного процесса, они не позволяют вскрыть динамику процесса, рассмотреть его развитие во времени. Для этого необходим анализ конкретных ежегодных и сезонных величин прироста оврагов. К настоящему времени для территории Удмуртии имеется 20 - летний ряд непрерывных стационарных наблюдений, о чем указывалось выше. Это наиболее длительный ряд на востоке Русской равнины (Овражная эрозия..., 1990).

Анализ данных показывает, что в росте оврагов за исследуемый период выявляется ряд закономерностей, характерных и для соседних с республикой регионов.

Во-первых, отчетливо наблюдается неравномерный, пульсационный характер роста оврагов. Скорости прироста вершин от

года к году могут изменяться в несколько раз, вплоть до полного затухания процесса на отдельных ключевых участках. Снижение активности оврагообразования отмечалось в 1981, 1983-1984, 1986-1987, 1989, 1993 и 1996 гг. Активизация же овражной эрозии происходила в 1979, 1982, 1985, 1990-1992 и 1994 гг. (табл. 5.4). Такой пульсационный характер роста оврагов в большинстве случаев обусловлен влиянием гидрометеорологических условий, о чем подробнее будет рассмотрено в следующем разделе.

Таблица 5.4

Динамика средних скоростей роста оврагов (V , м/год) за многолетний период по всем стационарам

Годы	По данным АФС		По данным стационарных наблюдений				
	1959-1970	1970-1980	1978	1979	1980	1981	1982
V , м/год	2,4	1,9	1,4	2,8	1,5	1,3	1,6
По данным стационарных наблюдений							
1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990
0,5	0,6	1,3	0,9	0,6	1,3	1,1	1,9
По данным стационарных наблюдений							
1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1978-1997
2,3	1,6	1,2	1,8	1,1	0,35	0,75	1,3

Во-вторых, кроме пульсации скоростей выявляется и их затухание во времени. Особенно отчетливой эта тенденция становится при дополнении данных стационарных наблюдений средними скоростями, полученными за предыдущий период по аэрофотоматериалам. Эта тенденция хорошо прослеживается для Ульяновской области и соседней республики Татарстан (Эрозионные..., 1990). По результатам измерений 120 оврагов в Удмуртии в 1959-1970 гг. их средняя скорость прироста составила 2,4 м/год. В 1970-1980 гг. она уменьшилась до 1,9 м/год, а за период 1980-1997 гг. на тех же ключевых участках уже составила 1,21 м/год (табл. 5.4). Таким образом, средняя скорость роста оврагов за 38 лет уменьшилась почти вдвое. Следует иметь в виду, что в анализ включались и вновь возникшие овраги в пределах стационаров, поэтому указанная тенденция объективна в целом для всего региона.

Наблюдается значительное уменьшение роста оврагов в 1980-е гг., что возможно связано с влиянием разнообразных противоэрозионных и почвозащитных мероприятий, которые в данный период осуществля-

лись в республике в больших масштабах. С 1990 г. активность оврагообразования вновь существенно возрастает, но средние скорости их роста не достигают соответствующих показателей периода до 1980 г. Здесь также важно учесть то обстоятельство, что в анализируемый ранний период (1959-1980 гг.) попадают два года с экстремально высоким весенним половодьем (1959 и 1979 гг.), обеспечившим "вспышку" активности оврагообразования. Кроме того, не следует забывать еще одну причину - естественную стадийность эрозионного процесса. Как указывалось выше, овраги энергично развиваются лишь на первых этапах своего развития, а в последующем наблюдается плавнопульсационное затухание эрозионного процесса. Этот вывод хорошо подтверждают результаты экспериментального изучения изменения параметров оврагов (Эрозионные..., 1984).

Материалы многолетних стационарных наблюдений и анализ аэрофотоматериалов разных лет залетов позволяют оценить продолжительность активного развития оврагов в 15-20 лет на юге Удмуртии (подтаежная зона) и около 10 лет в северных районах (южная тайга). Сокращается в северном направлении и продолжительность стадий развития оврагов вследствие активизации склоновых процессов и их быстрого зарастания. В естественных условиях затухание эрозионного процесса происходит медленно и плавно, сопровождаясь формированием на склонах и вершине оврага прочной дернины, устойчивой к последующему размыву. Полученные данные согласуются с исследованиями А.И.Скоморохова (1981) в Курской области, где период активного роста оврагов в лесовидных суглинках составляет в среднем 23 года. Общая продолжительность существования оврага от первой до последней его стадии в подтаежной зоне составляет около 75 - 100 лет, в условиях южной тайги она сокращается в среднем до 50 лет. В лесостепной зоне продолжительность "жизни" оврага возрастает и составляет в среднем 100-150 лет (Овражная..., 1990). В более аридных условиях существование оврагов может затянуться на многие сотни лет, о чем упоминалось в предыдущей главе.

Таким образом, фактор времени играет существенную роль в развитии овражной эрозии и это необходимо учитывать как при оценке и прогнозировании оврагоопасности территории, так и проектировании противоэрозионных мероприятий.

5.4. ОЦЕНКА ФАКТОРОВ СОВРЕМЕННОГО РОСТА ОВРАГОВ

5.4.1 Общая характеристика

Оврагообразование - это очень сложный, многофакторный процесс, причем на разных стадиях развития роль этих факторов может существенно меняться. Основная причина современного развития оврагов - хозяйственная деятельность человека, приводящая к изменению почвенно-растительного покрова на значительных площадях. Наряду с антропогенным, ведущими факторами роста оврагов являются: состав размываемых пород, геоморфологические (уклоны, длины линий стока) и гидрометеорологические условия.

Данные, приведенные в таблицах 5.3 и 5.4, свидетельствуют, что средние скорости роста оврагов в значительной степени определяются их типом и стадией развития. Более высокие скорости роста вторичных оврагов объясняются тем, что к их вершине подходит уже сконцентрированный водный поток, собранный со значительной площади и обладающий большой размывающей силой. Подсчеты показывают, что площади водосборов вторичных оврагов (особенно донных) нередко на один, а иногда и на два порядка больше, чем первичных. Кроме того, вторичные овраги врезаются в рыхлые четвертичные отложения, заполняющие древние эрозионные формы, с низкой противоэрозионной устойчивостью. О причинах существенного различия скоростей роста оврагов на разных стадиях их развития указывалось в предыдущих разделах. Поэтому при оценке роли факторов роста оврагов необходимо учитывать тип оврага и стадию его развития.

Среди всех типов оврагов наибольшей активностью отличаются те, которые имеют при вершине эрозионный уступ. Высота его может колебаться от 0,5 - 1,0 м до 3 - 5 м и даже больше. Чаще всего эрозионный уступ с водобойным колодцем наблюдается в лессовидных суглинках (рис. 14), но встречается и в коренных породах (рис. 12). Во всех случаях склон или днище ложбины выше имеют дернину, часто она образует нависающий карниз. Дерновый слой резко увеличивает противоэрозионную устойчивость грунта и для размыва его требуется значительная концентрация стока талых или ливневых вод. Наиболее интенсивный размыв происходит весной, поскольку верхняя часть уступа при снеготаянии бывает еще в промерзшем состоянии, а нижняя часть с водобойным колодцем под мощным снежным покровом практически не промерзает и при таянии снега находится в переувлажненном состоянии.

Талые поверхностные воды с водосбора устремляются водопадом в эрозионный уступ, образуя водобойный “котел”, где происходит интенсивный размыв переувлажненного грунта и формируется эрозионная ниша округлой формы с нависающим над ним карнизом из дернины и слоя промерзшего грунта (рис. 11). С увеличением размера ниши наступает такой момент, когда нависший карниз под действием силы тяжести обрушивается вниз, рыхлый материал легко размывается и выносится водным потоком и одновременно формируется новый эрозионный уступ с нишей. Таким образом происходит рост оврага с эрозионным уступом при вершине, который обычно, однажды возникнув, сохраняется длительное время.

На пахотных землях постепенно концентрирующийся сток сразу же начинает эродировать и вначале образуются небольшие формы размыва (размоины), которые ниже по склону постепенно переходят в промоины и затем в овраг. При этом как в размоинах, так и в промоинах наблюдается серия небольших эрозионных уступов в виде ступеней с водоворотными “мини-котлами” при них. Высота уступов при начальных формах размыва колеблется в пределах нескольких сантиметров и в промоинах достигает до 1,0 – 1,5 м. На первых стадиях развития этих форм происходит углубление уступов и движение их вверх по тальвегу. Скорость их “отступания” различается в силу известных причин, поэтому часто наблюдается слияние более активно растущих вершин с медленно развивающимися.

При неблагоприятных для интенсивного размыва условиях (уменьшение поверхностного стока) происходит разрушение водным потоком многочисленных эрозионных ступеней и в этом случае продольный профиль линейных эрозионных форм приобретает более плавные черты. Поэтому отсутствие в промоине или овраге хорошо выраженных эрозионных уступов может служить свидетельством его стабилизации в данных условиях.

5.4.2 Роль состава размываемых пород

Состав размываемых пород оказывает наиболее существенное влияние на скорость овражной эрозии. В зависимости от противоэрозионной устойчивости пород средние скорости прироста оврагов могут различаться в несколько раз (табл. 5.5).

Наибольшие многолетние скорости роста отмечаются у вторичных оврагов (2,1 – 2,2 м/год), размывающих современные

аллювиальные и балочные отложения, представленные переслаивающимися суглинками и суглинисто-супесчаными (реже глинистыми) породами. Они находятся в переувлажненном состоянии вследствие близости грунтовых вод и поэтому отличаются слабым сцеплением частиц пород между собой, что способствует их быстрому размыву. О механизме развития вторичных оврагов указывалось в предыдущих разделах.

Высокие многолетние скорости роста наблюдаются у первичных оврагов в лессовидных делювиально-солифлюкционных суглинках, возникших в перигляциальных условиях плейстоцена (Бутаков, 1986). Эти породы наименее литофицированы, они быстро размокают и характеризуются наименьшим сопротивлением размыву (Бастраков, 1993). Для них характерна еще одна важная особенность - наличие вертикальной столбчатой текстуры, возникающей на обнажениях как при вершине, так и на склонах оврага. Механизм образования столбчатой текстуры лессовидных суглинков еще недостаточно изучен, возможно, он связан с морозобойными трещинами, возникающими на поверхности грунтов в условиях сурового перигляциального климата. Впоследствии эти трещины заполнялись более грубым, менее сцементированным материалом, что и определяет их "скальвание" именно в этих местах. Наличие постоянно "свежих" вертикальных уступов при вершине оврага способствует его быстрому росту даже при незначительном стоке. В условиях концентрированного стока большой силы скорость роста оврагов может быть катастрофической и превышать 100 м и более в год. Заметно ниже средние скорости роста в этих породах для вершинных оврагов (0,7 м/год), поскольку они находятся на последних стадиях развития и интенсивно зарастают.

Относительно низкие скорости роста оврагов, размывающих перигляциальный аллювий на левобережье р. Вятка, объясняются легко, если учесть, что большинство их (70%) находится на последних стадиях развития. Средние многолетние скорости активно растущих оврагов составляют 2,0 м/год.

Медленнее всех растут овраги, размывающие коренные пермские глины (0,7 - 1,0 м/год), особенно при переслаивании их с песчаниками, известняками, мергелями и другими прочными породами (0,5 - 0,6 м/год). Скорости роста оврагов данной группы на последних стадиях развития уменьшаются до 0,1 м/год и менее.

Таблица 5.5

Средние многолетние скорости роста оврагов в различных литологических комплексах пород

Комплексы пород	Количество оврагов		Скорость роста, м/год	
	Первичные	Вторичные	Первичные	Вторичные
Балочный комплекс (преимущественно суглинистый) (Q)	-	28	-	2,2
Современный аллювий суглинистый (Q _{IV})	-	1	-	2,1
Перигляциальный супесчано-суглинистый аллювий (Q _{II-III})	12	2	0,7	0,5
Делювиально-солифлюкционные суглинки (Q _{II-III})	43	6	2,1	0,7
Коренные пермские глины (P ₂)	21	13	0,7	1,0
Пермские глины с прослоями более прочных пород (P ₂)	23	19	0,5	0,6
Итого:	99	69	1,26	1,35

Близкие результаты получены и для других областей и республик Вятско-Камского региона и Среднего Поволжья (Коротина, 1981; Кузницын, 1969; Назаров, 1992; Овражная..., 1990 и др.). Наибольшие многолетние скорости роста оврагов во всех регионах наблюдаются в неоген-четвертичных суглинках и супесях, обладающих наименьшим сопротивлением размыву (по Г.В.Бастракову, 1993). Пропорционально возрастанию противозерозионной устойчивости уменьшается в 1,5 - 3,0 раза скорость годового прироста оврагов в карбонатно-глинистых породах верхней перми. В более прочных известняках и доломитах перми, опоках и песчаниках палеогена скорость роста оврагов становится еще меньше.

5.4.3 Влияние геоморфологических факторов

Геоморфологические факторы играют также немаловажную роль в скорости оврагообразования. Для отдельных регионов востока Русской равнины установлено, что наиболее отчетливо проявляется роль длины линий стока, определяющей площадь водосбора оврага. Влияние крутизны склона проявляется лишь в том случае, когда она изменяется в больших пределах. Влияние высоты склона оказалось не существенным (Овражная..., 1990).

С целью установления зависимости средней многолетней скорости роста оврагов в Удмуртии от геоморфологических факторов проводился корреляционный анализ. Для рассчитывались: коэффициент прямолинейной корреляции (r), корреляционное отношение (η), коэффициент детерминации (η^2) и критерий Блекмана (B), характеристика их дана в предыдущем разделе. Выше указывалось, что интенсивность роста оврагов в значительной степени определяется их типом, стадией развития и составом размываемых пород. Поэтому анализ проводился раздельно по типам оврагов, находящихся на одинаковых стадиях развития и размывающих однородные литологические комплексы пород. Из геоморфологических факторов на первом этапе рассматривались: площади водосборов оврагов, длины линий стока (расстояние от вершины оврага до водораздела) и их средние уклоны, глубины местных базисов эрозии в пределах овражных водосборов и средние уклоны склонов (от устья оврага до водораздела вдоль линий стока).

Поскольку от водосборной площади оврага зависит объем и концентрация стока воды, определяющие ее размывающую способность, то данный фактор является важнейшим для роста оврагов. Результаты анализа показали, что площадь водосбора в наибольшей степени определяет скорость роста 17 донных оврагов, находящихся на первых стадиях развития ($r = 0,840$; $\eta = 0,926$; $\eta^2 = 0,857$). Полученный критерий Блекмана ($B = 2,57$) указывает на наличие линейной связи между анализируемыми признаками (табл. 5.6). Невысокая положительная связь ($r = 0,260$; $\eta = 0,632$; $\eta^2 = 0,399$) характерна и для 15 приводораздельных оврагов, размывающих делювиально-солифлюкционные суглинки на второй стадии развития. Связь здесь получилась бы намного выше, но из анализа мы намеренно исключили "мушакский" овраг, развивающийся с катастрофической скоростью (40,4 м/год) и имеющий большую площадь водосбора (116 га), поскольку его развитие является не совсем типичным. Для 19 придолинных и 18 вершинных оврагов, размывающих коренные породы на третьей стадии развития, связь с площадью водосбора не проявляется (табл. 5.6). Вследствие недостаточной выборки другие группы оврагов не рассматривались.

Таблица 5.6

Результаты корреляционного анализа между средней многолетней скоростью роста оврагов и геоморфологическими факторами

Тип оврага и показатели связи	Площадь водосбора	Длина линии стока	Глубина базиса эрозии	Средний уклон линии стока	Средний уклон склона
Донный, r η η^2 B	0,840	0,424	- 0,231	- 0,532	- 0,567
	0,926	0,649	0,427	0,714	0,773
	0,857	0,421	0,182	0,509	0,597
	2,57	4,10	2,19	3,80	4,68
Вершинный, r η η^2 B	0,196	0,180	- 0,089	0,423	- 0,044
	0,308	0,464	0,574	0,473	0,385
	0,095	0,215	0,329	0,224	0,148
	1,02	3,29	5,78	8,11	2,63
Приводораздельный, r η η^2 B	0,260	0,190	- 0,040	- 0,323	- 0,393
	0,632	0,484	0,590	0,475	0,543
	0,399	0,234	0,348	0,226	0,295
	4,97	2,97	5,20	1,83	2,11
Придолинный, r η η^2 B	- 0,075	- 0,145	- 0,211	0,120	0,319
	0,477	0,498	0,496	0,361	0,551
	0,228	0,358	0,246	0,130	0,304
	4,23	6,40	3,83	4,40	3,84

Примечание. Достоверность показателей на уровне не менее 95%.

С площадью водосбора тесно связана и длина линии стока, но связь эта проявляется не всегда в силу разнообразия форм склонов. Поэтому коэффициенты связи между скоростью роста оврагов и длиной линий стока оказались значительно ниже, чем с первым фактором (табл. 5.6). Как и в первом случае, связь между анализируемыми показателями отчетливо проявляется лишь для донных оврагов ($r = 0,424$; $\eta = 0,649$; $\eta^2 = 0,421$). Если принять во внимание "мушакский" овраг, имеющий длину линии стока почти 2,5 км, то показатель связи для приводораздельных оврагов повысится более чем в два раза. Для придолинных и вершинных оврагов зависимость между их скоростями роста и длинами линий стока не обнаруживается (табл. 5.6).

Роль глубин местных базисов эрозии для рассматриваемых групп оврагов оказалась несущественной. Коэффициенты корреляции для всех типов оврагов оказались с отрицательным знаком, что указывает на отсутствие прямой зависимости. Обращает внимание наличие слабой нелинейной связи с вершинными ($\eta = 0,574$; $\eta^2 = 0,329$) и приводораздельными ($\eta = 0,590$; $\eta^2 = 0,348$) оврагами, но низкие значения

критерия Блекмана не позволяют руководствоваться этими показателями. Отсутствие положительной связи между глубинами местных базисов эрозии и средними многолетними скоростями роста оврагов возможно следует объяснить действием неучтенных, более значимых факторов, подавляющих влияние данного параметра рельефа. Возможно влияние рассматриваемого фактора на рост вершинных и придолинных оврагов проявляется лишь на первых стадиях развития. Ограниченность выборки пока не позволяет проверить данное утверждение.

Обнаруживается отчетливая обратная связь между скоростью роста донных оврагов и средним уклоном их линий стока ($r = -0,532$; $\eta = 0,714$; $\eta^2 = 0,509$), что объясняется легко, поскольку при значительных площадях вершинных водосборов возрастает и длина линий стока, а их уклоны уменьшаются. При уменьшении площадей водосборов и длин линий стока уклоны последних обычно возрастают. Выше указывалось, что рост донных оврагов сильно зависит от площади их вершинного водосбора.

Аналогичным же образом можно объяснить наличие очень слабой отрицательной связи между анализируемыми признаками и для приводораздельных оврагов. Для вершинных ($r = 0,423$) и придолинных ($r = 0,120$) оврагов коэффициенты корреляции имеют положительный знак, но их величины не позволяют судить о наличии отчетливо выраженной связи (табл. 5.6).

Не выявляется отчетливо связь скорости роста оврагов и со средними уклонами склонов, поскольку последние изменяются в небольших интервалах. Невысокая обратная связь обнаруживается лишь для приводораздельных ($r = -0,393$) и донных ($r = -0,567$) оврагов, находящихся на начальных этапах развития (табл. 5.6). Эта зависимость объясняется аналогично предыдущей, поскольку при небольших углах наклона склонов водосборные площади оврагов оказываются более значительными, чем в условиях более крутых и коротких склонов. Влияние средних углов наклона склонов на среднюю скорость роста вершинных оврагов практически отсутствует ($r = -0,044$; $\eta = 0,385$; $\eta^2 = 0,148$), заметно выше оно для придолинных оврагов ($r = 0,319$; $\eta = 0,551$; $\eta^2 = 0,304$). Здесь, как и в случае с предыдущим фактором, роль крутизны склона оказывается решающей, по-видимому, лишь на начальных этапах развития оврагов. В условиях же стабилизации развития влияние высоты и крутизны склонов на скорость роста рассматриваемых оврагов практически исчезает и подавляется воздействием других факторов. Среди них следует назвать, в первую

очередь, состав размываемых коренных пород и хозяйственную деятельность человека на водосборе оврага.

Таким образом, на среднюю скорость роста большинства оврагов в республике из геоморфологических факторов в наибольшей степени влияют величина их водосборной площади и длина линий стока. Исключением здесь являются лишь придолинные овраги. Роль глубин местных базисов эрозии практически не выражена. Выявлена отчетливая обратная связь со средними уклонами склонов и линий стока для донных оврагов и менее отчетливая – для приводораздельных. Обнаруживается слабая положительная связь со средними уклонами линий стока для вершинных оврагов и со средними уклонами склонов для придолинных оврагов.

Средние многолетние скорости роста оврагов не совсем объективно отражают роль геоморфологических факторов, особенно в случае анализа оврагов, находящихся на последних стадиях развития. Оценка роли геоморфологических факторов более надежна, если рассматривать не многолетний, а годовой прирост оврагов. Для этой цели в 1996 г. нами дополнительно подбирались овраги, находящиеся на начальных этапах развития с наличием отчетливо выраженного вершинного уступа. Расположены они на правобережье Камы, размывают преимущественно деловиально-солифлюкционные суглинки и коренные верхнепермские глинистые породы. Всего в анализ было вовлечено 26 приводораздельных и 21 придолинных оврагов, размывающих деловиально-солифлюкционные суглинки, 24 вершинных и 19 придолинных оврагов, размывающих коренные породы, 25 донных оврагов, растущих в суглинисто-супесчаном балочном аллювии.

Для указанных 5 групп оврагов анализировались следующие показатели: площадь вершинного водосбора (S), длина линии стока от вершины оврага до водораздела (L_0), средний уклон линии стока ($J-L_0$), глубина базиса эрозии в пределах овражного водосбора (H), длина склона от устья оврага до водораздела вдоль линии стока (L_s), средний уклон склона ($J-L_s$), высота вершинного уступа оврага (h) и средний уклон тальвега оврага (J_0). Коэффициенты связи рассчитывались прежние.

Прирост донных оврагов в длину за 1997 г. в наибольшей степени определялся высотой вершинного уступа ($r = 0,546$; $\eta = 0,525$; $\eta^2 = 0,276$) и длиной склона ($r = 0,500$; $\eta = 0,705$; $\eta^2 = 0,497$). Критерий Блекмана во всех случаях указывает на линейный характер связи (табл. 5.7). Отчетливо прослеживается положительная связь с площадью вершинного водосбора ($r = 0,415$; $\eta = 0,538$; $\eta^2 = 0,289$) и длиной линии стока ($r =$

0,409; $\eta = 0,559$; $\eta^2 = 0,313$). Слабая зависимость годового прироста донных оврагов от площадей вершинных водосборов, на наш взгляд, объясняется различием в степени и характере их залесенности. Поскольку в условиях значительных площадей водосборов наличие прибалочных лесных массивов резко уменьшает поверхностный сток и соответственно прирост оврагов, то снижается и роль анализируемого фактора. Возможно сказывается влияние и хозяйственной деятельности человека в пределах водосборов.

Как и в предыдущем случае, обнаруживается обратная зависимость со средним уклоном склона ($r = -0,403$; $\eta = 0,455$; $\eta^2 = 0,207$) и средним уклоном линии стока ($r = -0,311$; $\eta = 0,361$; $\eta^2 = 0,130$). Связь со средним уклоном тальвега оврага и глубиной местного базиса эрозии не проявляется (табл. 5.7).

Таблица 5.7

Результаты корреляционного анализа между годовым приростом оврагов и геоморфологическими факторами

Тип оврага и показатели связи	S	Lo	J-Lo	h	H	Ls	J-Ls	Jo	
Донный, г	0,415	0,409	-0,311	0,546	-0,099	0,500	-0,403	-0,188	
	η	0,538	0,559	0,361	0,525	0,130	0,705	0,455	0,324
	η^2	0,289	0,313	0,130	0,276	0,017	0,497	0,207	0,105
	B	2,92	3,64	8,32	0,55	0,18	6,18	1,11	1,74
Вершинный, г	0,614	0,479	0,341	0,681	0,669	0,366	0,320	0,217	
	η	0,632	0,508	0,324	0,690	0,795	0,377	0,364	0,355
	η^2	0,399	0,258	0,105	0,476	0,632	0,142	0,132	0,126
	B	0,53	0,69	0,27	0,29	4,40	0,19	0,71	1,89
Приводораздельный, г	0,591	0,491	0,359	0,790	0,356	0,552	0,283	0,089	
	η	0,604	0,533	0,473	0,811	0,412	0,653	0,339	0,116
	η^2	0,365	0,284	0,224	0,658	0,170	0,426	0,115	0,013
	B	0,41	1,12	2,47	0,88	1,12	3,15	0,91	0,13
Придолинный (Q), г	0,401	0,169	0,256	0,433	0,281	0,256	0,143	0,263	
	η	0,656	0,362	0,539	0,732	0,495	0,520	0,412	0,521
	η^2	0,430	0,131	0,291	0,536	0,245	0,270	0,169	0,271
	B	5,11	1,95	4,28	6,62	3,15	3,88	2,82	3,83
Придолинный (P _{2k}), г	0,878	0,317	0,342	0,788	0,461	0,260	0,493	0,441	
	η	0,881	0,460	0,605	0,793	0,561	0,366	0,665	0,575
	η^2	0,776	0,211	0,366	0,629	0,315	0,134	0,443	0,331
	B	0,10	2,10	4,73	0,15	1,95	1,26	3,80	2,59

Примечание. Достоверность показателей связи на уровне не менее 95%.

Годовой прирост в длину вершинных оврагов определяется в основном высотой вершинного уступа ($r = 0,681$; $\eta = 0,690$; $\eta^2 = 0,476$),

глубиной местного базиса эрозии ($r = 0,669$; $\eta = 0,795$; $\eta^2 = 0,632$) и площадью вершинного водосбора ($r = 0,614$; $\eta = 0,632$; $\eta^2 = 0,399$). Форма связи здесь также имеет линейный характер. Выявляется очень слабая положительная связь и с длиной линий стока ($r = 0,479$; $\eta = 0,508$; $\eta^2 = 0,258$). С остальными факторами достаточно надежной связи не обнаружено (табл. 5.7).

Приводораздельные овраги обнаруживают тесную связь годового прироста также с высотой вершинного уступа ($r = 0,790$; $\eta = 0,811$; $\eta^2 = 0,658$), с площадью вершинного водосбора ($r = 0,591$; $\eta = 0,604$; $\eta^2 = 0,365$) и с длиной склонов ($r = 0,552$; $\eta = 0,653$; $\eta^2 = 0,426$). Например "Быгинский" овраг, имеющий максимальную высоту вершинного уступа (4,93 м), характеризовался в 1997 г. и наибольшим приростом в длину (9,6 м), о чем упоминалось выше.

Менее отчетливая положительная связь выявляется и с длиной линий стока ($r = 0,491$; $\eta = 0,533$; $\eta^2 = 0,284$). С остальными факторами явной связи не обнаружено (табл. 5.7).

На годовой прирост придолинных оврагов, размывающих делювиально-солифлюкционные суглинки, существенное влияние оказывают лишь высота вершинного уступа ($r = 0,433$; $\eta = 0,732$; $\eta^2 = 0,536$) и площадь вершинного водосбора ($r = 0,401$; $\eta = 0,656$; $\eta^2 = 0,430$). С другими рассматриваемыми факторами какая-либо связь не выявляется (табл. 5.7).

Совершенно по-иному происходит развитие придолинных оврагов, размывающих коренные породы преимущественно глинистого состава. Их годовой прирост в значительной мере зависит от площади водосбора ($r = 0,878$; $\eta = 0,881$; $\eta^2 = 0,776$) и высоты вершинного уступа ($r = 0,788$; $\eta = 0,793$; $\eta^2 = 0,629$). Достаточно отчетливо проявляется положительная связь со средними уклонами склонов ($r = 0,493$; $\eta = 0,665$; $\eta^2 = 0,443$), глубинами местных базисов эрозии ($r = 0,461$; $\eta = 0,561$; $\eta^2 = 0,315$) и в меньшей степени со средним уклоном тальвега оврага ($r = 0,441$; $\eta = 0,575$; $\eta^2 = 0,331$). Длина линий стока, их средний уклон и длина склонов не оказывают заметного влияния на годовой прирост рассматриваемых оврагов (табл. 5.7).

Таким образом годовой прирост в длину большинства активно растущих оврагов в основном зависит от высоты вершинного уступа и площади вершинного водосбора. Последний определяет величину поверхностного стока, поступающего к вершине оврага, а роль первого фактора проявляется через размывающую силу падающего столба воды, которая непосредственно зависит от высоты перепада. Но не следует забывать, что глубина вершинного размыва есть следствие

результатирующего влияния геолого– геоморфологических особенностей как самого оврага, так и его водосбора. Следовательно, высота вершинного уступа может служить, с одной стороны, в качестве интегрального показателя, отражающего роль геолого– геоморфологических факторов в развитии оврагов, с другой – индикатора их активности.

5.4.4 Роль гидрометеорологических условий

Гидрометеорологические условия, как правило, обуславливают неравномерный пульсационный характер роста оврагов от года к году, что подтверждается наблюдениями в различных регионах России (Миронова, Сетунская, 1974, 1980; Коротина, 1981; Большов и др., 1986; Путилин 1988; Назаров, 1992 и др.). Исследования показали, что на востоке Русской равнины 70-80% годового прироста оврагов приходится на весенний период, при этом выявлена ведущая роль таких метеорологических показателей как интенсивность снеготаяния и запасы воды в снеге (Овражная..., 1990).

От гидрометеорологических условий зависит величина и интенсивность поверхностного стока, а следовательно и годовой прирост оврагов. Поскольку метеорологические условия характеризуются изменчивостью во времени и в пространстве, то анализ их влияния на скорость оврагообразования осуществлялся по данным ближайших к ключевым участкам гидрометеостанций (ГМС). Анализировалось развитие 13 оврагов, расположенных у г. Ижевска (ключевые участки N8-12), 5 оврагов ключевого участка N3 у с. Селты, 5 оврагов ключевого участка N 4 у с. Вавож и 8 оврагов ключевых участков N 18,19 близ г. Сарапула (рис. 54).

В анализ гидрометеорологических условий весеннего периода нами были включены следующие показатели: а) максимальные общие запасы воды в снеге в начале весны ($Hв$), б) продолжительность снеготаяния (T), в) интенсивность снеготаяния, как отношение максимальных запасов воды в снеге к продолжительности снеготаяния ($Hв/T$), г) максимальная глубина промерзания почвы ($Mп$), д) интенсивность поверхностного стока, как отношение максимального расхода весеннего половодья к норме стока ближайшей малой реки ($Qм/Qн$).

Для пяти стационаров, находящихся поблизости от г. Ижевска, использовались данные метеопоста пос. Первомайский (Ижевск) и гидропоста на р.Позимь. Анализ данных показывает (табл. 5.8), что

среднегодовые скорости роста 13 оврагов за 20 - летний период изменяются в значительных пределах. Сопоставление показателя активности оврагообразования с гидрометеорологическими характеристиками определяет тесную взаимосвязь первого с интенсивностью половодного стока. Об этом свидетельствуют и данные корреляционного анализа ($r = 0,729$; $\eta = 0,731$; $\eta^2 = 0,534$).

Высокая активность овражной эрозии в 1979 г. обусловлена сочетанием экстремальных метеорологических условий и состоянием почвенного покрова. Очень суровая многоснежная зима 1978/1979 г. способствовала глубокому промерзанию насыщенных влагой почвогрунтов, а теплая весна вызвала интенсивное снеготаяние. Инфильтрация талых вод в мерзлый грунт была незначительной, что обеспечило мощный поверхностный сток и высокое половодье на реках. В периоды низкой активности оврагообразования интенсивность поверхностного стока была незначительной, несмотря, например, на высокие показатели интенсивности снеготаяния в отдельные годы. Повышенные значения запасов воды в снеге и интенсивности снеготаяния не всегда обеспечивают высокий поверхностный сток, зависящий от множества факторов. Поэтому связь скорости оврагообразования с интенсивностью снеготаяния ($r = 0,453$; $\eta = 0,462$; $\eta^2 = 0,219$) и запасами воды в снеге ($r = 0,515$; $\eta = 0,561$; $\eta^2 = 0,315$) оказалась не столь заметной. Не выявлена связь между продолжительностью снеготаяния ($r = 0,118$; $\eta = 0,468$; $\eta^2 = 0,219$), глубиной промерзания почв ($r = -0,071$; $\eta = 0,051$; $\eta^2 = 0,003$) и анализируемым показателем активности оврагообразования.

Для ключевого участка N3 использовались данные ГМС с. Селты и гидропоста на р.Нылга (с. Нылга). Изменение среднегодовых скоростей роста оврагов по годам здесь отмечается в меньших пределах, чем на предыдущих стационарах (табл. 5.9). Объясняется это тем, что большинство оврагов на этом стационаре находится на последних стадиях развития и только один развивается активно. Изменение активности оврагообразования по годам в целом аналогично предыдущим стационарам. Обращают на себя внимание более плавные колебания показателей интенсивности поверхностного стока, что связано с высокой залесенностью бассейна р.Нылга. Связь между годовым приростом оврагов и интенсивностью стока талых вод здесь также проявляется отчетливо ($r = 0,784$; $\eta = 0,841$; $\eta^2 = 0,707$). Несколько отличается распределение по годам максимальных запасов воды в снеге.

Таблица 5.8

Среднегодовые скорости роста оврагов на ключевых участках у г. Ижевска и гидрометеорологические показатели весеннего периода

Годы	Qm/Qп	T, сут.	Нв, мм	Нв/T, мм/сут.	Мп, см.	V, м/год
1978	7,5	15	96	6,4	155	1,4
1979	28,6	13	198	15,2	139	2,8
1980	8,7	21	109	5,2	136	1,2
1981	8,5	26	147	5,7	132	0,7
1982	14,1	27	148	5,5	116	1,5
1983	4,9	14	104	7,4	98	0,3
1984	7,8	11	63	5,7	104	1,1
1985	5,8	24	106	4,4	150	0,5
1986	7,5	25	160	6,4	76	0,6
1987	10,8	24	126	5,3	102	1,2
1988	12,7	22	130	5,9	94	1,4
1989	10,6	33	188	5,7	50	1,1
1990	13,7	27	175	6,5	46	2,3
1991	17,8	24	153	6,4	70	1,9
1992	16,0	22	161	7,3	64	1,6
1993	17,0	26	104	4,0	90	1,4
1994	18,8	32	168	5,3	102	1,7
1995	16,3	15	96	6,4	67	0,7
1996	4,76	18	122	6,8	75	0,3
1997	14	14	104	7,4	140	0,6

Наибольшими они были в 1989 - 1991 гг., обеспечив в эти годы высокий поверхностный сток и вспышку активности оврагообразования. Интенсивность снеготаяния была максимальной в 1979 г., а глубина промерзания почв в этот год достигла почти 1,5 м. Связь между скоростью роста оврагов и интенсивностью снеготаяния оказалась также невысокой ($r = 0,484$; $\eta = 0,436$; $\eta^2 = 0,190$), она оказалась чуть выше с максимальными запасами воды в снеге ($r = 0,571$; $\eta = 0,620$; $\eta^2 = 0,385$), а с продолжительностью снеготаяния ($r = 0,070$; $\eta = 0,563$; $\eta^2 = 0,317$) и с глубиной промерзания почв ($r = -0,235$; $\eta = 0,520$; $\eta^2 = 0,270$) связь не обнаружена.

Все овраги ключевого участка у с. Большое Волково находятся в стадии активного развития, для них использовались данные ГМС с.Важож и гидропоста на р.Вала. В случае отсутствия показателей в отдельные годы применялись данные близко расположенной ГМС г.Можги.

Таблица 5.9

Среднегодовые скорости роста оврагов на ключевом участке у с. Селты и гидрометеорологические показатели весеннего периода

Годы	Qm/Qп	T, сут.	Hв, мм	Hв/T, мм/сут.	Mп, см.	V, м/год
1978	9,1	18	115	6,4	142	0,4
1979	11,9	13	165	12,7	149	1,5
1980	8,4	19	150	7,9	93	0,2
1981	11,1	29	143	4,9	110	0,8
1982	10,7	28	183	6,5	63	0,7
1983	9,9	14	143	10,2	88	0,5
1984	5,4	12	83	6,9	133	0,1
1985	11,0	27	107	4,0	155	0,6
1986	9,1	26	168	6,5	82	0,7
1987	10,8	28	140	5,0	123	0,5
1988	9,2	23	134	5,8	139	0,3
1989	8,8	34	192	5,6	114	0,2
1990	13,0	25	198	7,9	38	1,2
1991	13,1	24	186	7,8	67	1,3
1992	9,3	25	168	6,7	53	0,6
1993	11,0	26	130	5,0	117	0,7
1994	12,3	32	176	5,5	103	0,9
1995	9,2	19	113	5,9	59	0,4
1996	4,5	22	90	4,1	107	0,2
1997	10,6	18	132	7,3	142	0,4

В годы с интенсивным поверхностным стоком средняя скорость роста оврагов здесь достигала 3,8 - 6,6 м/год (табл. 5.10). В годы с низким поверхностным стоком, часто совпадающими с малоснежными зимами (1980, 1984 гг.), активность овражной эрозии резко снижается (0,7 - 1,1 м/год). На данном ключевом участке связь между скоростью роста оврагов и интенсивностью поверхностного стока проявляется также отчетливо ($r = 0,865$; $\eta = 0,903$; $\eta^2 = 0,815$), она оказалась слабой с интенсивностью снеготаяния ($r = 0,415$; $\eta = 0,538$; $\eta^2 = 0,289$), очень слабой с максимальными запасами воды в снеге ($r = 0,321$; $\eta = 0,452$; $\eta^2 = 0,204$), а с продолжительностью снеготаяния ($r = 0,014$; $\eta = 0,489$; $\eta^2 = 0,239$) и глубиной промерзания почв ($r = -0,090$; $\eta = 0,335$; $\eta^2 = 0,112$) она отсутствует (табл. 5.10).

Овраги ключевых участков N18 (с. Девятово) и N19 (с. Мазунино) расположены в Сарапульском районе, они в большинстве случаев размывают прочные коренные породы и находятся на второй и третьей стадиях развития. Отличаются сравнительно медленным ростом. Для анализа их ежегодного развития использовались данные ГМС г. Сарапула и гидропоста на р. Большая Сарапулка (д. Поркачево).

Таблица 5.10

**Среднегодовые скорости роста оврагов на ключевом участке
у с. Большое Волково и гидрометеорологические показатели
весеннего периода**

Годы	Qm/Qn	T, сут.	Hв, мм	Hв/T, мм/сут.	Mп, см.	V, м/год
1978	9,3	17	97	5,7	97	1,3
1979	33,2	15	156	10,4	107	6,6
1980	8,8	20	92	4,6	124	1,1
1981	10,7	25	131	5,2	54	2,3
1982	11,1	27	122	4,5	92	2,2
1983	8,5	15	108	7,2	105	2,3
1984	4,4	11	57	5,2	150	0,7
1985	11,8	23	104	4,5	128	2,3
1986	8,5	25	174	7,0	37	2,1
1987*	11,3	28	163	5,8	63	2,5
1988*	10,9	22	134	6,1	109	2,4
1989	9,5	34	191	5,6	121	2,1
1990	14,6	25	155	6,2	50	2,9
1991	20,4	23	130	5,7	79	4,8
1992	12,1	20	154	7,7	61	2,4
1993	15,5	31	146	4,7	94	2,5
1994*	14,9	30	203	6,8	85	2,8
1995*	11,9	21	128	6,1	75	1,9
1996*	5,0	18	126	7,0	81	1,2
1997*	10,9	14	146	10,4	100	2,24

Примечание. * - метеорологические показатели по данным ГМС г. Можга.

Здесь также “максимум” активности оврагообразования приходится на 1979 г., зато второй “максимум” относится уже не к 1991 г. как на предыдущих стационарах, а смещается на один год позже (табл. 5.11). В 1992 г. в отличие от предыдущего, накоплено больше воды в снеге, скорее было и снеготаяние, поэтому интенсивность снеготаяния и поверхностного стока оказалась более значительной, что и способствовало более активному развитию оврагов. Благодаря неглубокому промерзанию почв (0,5 м) часть поверхностного стока перешла в подземный и, возможно, несколько притормозила скорость роста оврагов. Здесь также отчетливо проявляется зависимость среднегодового прироста оврагов от интенсивности поверхностного стока ($r = 0,670$; $\eta = 0,748$; $\eta^2 = 0,559$) и от максимальных запасов воды в снеге ($r = 0,671$; $\eta = 0,691$; $\eta^2 = 0,477$). Менее заметна связь с интенсивностью снеготаяния ($r = 0,340$; $\eta = 0,627$; $\eta^2 = 0,393$). С продолжительностью снеготаяния ($r = 0,359$; $\eta = 0,387$; $\eta^2 = 0,150$) и глубиной промерзания

почв ($r = -0,315$; $\eta = 0,463$; $\eta^2 = 0,214$) связь также не обнаружена. Критерий Блекмана во всех случаях значительно меньше 11,37.

Таблица 5.11

Среднегодовые скорости роста оврагов на ключевых участках у г.Сарапула и гидрометеорологические показатели весеннего периода

Годы	Qm/Qn	T, сут.	Hв, мм	Hв/T, мм/сут.	Mп, см.	V, м/год
1978	29,2	23	95	4,1	96	0,3
1979	66,4	15	154	10,3	71	1,4
1980	18,0	18	90	5,0	127	0,03
1981	19,9	24	124	5,2	94	0,2
1982	32,6	26	151	5,8	49	0,5
1983	34,4	14	102	7,3	90	0,6
1984	19,8	10	55	5,5	105	0,01
1985	43,2	18	98	5,4	127	0,6
1986	56,6	23	129	5,6	71	0,7
1987	57,4	29	148	5,1	84	0,8
1988	-	22	143	6,5	93	0,6
1989	-	32	190	5,9	39	0,8
1990	-	25	154	6,2	63	0,9
1991	10,0	24	165	6,9	97	1,1
1992	63,6	21	176	8,4	55	1,2
1993	42,4	28	161	5,8	69	0,9
1994	58,1	32	146	4,6	76	1,0
1995	-	15	115	7,7	31	0,4
1996	-	18	157	8,7	58	0,2
1997	-	16	177	11,1	150	0,64

Влияние на среднегодовой прирост оврагов метеорологических условий летнего периода рассмотрим для стационаров, расположенных у г.Ижевска и с.Селты, где проводились сезонные наблюдения (рис. 54). В анализ были включены следующие показатели: а) максимальное значение суточного слоя ливневых осадков (X_{\max}), б) превышение максимальной декадной суммы осадков над нормой ($X_{д.м}/X_{д.н}$), в) сумма осадков за теплый период ($\Sigma X_{т.п}$). Анализ табличных (табл. 5.12, 5.13) данных свидетельствует об отсутствии какой-либо связи между рассматриваемыми показателями, что подтверждается и данными корреляционного анализа (табл. 5.14). Как показывают результаты сезонных наблюдений, доля летних осадков в годовом приросте оврагов ($V_{л}$) на данных стационарах колеблется в большинстве случаев в пределах лишь 5-30%.

На ключевом участке у с.Селты максимальный летний прирост (76% от годового) был зарегистрирован в 1994 г., когда 25 июня выпало

за сутки почти 56 мм осадков ливневого характера. Причем ливни чуть меньшей интенсивности повторялись еще в начале июля, вызвав усиление эрозийной активности. Летний прирост оврагов в данном случае имеет тесную связь с максимальным суточным слоем ливневых осадков ($r = 0,844$; $\eta = 0,891$; $\eta^2 = 0,794$), несколько ниже она с превышением максимальной декадной суммы осадков над нормой ($r = 0,709$; $\eta = 0,814$; $\eta^2 = 0,663$) и практически не проявляется с суммой осадков за теплый период года ($r = 0,442$; $\eta = 0,502$; $\eta^2 = 0,252$) (табл. 5.12).

Таблица 5.12

Среднегодовые скорости роста оврагов (V), их летняя составляющая (Vл) на ключевом участке у с.Селты и метеорологические показатели летнего периода

Годы	X _{max} , мм	X _{д.м./X_{д.н}}	ΣX _{т.п.} , мм	V, м/год	Vл, %
1978	20,0	1,65	378	0,4	4
1979	34,0	1,30	315	1,5	15
1980	27,0	1,71	379	0,2	8
1981	40,2	2,70	223	0,8	14
1982	25,7	1,82	315	0,7	7
1983	33,5	2,53	428	0,5	13
1984	51,5	3,71	435	0,2	53
1985	21,4	2,26	356	0,6	6
1986	21,0	2,32	330	0,7	5
1987	41,5	5,00	450	0,5	27
1988	24,2	3,20	299	0,3	26
1989	49,0	2,64	290	0,2	39
1990	36,4	3,70	385	1,2	21
1991	35,4	2,45	324	1,3	18
1992	36,3	2,70	273	0,6	19
1993	27,0	2,72	391	0,7	10
1994	55,8	4,70	486	0,9	76
1995	31,0	2,60	296	0,4	11
1996	12,4	2,50	230	0,2	8
1997	24,2	2,63	410	0,4	9

На стационарах у г.Ижевска максимальный летний прирост (92% от годового) был зафиксирован в 1984 году, связанный прежде всего с интенсивным ливнем 5 августа, когда за сутки выпало чуть меньше 1,5 месячной нормы. Причем весной этого года поверхностный сток был сравнительно низким. Относительно небольшую величину годового прироста оврагов можно объяснить тем, что к августу почвы даже на пашне уже достаточно хорошо защищены растительным покровом. Значительный летний прирост оврагов отмечался также в 1989 году (34% от годового) и в 1993 году (38%), в последнем случае это связано прежде

всего с ливнем, выпавшим 26 июля. Летний прирост рассматриваемых оврагов имеет также очень тесную связь с максимальным суточным слоем ливневых осадков ($r = 0,925$; $\eta = 0,956$; $\eta^2 = 0,914$), чуть ниже она с превышением максимальной декадной суммы осадков над нормой ($r = 0,887$; $\eta = 0,907$; $\eta^2 = 0,823$) и еще меньше с суммой осадков летнего периода ($r = 0,623$; $\eta = 0,742$; $\eta^2 = 0,551$) (табл. 5.13). Критерий Блекмана во всех перечисленных случаях значительно ниже 11,37.

Таблица 5.13

Среднегодовые скорости роста оврагов (V), их летняя составляющая (V_l) на ключевых участках у г.Ижевска и метеорологические показатели летнего периода

Годы	X_{\max} , мм	$X_{д.м.}/X_{д.н}$	$\Sigma X_{т.п.}$, мм	V , м/год	V_l , %
1978	22,0	1,61	352	1,4	6
1979	20,8	1,23	215	2,8	4
1980	27,1	1,38	312	1,2	10
1981	19,8	1,60	293	0,7	5
1982	18,9	2,20	254	1,5	8
1983	31,9	4,17	419	0,3	11
1984	80,0	9,37	562	1,1	92
1985	24,1	2,12	322	0,5	9
1986	33,9	5,55	489	0,6	33
1987	15,6	2,53	393	1,2	3
1988	29,8	4,11	366	1,4	21
1989	51,9	3,35	323	1,1	34
1990	30,7	2,50	394	2,3	20
1991	24,0	2,87	291	1,9	12
1992	25,1	2,43	203	1,6	19
1993	58,4	3,00	481	1,4	38
1994	26,8	4,45	355	1,7	28
1995	18,0	1,87	290	0,7	2
1996	34,2	3,70	236	0,3	29
1997	25,3	3,19	387	0,6	8

Результаты сезонных наблюдений на 10 стационарах (46 оврагов) показали, что доля летнего прироста в годовом цикле развития оврагов колеблется от 0-5% в годы с отсутствием ливней с интенсивностью более 20 мм/сут. и до 34-92% в периоды выпадения ливней слоем более 50 мм за сутки. Среднее значение доли летнего прироста оврагов за многолетний период составляет 19,3% от годового.

Таблица 5.14

Результаты корреляционного анализа между среднегодовым приростом оврагов и метеорологическими показателями летнего периода на ключевых участках у г.Ижевск и с.Селты

Ключевые участки и показатели связи	X _{max}	Хд.м./Хд.н.	Хт.п.
Ижевск, г	-0,036	-0,156	-0,166
	η	0,460	0,201
	η^2	0,212	0,040
	B	4,21	0,25
Селты, г	0,172	-0,059	0,005
	η	0,511	0,586
	η^2	0,262	0,344
	B	4,65	6,83

Примечание. Достоверность показателей на уровне не менее 95%.

Кроме того, как упоминалось выше, с 1993 г. в окрестностях г.Ижевска нами проводились регулярные наблюдения за ростом оврагов после выпадения ливневых осадков. В анализ были включены также данные по приросту оврагов за летний период 1984 г., обусловленные упоминавшимся ливнем редкой интенсивности. Поскольку ГМС г.Ижевска ливневые осадки не регистрируются шпивографом, то их интенсивность оценивалась величиной полусуточного слоя.

Анализ полученных результатов свидетельствует о наличии весьма тесной зависимости ($r = 0,845$; $\eta = 0,887$; $\eta^2 = 0,787$; $B = 2,04$) между приростом оврагов в длину и полусуточной суммой ливневых осадков (рис. 57). Судя по графику, при полусуточном слое осадков менее 24 мм, средний прирост оврагов сильно варьирует в небольших интервалах значений, близких к нулевому. Если полусуточный слой ливневых осадков превышает названную величину, то рассматриваемая связь приобретает практически функциональную зависимость.

Связь оказывается еще более тесной ($r = 0,893$; $\eta = 0,918$; $\eta^2 = 0,843$; $B = 1,29$), если рассматривать не средние, а максимальные значения прироста оврагов на ключевых участках (рис. 58). Последняя зависимость является более объективной, поскольку интенсивность ливней сильно различается даже в пределах относительно небольших территорий. Анализ графика показывает, что он в общих чертах аналогичен вышеописанному.

Полученные результаты свидетельствуют, что критическим (пороговым) для интенсивного роста оврагов являются значения полусу-

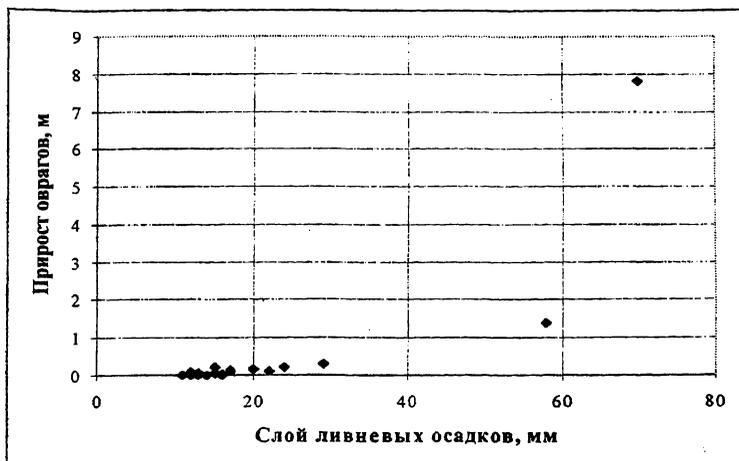


Рис. 57. Зависимость среднего прироста оврагов от полусуточного слоя ливневых осадков на ключевых участках у г.Ижевска

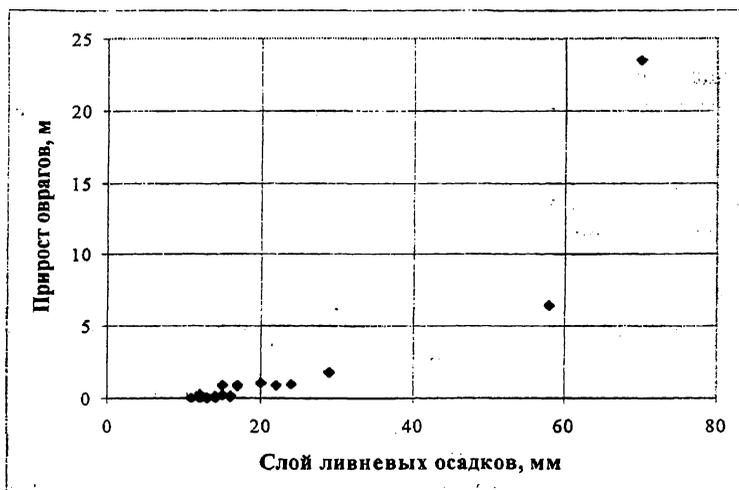


Рис. 58. Зависимость максимального прироста оврагов от полусуточного слоя ливневых осадков на ключевых участках у г.Ижевска

точного слоя ливней, близкие к 60 мм. В случае превышения этой величины наблюдается катастрофически быстрый рост оврагов. Например, после ливня 5 августа 1984 г. максимальный прирост оврага составил 23,5 м. При этом основная эрозионная работа совершалась в период с 12 ч. 40 мин. до 15 ч. 05 мин., когда наблюдалась наибольшая интенсивность ливня.

Летний прирост оврагов в значительной мере определяется также условиями весеннего стока и особенно датой выпадения ливней и его продолжительностью. Иногда существенный прирост вершины оврага летом происходит за счет обрушивания карниза над эрозионной нишей, выработанного в весенний период. Обрушение карниза может произойти даже при отсутствии стока, например, под тяжестью сельскохозяйственной техники во время полевых работ или при проезде грузового транспорта по полевой дороге, огибающей вершины оврагов. Последний случай наблюдался нами летом 1996 г. у д.Фертики Воткинского района, когда вершина оврага в результате обрушения карниза выросла сразу на 1,5 м.

Таким образом, значительно меньший объем ливневого стока по сравнению с половодным, кратковременность его воздействия и нерегулярный характер, а также высокие водопоглотительные и защитные свойства почвенного покрова определяют незначительный прирост оврагов в летний период.

Ведущая роль весеннего стока в развитии оврагов связана с большой ежегодной массой талых вод, подходящих к вершинам оврагов, их продолжительным воздействием - до 10-15 дней и более. При этом интенсивность стока талых вод существенно зависит от накопленных в снеге запасов воды, температурного режима в период снеготаяния, глубины промерзания почв и их влагоемкости.

Рассмотренные выше показатели характеризуют условия, в которых с той или иной интенсивностью развиваются овраги. Они лишь ускоряют или замедляют процесс развития овражной эрозии. Для современных оврагов главным фактором возникновения явился человек. Его деятельность, направленная на вырубку (ранее - выжигание) лесов и распашку земель, явилась тем спусковым механизмом, который освободил эрозию от ее естественного тормоза - сплошного покрова травянистой или древесно-кустарниковой растительности. Талые снеговые и, в меньшей степени, ливневые осадки, сконцентрировавшись по естественным понижениям рельефа, оказались в состоянии размывать верхние обнаженные слои почво-грунтов и заложили сеть форм современной линейной эрозии временных водотоков.

6. ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ОВРАЖНОЙ ЭРОЗИИ

6.1. МЕТОДИКА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ

В географической науке, как и других, широко используются различные методы прогнозирования, число которых продолжает увеличиваться. Т.В. Звонкова (1987) все методы прогнозирования делит на две группы: логические и формализованные. К логическим методам, которые основаны на применении определенной последовательности мыслительных операций, относятся методы индукции и дедукции, экспертных оценок, аналогий и системного анализа. Формализованные методы основаны на использовании источников фактографической информации, они объединяют методы прогнозной экстраполяции и интерполяции, статистический, аналитический и различные виды моделирования.

Прогнозирование развития процессов овражной эрозии является наиболее актуальной задачей для народного хозяйства и связано с планированием противоэрозионных мероприятий. В литературе для прогнозирования овражной эрозии обычно применяют различные расчетные показатели, характеризующие оврагоопасность территории (Косов, 1971; Овражная..., 1989 и др.). Одна группа этих показателей включает предельные размеры оврагов (длина, глубина, ширина, объем), которые могут быть достигнуты в конкретных природных условиях. Другая группа показателей отражает динамику развития оврагов и их предельно возможное количество на склонах водосборов долинно-балочной сети в различных вариантах хозяйственной освоенности территорий.

Прогноз оврагообразования обычно рассчитывается по эмпирическим зависимостям, связывающим показатели овражности территории (густота, плотность, частота и др.) с ее природными характеристиками, полученными на основе статистической обработки большого массива данных картографических и аэрокосмических материалов. Полученные таким трудоемким способом расчетные значения овражности территории не всегда соответствуют действительности.

Так, по данным исследований группы авторов (Веретенникова, Зорина и др., 1995), вследствие дальнейшей интенсификации

хозяйственной деятельности (увеличение распаханности свыше 70% и уменьшение лесистости) в Удмуртии прогнозные значения густоты оврагов составляют $1,0 \text{ км/км}^2$ и соответственно плотности – $4,1 \text{ ед/км}^2$. По сравнению с современными показателями густота овражной сети возрастает почти в 50 раз, а плотность – более 400 раз. Если принять во внимание, что современная распаханность сельскохозяйственных угодий в республике составляет 82%, причем в южных районах во многих хозяйствах процент пахотных угодий превышает 75-80% от всей площади и отмечается тенденция их сокращения (об этом подробнее в следующем разделе), то полученные прогнозные характеристики явно не реальны.

Наблюдения показывают, что новые овраги возникают чаще всего там, где появление их теоретически маловероятно и на первый взгляд трудно объяснимо. Лишь детальный анализ условий оврагообразования позволяет установить главные причины их появления, в качестве которых часто выступают малозаметные и обычно не учитываемые при моделировании факторы. Это могут быть факторы антропогенного происхождения (случайные колеи на склонах, неправильная обработка пахотных земель и т.п.) и связанные с природными особенностями территории (наличие погребенных эрозионных форм, локальное распространение легкоразмываемых пород, активность тектонических структур и др.).

По мнению Т.В. Звонковой (1987), прогнозы, получаемые на основе математических моделей, не точнее прогнозов, выполненных более простыми средствами, например, методом экстраполяции, являющимся одним из старейших и популярных методов прогнозирования. Данный метод основан на экстраполяции тенденций, т.е. одновременном свойстве инерционности некоторых явлений и направленности их изменений. Метод экстраполяции, отражающий эволюционный путь развития, широко используется в географической науке и других отраслях знаний. Получил известность применение метода экстраполяции в картографических исследованиях для определения общих закономерностей развития объектов по разновременным картам.

Основные положения данного метода использованы нами для прогнозирования овражной эрозии в Удмуртии. Фактологической основой прогноза послужили данные о скорости роста оврагов за последние 38 лет, полученные по АФС разных лет залетов и путем непосредственных наблюдений на полевых стационарах. Общая тенденция развития овражной эрозии, характерная для ключевых участков, должна соответствовать в целом и для оврагообразования на всей территории республики. Поскольку пораженность территории

оврагами и динамика их развития сильно различаются в силу разнообразия природных условий и хозяйственной деятельности, то и локальные характеристики тенденций овражной эрозии не будут сходными.

Чтобы определить тенденцию оврагообразования за последние 2,5 – 3,0 десятилетия для территории всей республики и отдельных водосборов нами сравнивались разновременные карты овражности, построенные по единой методике (рис. 19, 22). Выше указывалось, что первые карты овражности были построены путем дешифрирования АФС и использования аэрофотопланшетов залетов 1957-1960-х гг. Таким образом, сопоставление двух разновременных карт густоты овражной сети позволяет выявить тенденцию развития овражной эрозии за последние 20-30 лет. Для большей части исследуемой территории период повторных аэросъемок составляет около 23-25 лет. Поскольку считается, что глубина прогнозной экстраполяции не должна превышать половину или даже треть базисного периода, то в данном случае полученная тенденция может сохраниться 10-12 лет при не изменяющихся природных условиях и характере хозяйственной деятельности.

Для характеристики прогнозируемой величины овражности использовался показатель, полученный как отношение изменения протяженности овражной сети к количеству вершин оврагов в пределах элементарного водосбора. 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, значение его делим на количество лет между аэросъемками. Таким образом получаем изменение длины на единицу оврага в пределах элементарного водосбора за один год, выраженное в м/год. Этот показатель следует называть **тенденцией оврагообразования**.

Тенденция оврагообразования характеризует направленность развития овражной эрозии за последние десятилетия в пределах элементарных бассейнов. Данный показатель отражает соотношение двух процессов: скорости роста вершин оврагов и интенсивности склоновых процессов (зарастания оврагов), поэтому его величина может быть положительной и отрицательной. Положительное значение тенденции овражной эрозии свидетельствует о преобладании на данной территории оврагов, находящихся на начальных стадиях развития. При его отрицательном значении доминирующими являются овраги в стадии затухания, поэтому здесь интенсивнее происходит выполаживание и

зарастание их склонов, они превращаются в лога или логовины, поэтому протяженность оврагов сокращается.

Тенденцию 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.

Тенденцию оврагообразования ни в коем случае нельзя отождествлять со средней многолетней скоростью роста оврагов. Величина последних обычно всегда положительная или же равна нулю.

Тенденцию развития овражной эрозии важно учитывать при планировании средств на противоэрозионные мероприятия и особенно при выборе способов борьбы с оврагами.

Применение для прогнозирования различных природных и природно-антропогенных процессов разновременных аэрокосмических фотоснимков является наиболее перспективным, поскольку в этом случае возрастает достоверность и объективность прогноза, аэрофотоматериалы и космические снимки становятся более доступными и качественными, наконец, появляются компьютерные методы их обработки.

6.2. ПРОСТРАНСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ ТЕНДЕНЦИИ ОВРАГООБРАЗОВАНИЯ

Сопоставление разновременных карт овражности позволяет оценить общую направленность (тенденцию) современного оврагообразования как по отдельным элементарным водосборам, так и по крупным речным бассейнам и в целом по всему региону.

Количественные показатели изменения протяженности и числа вершин оврагов по основным речным бассейнам Удмуртии представлены в нижеприведенной таблице.

Анализ табличных данных показывает, что в целом по республике за рассматриваемый период произошло уменьшение суммарной длины овражной сети на 18742 м. Как уже упоминалось выше, наиболее существенные изменения протяженности оврагов наблюдаются на правом берегу р.Кама и в бассейне р.Вала. Количество же вершин оврагов, наоборот, в большинстве речных бассейнов увеличилось (за исключением правобережья 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 в последние годы в бассейнах р.Чепца и р.Вала. Показатель тенденции оврагообразования изменяется в пределах республики в больших пределах. Положительная тенденция оврагообразования для отдельных ранее безовражных водосборов может достигать 12-14 м/год. Положительная тенденция овражной эрозии отмечается в пределах 268 элементарных водосборов, из них 76% характеризуются невысоким значением (менее 4м/год) рассматриваемого показателя. Очень высокие показатели тенденции (более 8м/год) наблюдаются лишь в пределах 21 водосборного бассейна.

Таблица 6.1

Динамика протяженности и количества вершин овражной сети за последние десятилетия по речным бассейнам Удмуртии

Речные Бассейны	Количество элементарных водосборов		Изменение протяженности овражной сети, м	Изменение количества вершин оврагов, ед.
	Всего	Из них с оврагами		
Правобережье Чепцы	160	27	+4856	+54
Левобережье Чепцы	250	49	+12347	+148
Кильмезь	150	14	+9908	+46
Вала	184	84	+39834	+97
Левобережье Вятки и Тойма	103	82	-6342	+9
Иж	208	157	+13613	+22
Сива	71	47	-4359	-14
Правобережье Камы	68	68	-86901	-92
Левобережье Камы	25	6	-1698	+2
Всего:	1285	534	-18742	+272

Примечание. (+) - увеличение, (-) - уменьшение

Отрицательная тенденция оврагообразования характерна для 304 речных бассейнов, где в настоящее время интенсивность зарастания оврагов выше скорости роста их вершин. Максимальные значения анализируемого показателя достигают – 7-9 м/год, что наблюдается лишь в пределах 9 речных водосборов. Подавляющее большинство элементарных бассейнов (128) имеет низкий показатель тенденции, не превышающий – 2 м/год.

Для удобства пространственного анализа тенденции современного оврагообразования была построена карта-схема в масштабе 1: 300000, где значения анализируемого показателя были разделены на 14 градаций (рис. 59).

Карта-схема показателей тенденции оврагообразования свидетельствует о неравномерном ее распределении по территории республики. Средние значения тенденции овражной эрозии для основных речных бассейнов Удмуртии приведены в таблице 6.2.

Таблица 6.2

Средние значения тенденции оврагообразования по основным речным бассейнам Удмуртии

Речные бассейны	Количество элементарных бассейнов		Средние значения тенденции оврагообразования, м/год
	Всего	С современными и бывшими оврагами	
Верховья Вятки и Камы	66	-	-
Правобережье Чепцы	160	32	1,73
Левобережье Чепцы	250	58	1,74
Кильмезь	150	22	3,12
Вала	184	93	2,62
Левобережье Вятки и Тойма	103	85	-0,47
Иж	208	157	0,47
Сива	71	51	-0,86
Правобережье Камы	68	68	-1,77
Левобережье Камы	25	6	-1,54
Всего	1285	572	-0,17

Для бассейна Чепцы в целом преобладают положительные значения тенденции оврагообразования (1,0 – 3,5 м/год). На ее правобережье активизация овражной эрозии наблюдается на отдельных водосборах рек Лып, Верхний Пызеп, Люк, Варыж, Пышкец, Тум и Костромка. Наибольшая потенциальная оврагоопасность характерна для водосборных бассейнов рек Крет, Старые Сири (5 - 7 м/год) и в особенности - р. Костромка и р. Баяранка (10-12,3 м/год). На некоторых водосборах отмечается затухание овражной эрозии: низовье р. Юс, р. Омыть, р. Люли и р. Пудем (-0,7 - -4,9 м/год).

Аналогичная тенденция наблюдается и на левобережье р.Чепца. Активизация оврагообразования здесь выявлена для бассейнов рек Медла, Сылызь, низовий Иты и Лозы, р. Юнда, верховий р.Убыть, р. Лекма и р. Сада. В пределах названных территорий анализируемый пока-

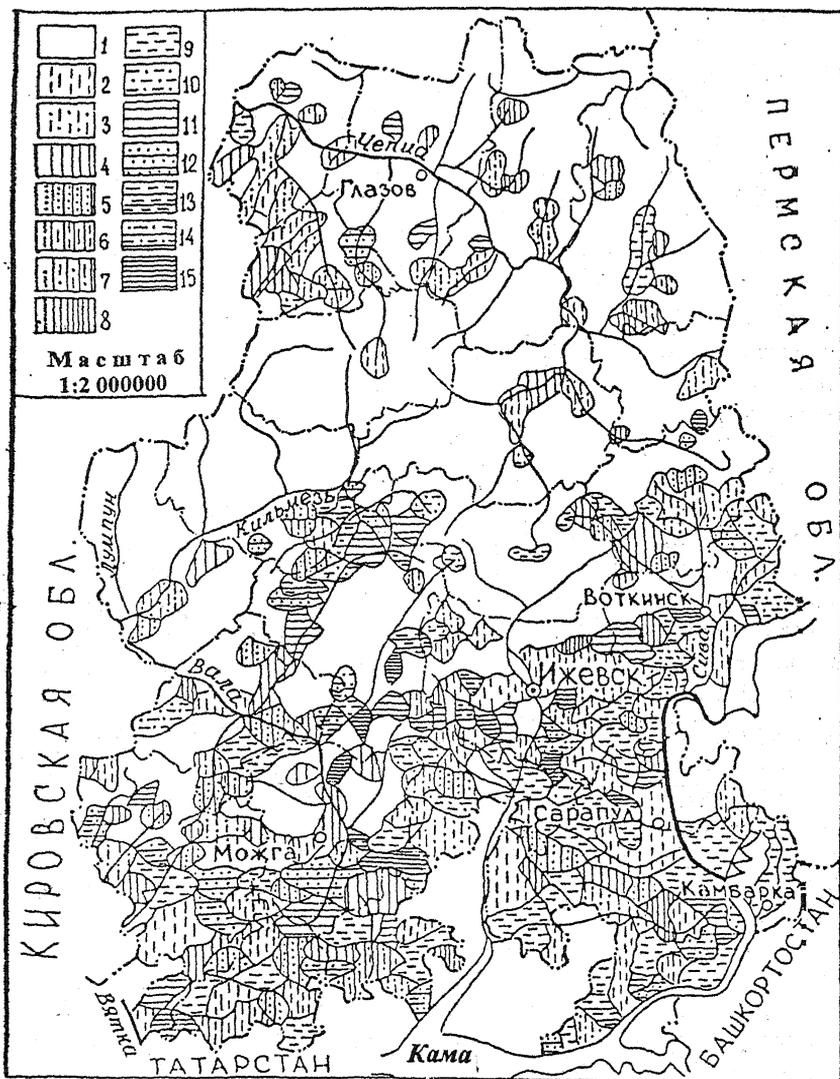


Рис. 59. Тенденция современного оврагообразования для речных бассейнов Удмуртии.

Уловные обозначения (м/год): 1. 0; 2. 1,0 и менее; 3. 1,0 – 2,0; 4. 2,0 – 4,0; 5. 4,0 – 6,0; 6. 6,0 – 8,0; 7. 8,0 – 10,0; 8. Более 10,0; 9. – 0,5 и более; 10. – 0,5 – –1,0; 11. – 1,0 – –2,0; 12. – 2,0 – –4,0; 13. – 4,0 – –6,0; 14. – 6,0 – –8,0; 15. Менее – 8,0

затель изменяется в пределах 1,0-9,5 м/год, достигая максимальных значений на водосборе безымянной речки, протекающей через д. Кесшур Юкаменского пайона. Снижение активности оврагообразования наблюдается в бассейнах рек Тыловойки, низовий Нязь, Кестымки, Парзи, Гулекшура, Кыпкашура, Уни, верховий Пажмы, Лумпы и Лумповки (-1,0 - -6,0 м/год).

Оврагообразование в бассейне р.Кильмезь наблюдается только лишь на ее более возвышенном левобережье, где отмечается ее максимальная активизация (3,1 м/год). Здесь наиболее опасными в отношении развития овражной эрозии являются водосборные бассейны рек верховий Арлети, Сюныга, Чупровайки, Сюмсилки и другие. Наибольшее значение показателя тенденции оврагообразования имеет бассейн р. Силепурки (9,4 м/год). Интенсивное зарастание оврагов происходит в бассейнах рр.Кыркызыя, Шаклейка, Пажгуртка, Жагилка и низовий Нузыка (-2,3 - -7,4 м/год).

В последние годы активное развитие оврагов происходит и в бассейне р.Вала, свидетельством тому служит высокое для данной территории среднее значение тенденции оврагообразования (2,62 м/год). Максимальные значения этого показателя (8 – 14 м/год) получены для следующих речных бассейнов: верховий р.Пычас и р.Сюги, р.Пазялки, р.Кельвай, р.Лумпо, р. Итчи, низовий рр. Увы и Валы. В некоторых бассейнах наблюдается заметный спад активности овражной эрозии: верховья р.Валы, низовья р.Пычас, р.Ныша, верховья р.Сюгинки, р.Нылга, р.Лудзя, верховья рек Увы, Какможа и Пижила (-0,9- -6,8 м/год).

В отличие от рассмотренных территорий в бассейнах левобережья р.Вятки и р.Тойма 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 немного прибавилось. Угроза активизации линейной эрозии наиболее актуальна здесь для водосборов р.Пыжманка, верховий Люги и Умяка, р.Адамка, р.Ямышка и р.Лубянка. Показатели тенденции оврагообразования для них в среднем составляют 4 - 6 м/год. В бассейне р.Тойма высокой оврагоопасностью характеризуются ее верховья и правые притоки: р.Колтымак, р.Ерыкса и р.Юрашка.

Овраги в значительной степени исчерпали потенциал для своего дальнейшего развития в пределах водосборов следующих рек: верховий и низовий Казанки, низовий Люги, р.Ишек, низовий Умяка, Алнашки, Колтымака (лев.), Возжайки и других. Для них обычны отрицательные

значения тенденции овражной эрозии, изменяющиеся от $-0,1$ до $-9,6$ м/год.

Для бассейна р.Иж среднее значение тенденции оврагообразования положительное, хотя ее величина сравнительно небольшая ($0,47$ м/год). Данный показатель обусловлен за счет возросшей длины овражной сети и незначительного увеличения количества ее вершин. Результаты расчетов подтверждаются и данными полевых исследований: здесь, как правило, встречаются длинные одиночные овраги, редко разделяющиеся на многочисленные отвершки. В настоящее время активное формирование линейных форм эрозии временных водотоков отмечается в пределах водосборов рек низовий Позими и Пироговки, Постолки, Агрызки, Юринки, Утядинки и большинства притоков Кырыкмаса, где максимальные значения анализируемого показателя достигают $10-12$ м/год.

Отрицательная тенденция 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 р.Позимь, рр.Сепыч, Яганка, верховий р.Чаж, рр. Варзи, Варзинка, верховий р.Кырыкмас и ее отдельных притоков. Значения рассматриваемого показателя здесь чаще всего составляет $-1,5 - -3,0$ м/год.

Существенное уменьшение общей протяженности овражной сети наблюдается и для бассейна р.Сивы, поэтому среднее значение тенденции оврагообразования оказалось здесь отрицательным ($-0,86$ м/год). Высокая потенциальная оврагоопасность сохраняется в бассейнах рек Сясякшур, Светлянки, Быгинки, Талицы, Билибки, притоков р.Шаркан в среднем течении, верховий р. Мал.Вотки, Ольховки и Удебки. Показатели тенденции овражной эрозии здесь обычно изменяются в пределах $0,3 - 2,0$ м/год и лишь на отдельных водосборах верховий р.Вотки и р.Шаркан достигают $3,5$ м/год.

Снижение активности оврагообразования установлено в следующих речных бассейнах: Лып, Кивара, Шегьянка, Вязовая, Бол.Билиб, низовья Мал.Вотки, Перевозная и другие. В пределах указанных территорий ранее активные овраги в настоящее время интенсивно зарастают, поэтому здесь преобладают отрицательные значения тенденции овражной эрозии ($-0,1 - -5,6$ м/год). Резкое снижение скорости роста оврагов отмечается и по данным стационарных наблюдений у д.Пужьегурт.

Наибольшее уменьшение суммарной длины и количества вершин оврагов произошло на правобережье р.Камы. 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. Из этого не следует, что в настоящее время здесь не возникают новые овраги, но это происходит крайне редко и обычно связано с непосредственным влиянием хозяйственной деятельности человека. В местах появления "свежих" оврагов показатели тенденции овражной эрозии, как правило, оказываются положительными и изменяются в широких пределах: от 0,1 до 6,4 м/год. Активное оврагообразование продолжается в следующих речных водосборах : рр. Докшанка, Яромаска, Можинка, низовья Мал. и Бол.Сарапулок, Жидковка, Сухаревка, низовья Ветлянки, Селиха, Пермьянка, Каракулка, Бол.Емаша и другие.

В большинстве же речных бассейнов скорость роста вершин оврагов значительно уступает интенсивности склоновых процессов и их зарастанию, поскольку они находятся на последних стадиях развития. Показатели тенденции оврагообразования здесь отрицательные и в среднем составляют -2 - -4 м/год (рис. 59). К ним относятся: рр.Северная, Гольянка, Макаровка, Нечкинка, верховья Бол. и Мал.Сарапулок, Мулеш, верховья Ветлянки, Буториха, Кобылка, Решаковский, Чегандинка, Ижболдинка и другие.

На левобережье р.Камы также происходит сокращение длины овражной сети, хотя количество их вершин практически не изменилось. За исключением верховий р.Шолья, на большинстве заовраженных водосборов показатели тенденции оврагообразования оказались здесь отрицательными (менее -2,0 м/год), что свидетельствует об их более интенсивном зарастании, нежели росте.

Таким образом, сопоставление разновременных карт овражности позволяет выявить тенденцию оврагообразования на ближайшие годы. Полученные результаты в общем согласуются с данными полевых экспедиционных исследований, что позволяет считать их достоверными. Следует учитывать, что снижение активности овражной эрозии в большей мере относится к южной половине республики, где выше и степень ее овражного расчленения. В северных же районах и в бассейне р.Кильмезь наблюдается усиление процессов оврагообразования и в основном за счет появления "новых" оврагов на "неосвоенных" ими до этого землях. Главным стимулом для их возникновения является отсутствие в хозяйствах научно-обоснованных почвозащитных систем земледелия, созданных на ландшафтной основе.

6.3 О СОВРЕМЕННОМ ТРЕНДЕ ОБРАЖНОЙ ЭРОЗИИ

Результаты исследования показывают, что овражная эрозия в Удмуртии получила широкое развитие. Но распространение ее по территории характеризуется значительной неравномерностью. Неравномерным является развитие овражных форм и во времени, в связи с чем возникает ряд вопросов, требующих рассмотрения.

1. Прогрессирует овражная эрозия в последние десятилетия, остается стабильной или затухает?
2. Существуют ли пространственные различия в трендах современного оврагообразования?
3. Каковы причины временной изменчивости в развитии овражной эрозии?

Для решения поставленных задач использовались данные многолетних стационарных наблюдений. В целях объективности при сопоставлении данных здесь анализируются лишь те стационары, наблюдения на которых ведутся с 1978 г. В первый год наблюдения оврагов насчитывалось 120 и все они являлись активно растущими. В настоящее время они находятся на различных стадиях развития, некоторые уже прекратили свой рост. Кроме них в наблюдение вовлекались и вновь появившиеся на участках овраги, поэтому количество изучаемых оврагов увеличилось до 130.

Анализ результатов многолетних стационарных наблюдений показывает, что отчетливо наблюдается неравномерный, пульсационный характер роста оврагов. На графике годового прироста оврагов отчетливо прослеживается его циклический характер с 12-13-летним интервалом и слабо выраженным нисходящим трендом (рис. 60). Полученное методом наименьших квадратов уравнение линейного тренда годового прироста оврагов имеет следующий вид:

$$V = -0,025T + 1,55,$$

где T - время (порядковый номер года), принимая за единицу 1978 г.

Для характеристики аномальных проявлений эрозии воспользуемся классификацией казанских геоморфологов (Дедков и др., 1992), основанной на анализе вероятности стока взвешенных наносов (табл. 6.3).

Скорости прироста вершин от года к году изменяются в несколько раз, вплоть до полного затухания процесса. Крупная положительная аномалия интенсивности овражной эрозии отмечена в

1979 г. (P=5%), имеются также две малые положительные аномалии, приходящиеся на 1991 (P=10%) и 1990 (P=15%) гг. Резкое снижение интенсивности овражной эрозии зафиксировано в 1983 (P=95%), 1996 (P=90%) и 1984 (P=85%) гг. (рис. 60). Такой пульсационно-циклический характер роста оврагов обусловлен преимущественно влиянием гидрометеорологических условий, о чем указывалось выше, и что подтверждается данными корреляционного анализа. Причем, наиболее тесной оказывается связь между годовым приростом оврагов и интенсивностью половодного стока.

Таблица 6.3

**Типы аномалий эрозии на основе вероятности стока
взвешенных наносов (Дедков и др., 1992)**

Тип аномалий	Вероятность (%) величины стока наносов (P)	
	Положительные аномалии	Отрицательные аномалии
Экстремальная	<3	>97
Крупная	3 - 6	94 - 97
Малая	6 - 15	85 - 94

Чтобы получить объективное представление о тенденции оврагообразования, необходимо проследить динамику соотношения вновь появившихся и прекративших свой рост (заросших) оврагов на ключевых участках. Если в первые 5 лет наблюдений появилось 5 новых оврагов, то за последние 6 лет возник лишь один. Совершенно иная картина вырисовывается в отношении количества заросших оврагов. За первые 5 лет наблюдений ни на одном участке не были зафиксированы овраги, прекратившие свой рост, а за последние годы количество их увеличилось более чем в 3 раза (рис. 60). Следует учесть, что в период очередной вспышки активности оврагообразования часть заросших оврагов может возобновить свой рост, как это наблюдалось в 1990, 1991 и 1994 гг., когда активизировались многие овраги, прекратившие свой рост в 1980-1989 гг.

Часть оврагов прекратила свой рост вследствие искусственного уменьшения их водосборной площади (строительство дорожной насыпи, обвалование вершин и др.). Многие достигли пределов своего роста естественным путем, значительно приблизившись к водоразделу. Таким образом, здесь наблюдается явная тенденция затухания овражной эрозии, что объясняется, в первую очередь, стадийностью процесса.

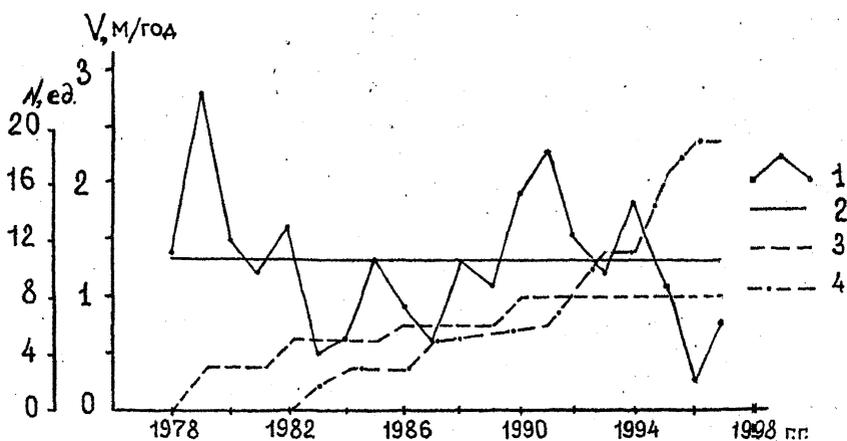


Рис. 60. Динамика развития оврагов на полевых стационарах в период 1978-1997 гг.

Условные обозначения: 1 – годовой прирост оврагов (м/год); 2 – средняя многолетняя скорость роста оврагов (м/год); 3 – кумулятивная кривая динамики появления новых оврагов (ед.); 4 – то же, заросших (прекративших рост) оврагов (ед.)

Чтобы определить среднегодовой прирост оврагов за период, предшествующий стационарным наблюдениям, использовались контактные аэрофотоснимки (АФС) масштаба 1 : 17 000-30 000 съемки 1957 - 1959, 1970 гг. и аэрофотопланы масштаба 1 : 10 000 1980 г. съемки. Для определения тенденции оврагообразования за более продолжительное время рассчитывался среднегодовой прирост оврагов на стационарах за периоды 1959-1970 гг. и 1970-1980 г.г. по аэрофотоматериалам соответствующих лет залетов, о чем указывалось в предыдущих разделах. Среднегодовой прирост оврагов за первый период составил 2,4 м/год, а за второй - 1,9 м/год. За весь период стационарных наблюдений анализируемый показатель уменьшился до 1,3 м/год. Следовательно, пульсационно-циклический ход развития оврагов за последние 4 десятилетия имеет все же нисходящий тренд.

Для подтверждения выводов о снижении активности современного оврагообразования, полученных на основе анализа динамики прироста оврагов на ключевых участках, нами было проведено по аэрофотоснимкам трехкратное картирование густоты овражной сети в пределах западных и южных районов Удмуртии, охватывающих около 65

% площади ее территории, где сосредоточено 97 % оврагов по протяженности и 93 % по количеству. Выбор территории ограничивался наличием аэрофотоматериалов близких по годам залетов. Первые карты овражности на указанные районы были построены путем дешифрирования АФС 1957 - 1959 гг. залетов, повторное картирование проводилось по АФС 1970 г. залета. В последний раз протяженность оврагов в пределах ранее выделенных элементарных водосборов определялось по аэрофотопланам 1986-1990 г.г. залетов.

Анализ полученных материалов доказывает снижение интенсивности овражной эрозии на всей территории за рассматриваемый период. С начала первых аэросъемок общая протяженность овражной сети в пределах анализируемой территории составляла 961,1 км, за исследуемый период она сократилась более чем на 35 км, уменьшилась и средняя густота оврагов (табл. 6.4). Снижение протяженности и густоты овражной сети по всей республике показывают и результаты определения современной тенденции оврагообразования, о чем указывалось в предыдущем разделе.

Таблица 6.4

Изменение овражной расчлененности по отдельным речным бассейнам Удмуртии за период между повторными аэросъемками

Речные бассейны	Годы аэросъемок					
	1957 - 1959		1970		1986-1990	
	Суммарная длина оврагов, м	Густота оврагов, м/км ²	Суммарная длина оврагов, м	Густота оврагов, м/км ²	Суммарная длина оврагов, м	Густота оврагов, м/км ²
Кильмезь	8770	1,8	11054	2,2	18632	3,7
Вала	64990	10,0	68630	10,6	112366	17,3
Левобережье Вятки и Тойма	115210	29,6	112890	29,0	108243	27,8
Иж	179420	24,2	180365	24,4	188038	25,4
Сива	25356	10,4	24544	10,0	21424	8,8
Правобережье Камы	558260	233,6	527407	218,2	469361	196,4
Левобережье Камы	8630	6,6	7980	6,1	6932	5,3
По всем бассейнам	960636	33,2	932870	32,2	924996	32,0

Но обращает на себя внимание возрастание протяженности и соответственно густоты оврагов в бассейнах рек Ижа, Кильмези и особенно Вала, характеризующихся сравнительно невысокой овражной расчлененностью. Поскольку в характере использования и обработки земель нет существенных различий, то влияние антропогенного фактора

здесь исключается. Не выявлено региональных аномалий и в гидрометеорологических условиях весеннего периода.

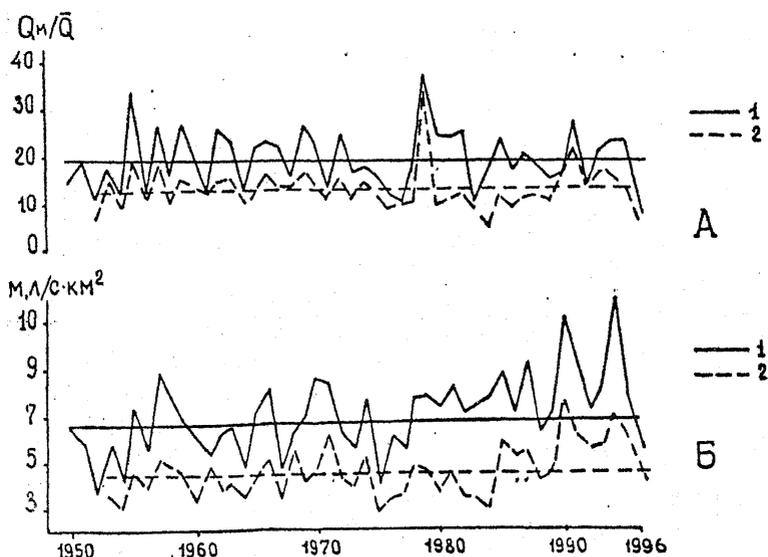
Восходящий тренд в вышеназванных бассейнах предположительно связан с экстремально интенсивными ливнями, вызвавшими здесь местную вспышку активности оврагообразования. Действительно, в бассейне р.Вала гидрометеостанцией г.Можга в ночь с 28 на 29 июня 1986 г. был зарегистрирован ливень со слоем осадков 98 мм. Аналогичной силы ливень был зафиксирован 5 августа 1984 г. метеопостом с. Новые Зятцы (бассейн р. Кильмезь), когда суточный слой осадков составил 97 мм. В этот же день в г. Ижевске также прошли интенсивные ливни с суточным слоем осадков 80 мм, а через день повторился ливень с суточным слоем 48 мм. В результате этих ливней в окрестностях г. Ижевска появилось много новых оврагов, а на существующих был отмечен значительный прирост. Таких аномально интенсивных ливней на других метеостанциях и постах республики за весь рассматриваемый период не наблюдалось.

Полученные результаты свидетельствуют в общем о снижении интенсивности овражной эрозии на юге лесной зоны Вятско-Камского междуречья за последние 40 лет. На значительное сокращение растущих оврагов и возрастание доли зарастающих и закрепленных овражных форм для отдельных регионов юга Нечерноземья указывал также Б.Ф. Косов (1981). Аналогичная ситуация наблюдается и в Среднем Поволжье (Миронова, Сетунская, 1980; Овражная..., 1990). На основе расчетных данных А.Ю. Сидорчук (1995) также убедительно показал о существенном сокращении суммарной эрозии за последнее столетие по сравнению с предыдущим на территории Нечерноземья Европейской части России. Снижение интенсивности эрозии в последние десятилетия в лесостепи и степи Восточно-Европейской равнины доказывают и исследования А.П.Дедкова, В.И.Мозжерина, Г.Р.Сафиной (1996), это подтверждают и данные по стоку взвешенных наносов, полученные для северо-запада лесной зоны Бобровицкой (1991).

Имеются сведения и об активизации овражной эрозии за последние 120 лет, полученные по территории Южного Приуралья (Рождественский и др., 1972). О возрастании скорости эрозии и аккумуляции с середины 1950-х годов в степной и лесостепной зонах Европейской части России указывают исследования В.Н.Голосова и др. (1992, 1996), основанные на применении радиоизотопного метода.

Среди различных методов оценки интенсивности эрозионных процессов самым объективным, по мнению Н.И.Маккавеева [1955] и ряда других исследователей, является метод анализа твердого стока. На

большинстве гидропостов региона регулярные наблюдения за стоком взвешенных наносов были начаты лишь в 1960-х гг., причем по ряду лет они ненадежны или вообще отсутствуют. Поскольку существует прямая зависимость стока наносов от жидкого стока, которая усиливается в мало залесенных бассейнах (Дедков, Мозжерин, 1984), то проанализируем динамику годового и интенсивности половодного стока р.Вала (с. Вавож) и р. Лумпун (д.Шмыки), являющихся наиболее близко расположенными к полевым стационарам и имеющие достаточно продолжительный период наблюдений (рис. 61). Площадь водосбора р. Вала выше створа гидропоста - 4770 км², лесистость - 37%, соответственно для р. Лумпун - 1210 км² и 31%.



ис. 61. Динамика интенсивности половодного (А) и модулей годового (Б) стока р.Лумпун (1) и р.Вала (2) в 1950 – 1996 гг.

Интенсивность половодного стока для данных рек, рассчитанная как отношение максимального расхода весеннего половодья к норме годового стока, также имеет нисходящий тренд (рис. 61А). Полученные уравнения линейного тренда имеют следующий вид:

$$Q_{л} = -0,032T + 19,69,$$

где Q_L - интенсивность половодного стока р. Лумпун, T - время (порядковый номер года, начиная с 1950 г.);

$$Q_B = -0,044T + 13,61,$$

где Q_B - интенсивность половодного стока р. Вала, T - время (порядковый номер года, начиная с 1952 г.).

Изменчивость показателя интенсивности половодного стока для р. Лумпун выражена резче, чем для р. Вала вследствие различий их водосборных площадей. Так, для р. Лумпун стандартное отклонение (σ) составляет 6,3, коэффициент вариации (C_V) 33,2, а для р. Вала соответственно $\sigma=4,7$; $C_V=37,3$.

В соответствии с вышеприведенной классификацией экстремальными по интенсивности половодного стока для р. Лумпун являются 1979 г. (P-2%) и 1996 г. (P-98%), к крупным относятся положительные аномалии 1955 и 1957 гг. и отрицательные 1977, 1983 гг. Для р. Вала 1979 г. также относится к экстремальному, но здесь 1996 г. переходит в разряд крупных отрицательных аномалий, а экстремальным является 1984 г. (табл.6.5). Причем, положительные аномалии 1955, 1957, 1979 гг. и отрицательные 1952, 1976, 1984 гг. выделяются таковыми и для некоторых рек Среднего Поволжья по стоку взвешенных наносов (Дедков и др., 1992). Следовательно, они имеют региональный характер, в отличие от локальных, проявляющихся только в пределах одного бассейна.

Наиболее быстрый рост оврагов отмечается в годы с положительными аномалиями интенсивности половодного стока, снижение активности оврагообразования обычно приурочено к годам с отрицательной аномалией. Это отчетливо видно при сопоставлении соответствующих графиков (рис. 60, 61А) и подтверждается данными корреляционного анализа (р.Лумпун, $r = 0,75$; р. Вала, $r = 0,85$).

В отличие от интенсивности половодного стока модули годового стока анализируемых рек имеют устойчивую тенденцию к возрастанию (рис.61Б). Полученные уравнения линейного тренда имеют следующий вид:

$$M_L = 0,048T + 5,71,$$

где M_L - модуль годового стока р. Лумпун,

T - время (порядковый номер года, начиная с 1950 г.);

$$M_B = 0,031T + 3,77,$$

где M_B - модуль годового стока р. Вала,

T - время (порядковый номер года, начиная с 1953 г.).

Таблица 6.5

**Общая характеристика годовых аномалий половодного стока в
бассейнах р.Лумпун и р. Вала в 1950-1996 гг.**

Река (пункт)	Сток, м ³ /с		Годы аномалий <i>положительные/отрицательные</i>		
	Максималь- ный весенний	Годовая норма	Экстремальных	Крупных	Слабых
Лумпун (Шмыки)	292	8,1	1979/1996	1955/1983, 1957/1977	1959/1952, 1991/1976, 1962/1954, 1969/1961
Вала (Вавож)	707	21,4	1979/1984	1991/1996	1955/1952, 1957/1983, 1969/1986, 1966/1976

Различия в изменчивости значений годового стока рек выражены не столь резко, как это наблюдалось в первом случае. Стандартное отклонение для р. Лумпун составляет 1,5, коэффициент вариации 22,9, соответственно для р. Вала $\sigma = 1,1$, $C_v = 24,6$.

К положительным аномалиям и экстремалиям регионального характера относятся 1994, 1990, 1991, 1985, 1971, 1957 гг., аномально низким был сток в 1952, 1975, 1954, 1967 гг., а также в 1976 и 1984 гг. (р. Вала) и в 1964, 1996 гг. (р. Лумпун). Причем наибольшие значения годового стока не всегда совпадают по времени с максимальными показателями интенсивности половодного стока (рис. 61). Анализ внутригодового распределения стока показывает, что в годы с интенсивным половодьем его продолжительность обычно короче, чем в многоводные годы и значительно ниже (в 1,5-2 раза) летне-осенний сток.

Связь между величиной годового стока рек и показателем роста оврагов не обнаруживается (рис. 60, 61Б), что подтверждается и данными корреляционного анализа (р.Лумпун, $r = 0,34$; р.Вала, $r = 0,01$).

Выявляющееся возрастание годового и снижение интенсивности половодного стока в бассейнах двух рек хорошо согласуется с результатами исследований группы авторов (Дедков, Бутаков и др., 1993), согласно которым за последнее столетие на востоке Русской равнины отмечается тенденция усиления увлажненности и уменьшения континентальности климата. Таким образом, отмеченное уменьшение континентальности климата проявляется в уменьшении неравномерности стока, что обуславливает и снижение интенсивности овражной эрозии.

Затуханию овражной эрозии способствовало и значительное сокращение, особенно после 1985 г. пахотных земель (рис. 62). Наиболее высокой распаханность территории Удмуртии была в 1955 г. (38,6 %), а к 1997 г. она уменьшилась до 35,3 %. Основными причинами сокращения площади пашни являются: изъятие нарушенных (эрозия, нефтедобыча и др.) земель, отвод под строительство различных объектов и передача под коллективные садово-огородные массивы. Анализ динамики структуры посевных площадей в республике показывает, что с 1950 г. показатель эрозионной опасности агроценозов имеет явную тенденцию к снижению (рис. 62). Для его расчетов использовались коэффициенты устойчивости различных сельскохозяйственных культур к эрозии с учетом влияния применяемых противоэрозионных агротехнических мероприятий (Лопырев, Рябов, 1989; Жаркова, 1987; и др.). Коэффициент эрозионной опасности почвы в значительной степени зависит от наличия на ней растительности и изменяется в широких пределах: от 1,0 для чистого пара до 0,01 для многолетних трав.

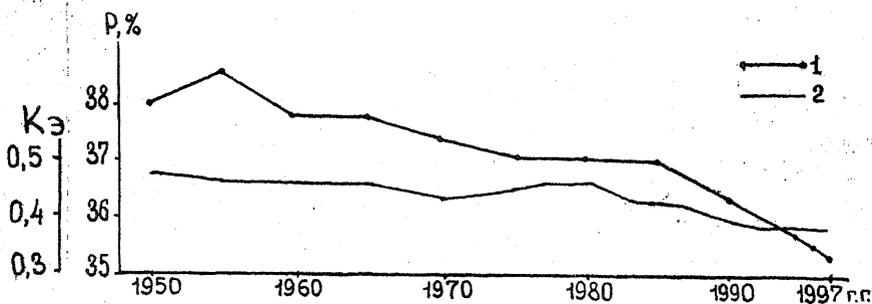


Рис. 62. Динамика распаханности земель и коэффициента эрозионной опасности посевных площадей территории Удмуртии в период 1950 – 1997 гг. Условные обозначения: 1 – распаханность (P, %), 2 – коэффициент эрозионной опасности (Kэ)

Устойчивое снижение показателя эрозионной опасности посевных площадей в последние 10-15 лет объясняется существенным возрастанием доли многолетних трав среди кормовых культур (табл. 6.6)

и влиянием противозерозионных мероприятий, которые внедрялись в хозяйствах республики до 1991 г. в значительных масштабах (Вараксина, Чирков, 1975; Генеральная схема..., 1987). Так, безотвальная обработка с сохранением стерни проводилась в 1990 г. на 32 % площади посевов зерновых культур, а в 1994 г. этот показатель снизился до 17,3 % (Национальный доклад..., 1995).

Кроме того, отмечается резкое снижение доли озимых зерновых и технических (лен-долгунец) культур. В последние годы 5 - 7 % площади пахотных земель не обрабатываются вследствие кризисной ситуации в экономике агропромышленного комплекса. Все это также содействует затуханию процессов оврагообразования.

Таблица 6.6

Динамика структуры посевных площадей Удмуртской Республики
(данные статистических ежегодников)

Сельскохозяйственные культуры	% от всей посевной площади								
	1950	1955	1965	1970	1975	1980	1985	1990	1996
Озимые зерновые	33,7	30,4	33,6	26,3	23,0	17,5	16,8	21,3	15,4
Ярвые зерновые и зернобобовые	45,3	41,2	31,6	35,3	39,6	45,4	42,1	31,5	37,8
Технические культуры	5,7	4,5	2,5	2,2	1,9	1,8	1,4	1,3	0,6
Картофель и овощи	5,4	5,8	6,9	6,1	5,7	4,3	3,7	3,5	5,0
из них картофель	89,9	89,9	93,9	92,2	92,3	90,1	91,7	92,9	87,6
Кормовые культуры	9,9	18,1	25,4	30,1	29,8	31,0	36,0	42,4	41,2
из них силосные	2,8	38,4	37,5	24,3	23,7	33,8	26,5	23,7	13,3
однолетние травы	8,8	5,6	25,7	16,5	13,7	18,9	12,7	18,8	15,4
многолетние травы	76,1	52,1	35,1	56,9	60,0	45,3	59,1	56,1	71,0
Итого	100	100	100	100	100	100	100	100	100

В 1977 г. Госкомитетом УР по земельным ресурсам и землеустройству нам были предоставлены из архивного фонда аэрофотопланшеты масштаба 1:10000 залетов 1934 г. Аэросъемкой была охвачена сравнительно небольшая территория, включающая отдельные бассейны левобережья р.Чепца и правобережья р.Сива, общей площадью чуть более 4,6 тыс. км². Качество изображения на аэрофотопланшетах практически не уступает современным.

В пределах 142 элементарных речных бассейнов были подсчитаны густота и плотность овражной сети по уже известной методике. Для сравнительного анализа использовались современные

данные (рис. 22) и полученные при первом картировании овражной сети (рис. 19).

Полученные результаты еще раз свидетельствуют о существенном сокращении овражной расчлененности за рассматриваемый период. Так, в пределах указанных бассейнов в 1934 г. суммарная протяженность овражной сети составила 120873 м, что соответствует средней густоте 26,03 м/км². Количество вершин оврагов насчитывалось 665, таким образом плотность составила 0,143 ед/км². При этом в пределах 65 речных водосборов оврагов не было обнаружено. Максимальное значение их густоты достигало 932,6 м/км², а плотности – 4,9 ед/км², они были отмечены в бассейне р.Бердь, являющейся правым притоком р.Сюрсовайка (лев. приток р.Ита).

Сопоставление полученных данных с результатами первого картирования овражной сети, проведенного по АФС 1957 – 1959 гг. залетов, показывает, что общая протяженность овражной сети уменьшилась в 2,6 раза, а количество вершин оврагов – в 2 раза. Таким образом средняя густота оврагов составила 9,93 м/км², а плотность – 0,071 ед/км². Количество безовражных бассейнов увеличилось до 84. Максимальное значение густоты овражной сети (104,5 м/км²) отмечено в бассейне р. Сивашур (лев. приток Чепцы), а плотности (1,67 ед/км²) – в выше упомянувшемся бассейне р.Бердь.

Характер уменьшения густоты овражной расчлененности в пределах анализируемых бассейнов за рассматриваемый период времени наглядно демонстрирует график (рис. 63), где на оси абсцисс (X) показаны значения логарифмов густоты оврагов в 1934 г., а на оси ординат (Y) – соответствующие показатели 1957 – 1959 гг. Здесь отсутствуют элементарные бассейны, характеризующиеся в обоих случаях нулевыми значениями густоты. Большинство точек на графике смещено к оси X, что свидетельствует о значительном снижении анализируемого показателя в конце 1950 – х гг. Об этом свидетельствует и низкий коэффициент корреляции между ними ($r = 0,217$).

Второй анализируемый период (с 1957 – 1959 гг. по 1987 – 1990 гг.) характеризуется незначительным уменьшением показателей овражной расчлененности, что также отражается на графике (рис. 64) и подтверждается более высоким коэффициентом корреляции ($r = 0,247$). Густота овражной сети снизилась лишь на 25,7%, а плотность – только на 4,2%. На фоне уменьшения средних показателей овражности отмечается увеличение количества заовраженных бассейнов до 72. Максимальная густота оврагов (66,1 м/км²) характерна для низовьев р.Шегьянка (лев.

приток р.Вотка), а наибольшая плотность (0,64 ед/км²) отмечена в бассейне р.Верх. Сюрзи (лев. приток р.Лекма).

Главной причиной резкого сокращения овражной сети за столь короткий первый период является значительное уменьшение площади обрабатываемых земель в военные и первые послевоенные годы. Если к 1940 г. доля пахотных угодий в республике составляла 41,1% от площади всех земель, то в 1947 она снизилась до 32,9%, при этом земельный фонд республики практически не изменился (Вараксина, Чирков, 1975).

Снижение темпов сокращения показателей овражности за более продолжительный второй период объясняется «вспышкой» активности оврагообразования в экстремальный 1979 г., обеспечившей появление новых оврагов даже на тех водосборах, где их раньше не было. Причины же общего снижения интенсивности овражной эрозии за этот период рассматривались выше.

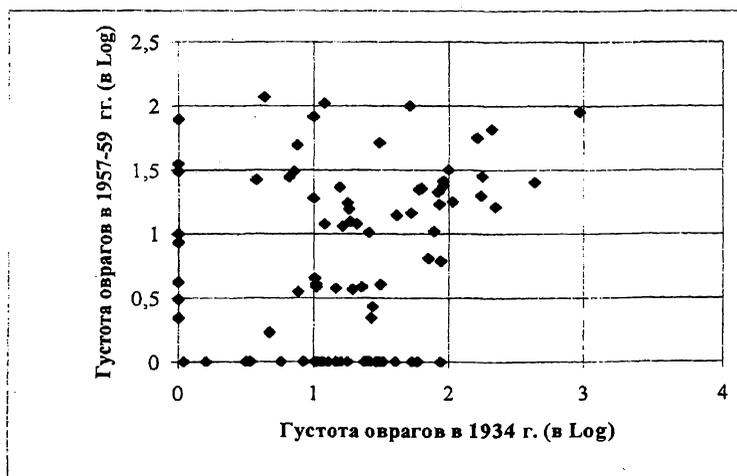


Рис. 63. Соотношение между показателями овражности в пределах элементарных водосборов за период с 1934 г. по 1957 – 1959 гг.

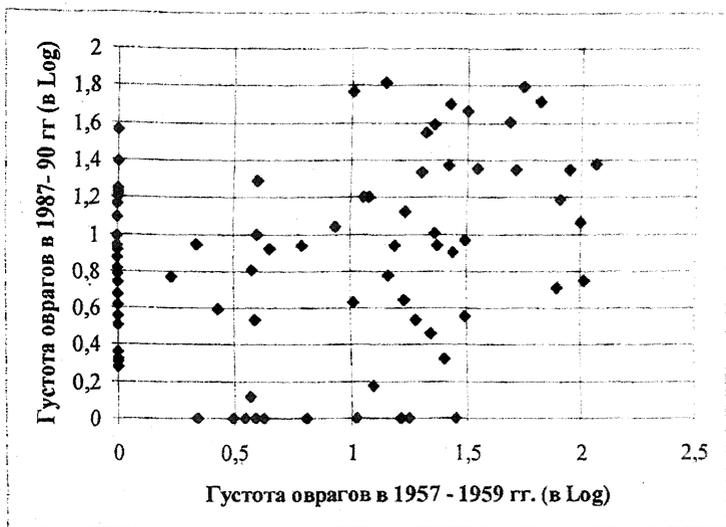


Рис. 64. Соотношение между показателями овражности в пределах элементарных водосборов за период с 1957 – 1959 гг. по 1987 – 1990 гг.

Кроме того, снижение активности оврагообразования за весь рассматриваемый период хорошо согласуется с динамикой интенсивности половодного стока в бассейне р.Чепца в створе г.Глазова (рис. 65).

На графике отчетливо прослеживается нисходящий тренд, который описывается следующим уравнением:

$$N_m = -0,104T + 469,5,$$

где N_m – превышение максимальных уровней половодий над среднегодовой нормой р.Чепца, T – время (порядковый номер года, начиная с 1934 г.).

Для удлинения ряда гидрологических наблюдений мы воспользовались данными ближайшей реки – аналога, в качестве которой была выбрана р.Вятка (г.Киров), где регулярные наблюдения проводятся с 1878 г. Коэффициент линейной корреляции между показателями интенсивности половодного стока на этих реках в период одновременных лет наблюдений (1934 – 1987 гг.) очень высокий ($r = 0,844$), поскольку створ на р.Вятка расположен ниже впадения р.Чепца.

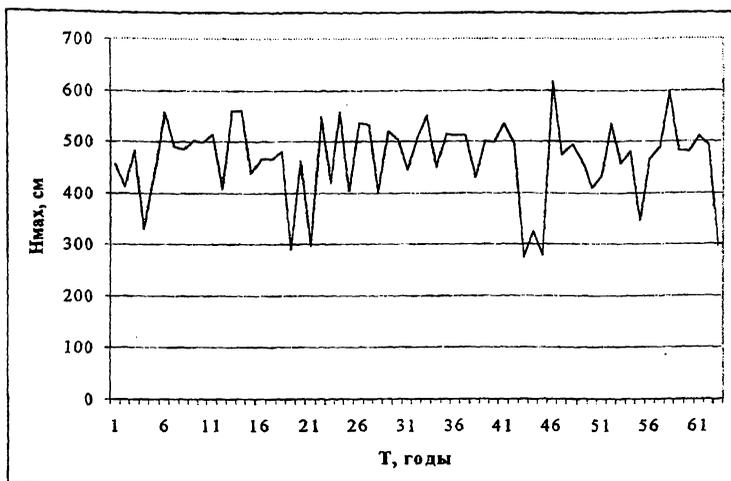


Рис. 65. Динамика интенсивности половодного стока на р.Чепца (г.Глазов), где Т – порядковые номера годов с 1934 по 1990 гг., Нмах – превышение наивысших уровней половодий над среднегодовой нормой

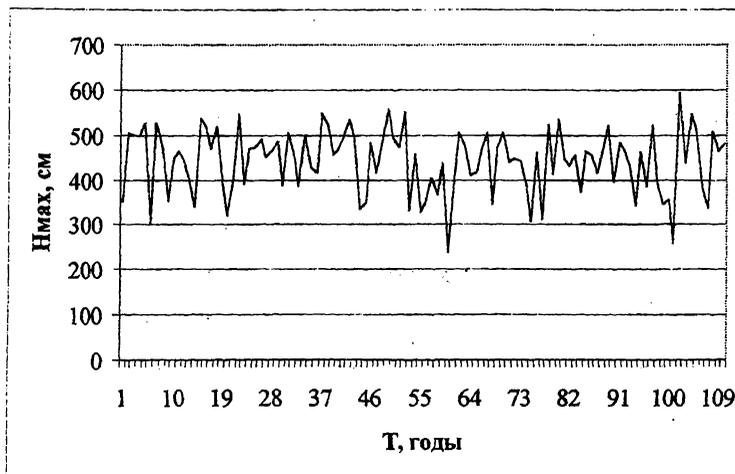


Рис. 66. Динамика интенсивности половодного стока на р.Вятка (г.Киров), где Т – порядковые номера годов с 1878 по 1987 гг., Нм – превышение максимальных уровней половодий над среднегодовой нормой

Динамика интенсивности половодного стока в бассейне р.Вятка (г.Киров) за период с 1878 по 1987 гг. также свидетельствует о ее нисходящем тренде (рис. 66) и описывается следующим уравнением линейной регрессии:

$$N_m = -0,197T + 452,4;$$

где N_m – превышение максимальных уровней половодий над среднегодовой нормой р.Вятка, T – время (порядковый номер года, начиная с 1878 г.).

Таким образом, гидрометеорологический фактор за последнее столетие также способствует уменьшению активности овражной эрозии.

Основными причинами уменьшения интенсивности овражной эрозии следует считать:

1. Активное внедрение в хозяйствах почвозащитных и противоэрозионных мероприятий до начала 1990-х гг.

2. Снижение на 5 – 7% площади обрабатываемых пахотных земель в последние годы.

3. Изменение структуры посевов в пользу расширения доли многолетних трав.

4. Уменьшение неравномерности стока воды, что вызывает снижение интенсивности половодного стока, а следовательно, и роста оврагов.

5. Естественное затухание овражной эрозии вследствие стадийности процесса.

6.4. ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РАЗВИТИЯ ОВРАГОВ ВО ВРЕМЕНИ И ПРОСТРАНСТВЕ

Периодичность является одной из наиболее ярких и распространенных черт многих природных систем и процессов. Основоположителем периодической концепции можно считать Брикнера (Bruchner, 1890), который впервые обнаружил повторяемость сверхгодовой продолжительности в климатических процессах. Вслед за Брикнером появились работы, подтверждающие наличие периодических явлений с различными интервалами (Возовик, 1970).

Временной изменчивостью географических явлений (процессов и объектов) свойственен колебательный характер. Это объясняется тем, что все географические объекты “можно рассматривать как области разнообразных динамических физико-химических равновесий,

стремящихся достигнуть устойчивого состояния, непрерывно нарушаемого вхождением в них чуждых данному динамическому равновесию проявлений энергии” (Вернадский, 1934). Вследствие инерционности объектов их реакция на внешние воздействия запаздывает, поэтому возбуждаемые колебания изменяются по сравнению с начальным импульсом (они затухают или усиливаются). К важнейшим источникам хроноизменчивости географических явлений относятся воздействия строго периодического характера: инсоляция с суточным и годовым периодом и постоянная во времени гравитация земной поверхности (Солнцев, 1981).

Интенсивность проявления многих экзогенных процессов (в т.ч. и овражной эрозии) обусловлена влиянием гидрометеорологических условий. По данным исследований И.П.Дружинина (1970), многие климатические (атмосферная циркуляция, атмосферное давление, температура воздуха, атмосферные осадки) и гидрологические процессы (сток рек, уровенный режим озер, режим ледников) очень тесно связаны с 11-летними циклами солнечной активности.

Анализ многолетней динамики годового прироста оврагов на полевых стационарах и интенсивности стока весеннего половодья на реках с многолетним периодом наблюдений (рр.Вятка, Чепца, Вала, Лумпун и др.) показывает, что они в общем виде имеют периодический характер. Об этом свидетельствуют и результаты многолетних стационарных наблюдений в соседних регионах (Миронова, Сетунская, 1980; Коротина, 1981; Овражная эрозия..., 1990; Назаров, 1992).

Модель детерминированного периодического процесса в самом общем виде может быть представлена следующим образом:

$$\varphi(t+kT) = \varphi(t),$$

где t – временная координата; T – период процесса; k – коэффициент (любое целое число).

Решение задачи сводится к выявлению вида функции $\varphi(t)$. При анализе периодических процессов наиболее часто используется класс гармонических (синусоидальных) функций. Математическое моделирование осуществлялось при участии доктора физико-математических наук А.В.Летчикова.

Для описания динамики годового прироста оврагов на стационарах нами была выбрана мультипликативная модель:

$$X(t) = m(t) \cdot u(t) \cdot e^{\epsilon t}, \quad (1)$$

где $m(t)$ - гладкая компонента ряда (тренд),

$u(t)$ - сезонная составляющая ряда,

$e^{\epsilon t}$ - случайная ошибка согласно формулы 5.6 по М. Кендэл (1981).

Временной промежуток ряда задан двадцатью годами:

$$t_1 = 1978, t_2 = 1979, \dots, t_{20} = 1997$$

и соответствующими значениями x_1, x_2, \dots, x_{20} средних скоростей роста оврагов за год.

Поскольку все члены ряда положительны, путем логарифмирования переходим к аддитивной модели:

$$y(t) = \ln x(t) = \ln m(t) + \ln u(t) + \varepsilon_t. \quad (2)$$

Первично тренд оценен линейной функцией:

$$K(t) = \ln m(t) = At + B$$

или

$$m(t) = e^{At+B}, \quad (3)$$

что при отрицательном коэффициенте A соответствует модели затухания роста оврагов.

Для удобства вычислений переходим к новому параметру времени: $S_i = 0,2t - 397,5$ или $t = 5S_i + 1987,5$. Тогда $S_i = 0,2i - 2,1; i = 1, \dots, 20$. Легко подсчитать, что

$$\frac{1}{20} \sum_{i=1}^{20} S_i = 0; \quad D_S = \frac{1}{20} \sum_{i=1}^{20} S_i^2 = 1,33$$

Далее воспользуемся стандартными формулами выделения линейной регрессии по признаку S (Гмурман, 1975):

$$k_i = k(t_i) = A^*S_i + B^*. \quad (4)$$

Пусть

$$Y = \frac{1}{20} \sum_{i=1}^{20} Y_i = 0,131539; \quad Y_S = \frac{1}{20} \sum_{i=1}^{20} S_i Y_i = -0,15205$$

Первичная оценка коэффициентов линейной регрессии такова:

$$A^* = Y, \quad B^* = Y_S/D_S.$$

Подставляя эти значения в формулу (4) находим значение коэффициента регрессии k_i и остатков после ее выделения:

$$w_i = y_i - k_i \text{ (табл. 6.7).}$$

Таблица 6.7

Основные параметры уравнений линейной регрессии и значения остатков

i	t _i	x _i	y _i	k _i	w _i
1	1978	1,4	0,336472237	- 0,059015889	0,395488126
2	1979	2,8	1,029619417	- 0,063330006	1,092949423
3	1980	1,5	0,405465108	- 0,067644123	0,473109231
4	1981	1,3	0,262364264	- 0,07195824	0,334322504
5	1982	1,6	0,470003629	- 0,076272357	0,546275986
6	1983	0,5	- 0,693147181	- 0,080586474	- 0,612560707
7	1984	0,6	- 0,510825624	- 0,084900591	- 0,425925033
8	1985	1,3	0,262364264	- 0,089214708	0,351578972
9	1986	0,9	- 0,105360516	- 0,093528825	- 0,011831691
10	1987	0,6	- 0,510825624	- 0,097842942	- 0,412982682
11	1988	1,3	0,262364264	- 0,102157058	0,364521323
12	1989	1,1	0,09531018	- 0,106471175	0,201781355
13	1990	1,9	0,641853886	- 0,110785292	0,752639178
14	1991	2,3	0,832909123	- 0,115099409	0,948008532
15	1992	1,6	0,470003629	- 0,119413526	0,589417155
16	1993	1,2	0,182321557	- 0,123727643	0,3060492
17	1994	1,8	0,587786665	- 0,12804176	0,715828425
18	1995	1,1	0,09531018	- 0,132355877	0,227666057
19	1996	0,3	- 1,203972804	- 0,136669994	- 1,06730281
20	1997	0,75	- 0,287682072	- 0,140984111	- 0,146697962

Выделим из остатков W_i сезонную компоненту $V(t)=\ln v(t)$. В качестве основного компонента возьмем $T=12$ лет, что отчетливо выделяется визуально на графике и подтверждается данными спектрального анализа. Согласно формулам 8.65 - 8.67 (Кендэл, 1981, с. 120) в качестве основных гармоник берем целые составляющие периода 12:

$$\alpha_k = 2\pi K/12, K=1,2,\dots,6.$$

Поскольку оценки коэффициентов тренда требуют дополнительных поправок, то для этого воспользуемся методом наименьших квадратов.

Как и раньше, для удобства введем замену параметра времени на s . Пусть

$$Y^*(s) = a_0 + b_0 s + \sum_{k=1}^5 a_k \cos(5\alpha_k s) + \sum_{K=1}^6 b_k \sin(5\alpha_k s) \quad (5)$$

Будет оценка ряда y_i . Согласно метода наименьших квадратов коэффициенты $a_0, \dots, a_5, b_0, \dots, b_6$ выбираются так, чтобы величина

$$\delta = \sum_{i=1}^{20} (y_i - y^*(s_i))^2$$

была минимальной.

Решением этой оптимальной задачи является вектор решений системы линейных уравнений. С учетом симметричности чисел s_i такая система распадается на две системы уравнений:

$$C\alpha = YC \quad \text{и} \quad Db = YS,$$

где α и b – вектора неизвестных.

Элементы матриц $C = \{C_{kj}\}_{i,j=0}^5$ и $D = \{D_{ki}\}_{i,j=0}^6$ находятся по следующим формулам:

$$C_{00} = 1,$$

$$C_{0k} = C_{k0} = 1/20 \sum_{i=1}^{20} \cos(5\alpha_k s_i), \quad k = 1, \dots, 5$$

$$C_{kj} = C_{jk} = 1/20 \sum_{i=1}^{20} \cos(5\alpha_k s_i) \cos(5\alpha_j s_i), \quad k, j = 1, \dots, 5$$

$$D_{00} = D_s = 1/20 \sum_{i=1}^{20} s_i^2,$$

$$D_{0k} = D_{k0} = 1/20 \sum_{i=1}^{20} s_i \sin(5\alpha_k s_i), \quad k = 1, \dots, 6$$

$$D_{kj} = D_{jk} = 1/20 \sum_{i=1}^{20} \sin(5\alpha_k s_i) \sin(5\alpha_j s_i), \quad k, j = 1, \dots, 6$$

Аналогично координаты векторов YC и YS находим следующим образом:

$$YC_0 = Y = 1/20 \sum_{i=1}^{20} y_i,$$

$$YC_k = 1/20 \sum_{i=1}^{20} y_i \cos(5\alpha_k s_i), \quad k = 1, \dots, 5$$

$$YS_0 = Y_s = 1/20 \sum_{i=1}^{20} s_i y_i,$$

$$YS_k = 1/20 \sum_{i=1}^{20} y_i \sin(5\alpha_k s_i), \quad k = 1, \dots, 6$$

Векторы α и b найдены в электронной таблице «EXCEL» и приведены в таблице 6.8.

Таблица 6.8

Значения векторов α и b , полученные из электронной таблицы «EXCEL»

k	0	1	2	3	4	5	6
α	0,100759	-0,15736	0,012448	-0,14354	0,069481	0,045891	-
b	-0,01314	0,49484	-0,10421	-0,10073	0,342876	0,061917	0,026408

Дальнейший статистический анализ остатков ε_i ряда как одномерной выборки дает нам следующие результаты. Выборочное среднее (ε^*), выборочная дисперсия (δ^2) и выборочное среднее квадратическое отклонение (δ) равны:

$$\varepsilon^* = 1/20 \sum_{i=1}^{20} \varepsilon_i = -0,0078,$$

$$\delta^2 = 1/20 \delta = 0,102,$$

$$\delta = 0,32.$$

Хотя подсчитанная статистика Дарбина – Уотсона

$$\gamma = 1/\delta \sum_{i=2}^{20} (\varepsilon_i - \varepsilon_{i-1})^2 = 1,424$$

показывает слабую коррелированность остатков ряда между собой, критерий χ^2 – Пирсона не позволяет принять нам гипотезу о нормальности распределения остатков. Это объясняется тем, что временной ряд слишком короткий и его длина не кратна длине основного периода. Все это в целом не дает возможность сделать достаточно надежный прогноз на ближайшее время, хотя общую тенденцию развития овражной эрозии мы можем оценить вполне реально.

Полученные результаты показывают, что построенная теоретическая модель динамики оврагообразования адекватна реальной (рис. 67).

Таким образом полученная модель описывает изменение среднегодовой скорости роста оврагов на полевых стационарах за период 1978 по 1997 гг. Полученная модель была использована для составления прогноза роста оврагов на ближайшие 5-6 лет. Согласно предварительным данным в ближайшие годы ожидается возрастание активности овражной эрозии с “пиком” в 2001-2003 гг. Учитывая убывающий тренд и стадийность процесса, средняя скорость роста оврагов в следующий “пик активности” будет ниже, чем в предыдущем случае. Ошибка прогноза в основном будет зависеть от непредсказуемых ливней редкой интенсивности.

Прогнозирование овражной эрозии в пространстве осуществлялось с учетом ее тенденции, тренда и прогнозируемой величины скорости годового роста. Прогнозные величины густоты и плотности оврагов рассчитывались на период до 2005 г. для условий отсутствия резких изменений природных ландшафтов и характера хозяйственной деятельности человека в пределах выделенных речных водосборов. Для удобства сопоставления градации густоты и плотности овражной сети сохранились прежние.

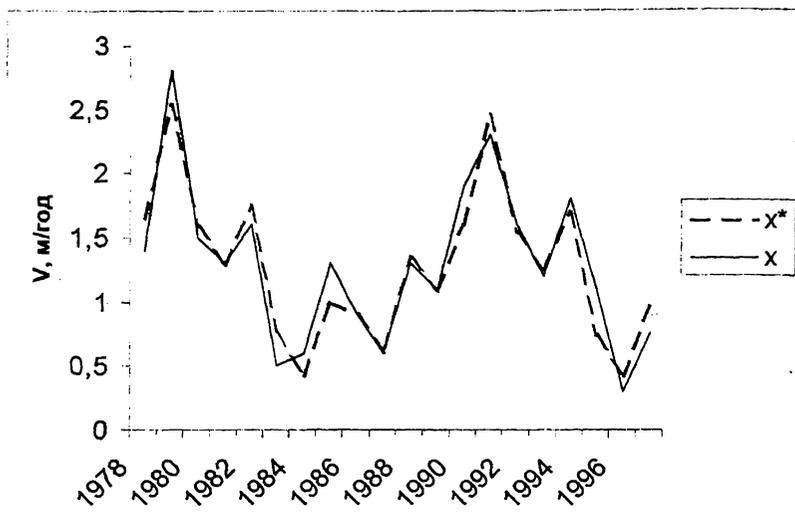


Рис. 67. Динамика средних скоростей роста оврагов (м/год) по данным полевых наблюдений (X) и результатам моделирования (X*)

Полученные результаты показывают, что в целом по республике протяженность овражной сети и ее густота должны уменьшиться (табл. 6.7). Общая протяженность оврагов сократится на 17,3 км. Количество вершин оврагов достигнет 4420, поэтому средняя длина оврагов несколько уменьшится и составит 211 м.

В территориальном аспекте прогнозируемые величины протяженности и густоты оврагов изменяются в соответствии с тенденцией современного оврагообразования (табл. 6.7). В верховьях Вятки и Камы появление оврагов маловероятно, поскольку освоение лесных массивов под пахотные угодья здесь экономически не целесообразно. В пределах редких здесь населенных пунктов или вдоль дорог на крутых склонах не исключается возможность возникновения оврагов в годы с экстремальным поверхностным стоком. Продолжительность их существования ограничена, поскольку через 5-10 лет они обычно зарастают древесно-кустарниковой растительностью, а склоны оврагов полностью задерновываются.

Таблица 6.7

Прогнозные величины овражного расчленения по основным речным бассейнам Удмуртии

Речные бассейны	Количество вершин оврагов, ед.	Плотность оврагов, ед./км ²	Протяженность оврагов, м	Густота овражной сети, м/км ²	Средняя длина оврагов, м
Верховья Вятки и Камы	0	0	0	0	0
Прав. Чепцы	110	0,022	9860	1,96	90
Лев. Чепцы	273	0,034	22180	2,78	81
Кильмезь	125	0,025	23650	4,73	189
Вала	520	0,080	119550	18,4	230
Лев. Вятки и Тойма	545	0,140	104800	26,9	192
Иж	1045	0,141	200780	27,1	193
Сива	170	0,070	19250	7,9	113
Лев. Камы	45	0,034	5900	4,5	131
Прав. Камы	1587	0,664	427310	178,8	269
По всем:	4420	0,101	933280	21,3	211

На правобережье Чепцы ожидается возрастание количества вершин оврагов и их общей протяженности. Оврагообразование в пределах данного бассейна отличается высокой динамичностью. Овраги часто появляются на водосборах, где их прежде не было, но продолжительность их активного развития часто не превышает 10-15 лет. Их развитие ограничивается, с одной стороны, климатическими условиями (быстрое выполаживание склонов и их интенсивное зарастание), а с другой – геолого-геоморфологическими особенностями (короткие склоны и выходы трудноразмываемых коренных пород). Вследствие указанных причин здесь распространены короткие овраги со средней длиной около 90 м.

Аналогичная ситуация складывается и на левобережье Чепцы. Активное развитие оврагов ожидается прежде всего в бассейнах р.Лекма и р.Сада, характеризующихся наиболее высокой сельскохозяйственной освоенностью территории. В пределах всего рассматриваемого бассейна прогнозируется появление новых 51 вершин оврагов и увеличение их общей протяженности почти на 6 км. Средняя длина одного оврага составит 81 м.

В бассейне р.Кильмезь активное оврагообразование будет происходить, как и прежде, в основном на ее левобережье. Количество растущих вершин оврагов возрастет до 125, а их общая длина превысит 23 км. Здесь водосборные бассейны имеют более длинные склоны,

несколько возрастает и продолжительность существования овражных форм, поэтому значительной становится и средняя длина оврагов (189 м).

Учитывая тенденцию современного оврагообразования и данные натуральных полевых исследований, наиболее активное развитие овражной эрозии следует ожидать в бассейне р.Валы. Резкого увеличения количества новых вершин не произойдет, но возможно значительное удлинение (почти на 15 км) овражной сети. Прогнозная густота оврагов составит $18,4 \text{ м/км}^2$. Средняя длина оврагов увеличится до 230 м. Оврагообразование здесь строго локализовано к водосборам с высокой сельскохозяйственной освоенностью и часто приурочено к древней эрозионной сети или к склонам, где развиты делювиально-солифлюкционные лессовидные суглинки.

На левобережье Вятки и в бассейне р.Тойма количество вершин оврагов и их плотность существенно не изменятся, но их общая протяженность и густота должны несколько уменьшиться. Ожидается небольшое снижение и средней длины оврагов, которая составит 192 м. Вероятность локальной “вспышки” активности оврагообразования очень высока вследствие значительных здесь глубин местных базисов эрозии и широкого распространения легко размываемых четвертичных отложений различного генезиса.

В бассейне р.Иж прогнозируется в целом незначительное увеличение количества вершин оврагов и их общей протяженности. Но отдельные ее участки сильно различаются по степени активизации овражной эрозии. Их более полный анализ будет изложен в следующем разделе. В пределах всего речного бассейна количество вершин оврагов достигнет 1045, а их общая протяженность чуть превысит 200 км, что соответствует средней густоте овражной сети – $27,1 \text{ м/км}^2$.

Снижение показателей густоты и плотности оврагов ожидается в пределах бассейна р.Сива. Количество растущих вершин оврагов здесь уменьшится до 170, а их суммарная длина сократится на 2,2 км и составит 19,25 км. В этом бассейне широко распространены водосборы с крутыми короткими склонами, где обнажаются очень плотные коренные породы (песчаники, известняки, мергель и др.), поэтому здесь встречаются обычно короткие овраги длиной до 100 м. В этих условиях продолжительность развития оврагов значительно возрастает, но годовой прирост их основных параметров (длина, площадь, объем) очень мал.

На левобережье Камы количество и плотность оврагов практически остаются прежними, протяженность же овражной сети и их густота несколько уменьшаются. Отмечается значительное снижение и средней длины оврагов (131 м).

Заметное снижение показателей овражного расчленения предполагается, согласно прогнозу, на правобережье Камы. Здесь к 2005 г. количество растущих вершин оврагов уменьшится до 1587 и их плотность составит 0,66 ед./км². Суммарная длина всех оврагов сократится на 44 км, но величина ее еще по-прежнему остается самой высокой – 427,3 км (45,8% от общей протяженности). Средняя густота овражной сети здесь уменьшится до 179 м/км². Значительно короче окажется и средняя длина оврагов (269 м).

Таким образом, согласно результатам прогнозирования, в настоящее время отмечается подъем активности оврагообразования с его максимумом в 2001-2002 гг., после чего ожидается фаза снижения интенсивности овражной эрозии на фоне общего затухания процесса. В территориальном аспекте предвидится общее сокращение протяженности и густоты овражной сети и незначительное увеличение количества вершин и плотности оврагов. Заметная активизация овражной эрозии наиболее вероятна для западных (бассейн р.Вала и левобережье р.Кильмезь) и северных районов Удмуртии (бассейн р.Чепца).

7. ПРИКЛАДНЫЕ ВОПРОСЫ

7.1 РАЙОНИРОВАНИЕ ОВРАЖНОЙ ЭРОЗИИ

На основе рассмотренных карт овражности проведено районирование территории республики по развитию овражной эрозии. На первом этапе выделяется 7 типологических районов, различающихся по степени овражного расчленения территории (рис. 67):

- 1) районы отсутствия оврагов;
- 2) спорадического овражного расчленения (густота - менее 5 м/км², плотность - 0,05 ед./км² и менее);
- 3) очень слабого овражного расчленения (густота - 5-10 м/км², плотность - 0,05-0,1 ед./км²);
- 4) слабого овражного расчленения (густота- 10-20 м/км², плотность - 0,1-0,2 ед./км²);
- 5) умеренного овражного расчленения (густота- 20-50 м/км², плотность - 0,2-0,3 ед./км²);
- 6) сильного овражного расчленения (густота- 50-100 м/км², плотность - 0,3-0,5 ед./км²);
- 7) очень сильного овражного расчленения (густота - более 100 м/км², плотность - более 0,5 ед./км²).

На втором этапе, с учетом тенденции современного развития овражной эрозии, проводится индивидуальное районирование и выделяется 15 овражных районов (рис. 68). Характеристика тенденции оврагообразования проводится по 8 градациям. В случае ее положительного значения активность оврагообразования оценивается по следующим критериям:

- 1) очень низкая (менее 1,0 м/год);
- 2) низкая (1,0-1,5 м/год);
- 3) умеренная (1,5-2,0 м/год);
- 4) высокая (более 2,0 м/год).

При отрицательной тенденции характеристика интенсивности затухания овражной эрозии дается по выше указанным же градациям.

При анализе динамики современного оврагообразования указывалось, что продолжительность существования оврагов сильно различается по природным зонам. Поэтому при районировании территорий важно учитывать показатель интенсивности развития

овражной эрозии во времени. Для этого необходимо значение густоты или плотности овражного расчленения разделить на среднюю "продолжительность жизни" оврагов в пределах данной территории. Данный показатель следует называть модулем оврагообразования, он показывает степень овражного расчленения территории на один год его развития. Поскольку Удмуртия расположена в пределах двух ландшафтных зон (рис. 1), то модули оврагообразования будут различаться для них. Для его расчета мы приняли среднюю продолжительность существования оврагов в 100 лет для подтаежной зоны и 50 лет - для подзоны южной тайги. Поэтому наряду с трендом для каждого района определялся еще и модуль оврагообразования, который выражался $\text{м/км}^2 \cdot \text{год}$. В предыдущих разделах давался подробный анализ развития оврагов по исследуемой территории, поэтому при характеристике овражных районов мы ограничиваемся лишь средними показателями. Географические названия присваивались районам по бассейновому принципу.

1. Зачепецкий безовражный район. Включает бассейны верховий рек Вятки, Камы и правых притоков Чепцы (рис. 68). Характеризуется отсутствием оврагов как на лесных, так и безлесных площадях. Не встречаются овраги даже в пределах редких здесь населенных пунктов, несмотря на значительную расчлененность рельефа. Развитие оврагов не прогнозируется и на ближайшую перспективу.

2. Чепецкий район спорадического овражного расчленения с умеренной активностью оврагообразования. Включает значительную часть бассейна р. Чепцы. Овраги встречаются крайне редко и в основном приурочены к населенным пунктам или крутым склонам с нарушенным растительным покровом. Средняя густота овражной сети – $1,72 \text{ м/км}^2$, средняя плотность оврагов – $0,019 \text{ ед./км}^2$. Тенденция оврагообразования положительная – $1,77 \text{ м/год}$ на ед. оврага. Средний модуль оврагообразования составляет $0,04 \text{ м/км}^2 \cdot \text{год}$. Согласно данным прогнозирования количество вершин оврагов здесь увеличится до 198, и их средняя плотность составит $0,023 \text{ ед./км}^2$. Общая протяженность овражной сети достигнет 18,6 км, а средняя густота ее составит $2,1 \text{ м/км}^2$ (табл. 7.1). Преобладающее распространение получают короткие овраги со средней длиной 94 м.

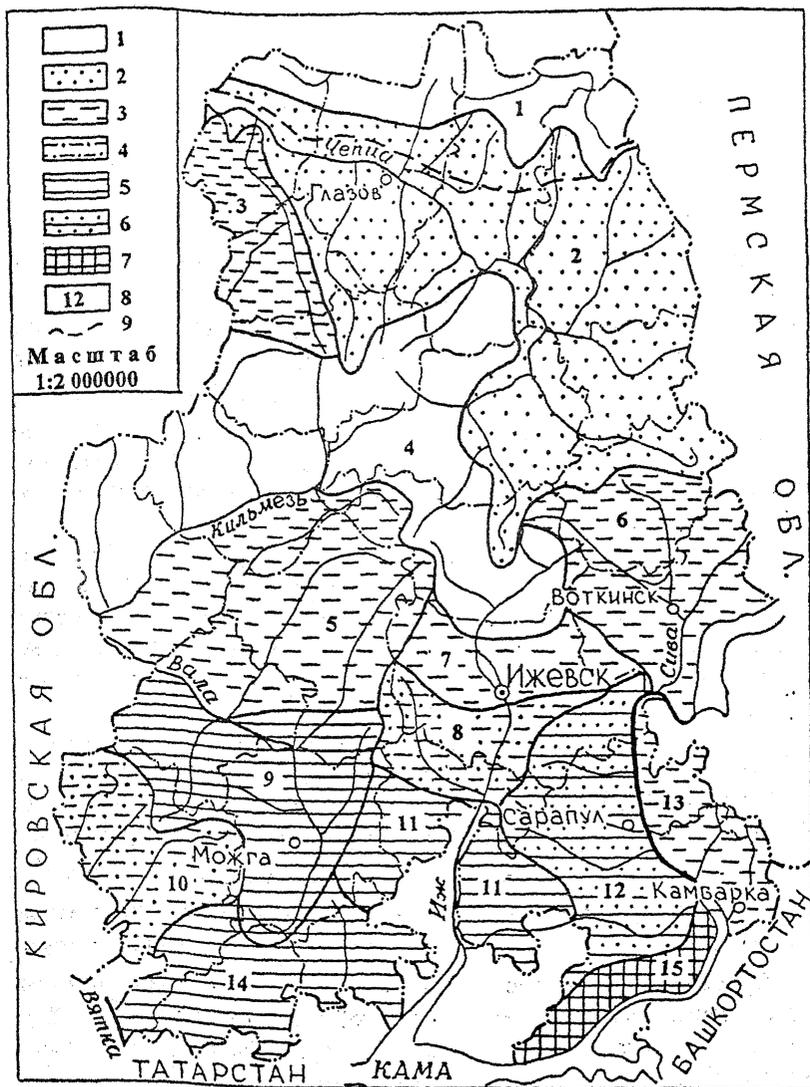


Рис. 68. Районирование Удмуртской Республики по интенсивности развития овражной эрозии.

Условные обозначения: 1 – отсутствие оврагов; 2 – овражное расчленение спорадическое; 3 – очень слабое; 4 – слабое; 5 – умеренное; 6 – сильное; 7 – очень сильное; 8 – номер овражного района; 9 – северная граница отсутствия оврагов на пахотных землях

Таблица 7.1
Характеристика динамики овражности и ее прогнозные значения по эрозионным районам Удмуртии

Номер эрозионного района	Площадь, км ²	Характеристика прежней овражности				Характеристика современной овражности				Тенденция изменения эрозионности	Прогнозные характеристики овражности			
		Количество вершин, ед.	Плотность, ед/км ²	Общая длина, м	Густота, м/км ²	Количество вершин, ед.	Плотность, ед/км ²	Общая длина, м	Густота, м/км ²		Количество вершин, ед.	Плотность, ед/км ²	Общая длина, м	Густота, м/км ²
1	2009,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	8680,3	68	0,008	5633	0,65	164	0,019	14914	1,72	1,77	18600	2,1	94	
3	1814,7	43	0,024	2156	1,19	147	0,081	9911	5,46	1,65	13440	7,4	73	
4	7188,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
5	4354,3	183	0,042	31295	7,19	238	0,055	50183	11,53	2,65	57320	13,2	216	
6	2391,9	225	0,094	28566	11,94	204	0,085	23527	9,84	-0,86	21200	8,9	110	
7	1653,7	120	0,073	14510	8,77	95	0,057	13239	8,01	-0,38	12560	7,6	148	
8	1216,5	156	0,128	21426	17,61	132	0,109	17401	14,30	-0,92	15780	13,0	132	
9	3269,1	274	0,084	44115	13,49	361	0,110	74319	22,73	2,70	84340	25,8	222	
10	1712,4	121	0,071	24470	14,29	108	0,063	19786	11,55	-1,55	17380	10,1	177	
11	2196,4	350	0,159	48541	22,10	371	0,169	53384	24,31	0,47	56100	25,5	150	
12	2301,0	866	0,376	205610	89,36	860	0,374	200337	87,07	-0,22	197760	85,9	231	
13	1317,5	42	0,032	8630	6,55	44	0,033	6932	5,26	-1,54	5900	4,5	131	
14	2784,0	482	0,173	102700	36,89	527	0,189	101490	36,45	-0,09	100600	36,1	190	
15	829,8	1165	1,404	431673	520,21	1116	1,345	365160	440,1	-2,04	332300	400,5	305	
Итого	43720	4095	0,094	969325	22,17	4367	0,100	950583	21,74	-0,165	933280	21,3	211	

3. Лекминский район очень слабого овражного расчленения с умеренной активностью оврагообразования. Расположен на левобережье р.Чепцы в пределах бассейнов рек Лекмы и Сады. Вследствие высокой распаханности территории и значительной расчлененности рельефа овраги встречаются чаще и иногда даже на пахотных землях. Средняя густота овражной сети составляет $5,5 \text{ м/км}^2$, а ее плотность – $0,081 \text{ ед./км}^2$. Активность овражной эрозии в последние годы заметно усиливается, о чем свидетельствует ее положительная тенденция – $1,65 \text{ м/год}$. Модуль оврагообразования относительно низкий – $0,12 \text{ м/км}^2 \cdot \text{год}$. Количество вершин оврагов здесь должно возрасти до 185, соответственно значение их плотности достигнет $0,102 \text{ ед./км}^2$. Суммарная длина всех оврагов увеличится на 3,5 км и превысит 13 км. Заметно изменится и средняя густота овражной сети ($7,4 \text{ м/км}^2$). Преимущественно будут встречаться очень короткие овраги со средней длиной 73 м.

4. Кильмезский безовражный район. Включает полностью правобережье р. Кильмезь, участок левобережья Чепцы между рр. Лоза и Кеп, а также верховья Лозы и Ижа. Характеризуется отсутствием оврагов вследствие практически полной залесенности территории и распространения песчаных покровов. Рельеф слабо расчленен, поэтому территория отличается и значительной заболоченностью. В ближайшем будущем развитие овражной эрозии маловероятно.

5. Кильмезь-Валинский район очень слабого овражного расчленения с высокой активностью оврагообразования. Включает левобережье Кильмези и правобережье Валы в ее среднем и нижнем течении. Овражная эрозия на пахотных землях здесь уже обычное явление. Овражное расчленение территории очень слабое вследствие высокой лесистости бассейнов рр. Нылги, Увы и правобережья Валы в низовье. Средняя густота овражной сети здесь составляет $11,5 \text{ м/км}^2$, соответственно плотность – $0,055 \text{ ед./км}^2$. Тенденция оврагообразования характеризуется высоким положительным значением – $2,65 \text{ м/год}$. Средний модуль овражной эрозии низкий – $0,16 \text{ м/км}^2/\text{год}$. Прогнозируется возрастание количества вершин оврагов до 265 и увеличение их протяженности до 57,3 км, соответственно плотность составит $0,061 \text{ ед./км}^2$, а густота – $13,2 \text{ м/км}^2$. Здесь будут преобладать относительно длинные овраги со средним значением 216 м.

6. Сивинский район слабого овражного расчленения с очень низкой интенсивностью затухания овражной эрозии. Включает полностью бассейн р.Сивы и правобережье р.Камы выше устья первой.

Здесь овраги встречаются уже чаще и на отдельных водосборах густота их может достигать $25-50 \text{ м/км}^2$, при ее среднем значении – $9,8 \text{ м/км}^2$ и соответственно плотности – $0,85 \text{ ед./км}^2$. Тенденция развития овражной эрозии для района получилась отрицательной – $-0,86 \text{ м/год}$, что свидетельствует о затухании процессов оврагообразования за последние годы. Модуль оврагообразования невысокий – $0,21 \text{ м/км}^2 \cdot \text{год}$. В соответствии с прогнозом количество вершин оврагов уменьшится до 192, а их суммарная протяженность сократится до 21,2 км. Значение плотности оврагов составит 0,080 и соответственно густоты – $8,9 \text{ м/км}^2$. Средняя длина оврагов будет равна 110 м.

7. Иж-Позимский район очень слабого овражного расчленения с очень низкой скоростью затухания овражной эрозии. Включает бассейн верховий Ижа на участке между р.Лесной и р.Пироговка. Овраги сосредоточены преимущественно в бассейнах р.Люк и р.Позимь, где и расположены основные площади сельскохозяйственных земель. Средняя густота оврагов – $8,0 \text{ м/км}^2$, плотность – $0,057 \text{ ед./км}^2$. Тенденция развития овражной эрозии отрицательная – $0,38 \text{ м/год}$. Средний модуль оврагообразования – $0,12 \text{ м/км}^2/\text{год}$. По прогнозам здесь ожидается уменьшение количества растущих оврагов до 85, их общая протяженность сократится до 12,6 км. Изменение средних значений густоты и плотности овражной сети незначительное (табл. 7.1). Средняя длина оврагов составит 148 м.

8. Иж-Постольский район слабого овражного расчленения с очень низкой скоростью затухания овражной эрозии. Включает бассейн р.Иж в среднем течении выше устья р.Постолки. Средняя густота овражной сети здесь составляет $14,3 \text{ м/км}^2$, плотность оврагов – $0,109 \text{ ед./км}^2$. Тенденция развития овражной эрозии отрицательная – $0,92 \text{ м/год}$. Средний модуль оврагообразования равен $0,13 \text{ м/км}^2/\text{год}$. Количество вершин оврагов здесь уменьшится до 120, их суммарная длина сократится до 15,8 км. Прогнозные значения плотности оврагов составят $0,099 \text{ ед./км}^2$, соответственно густоты – $13,0 \text{ м/км}^2$. При этом средняя длина оврагов не изменится (132 м).

9. Валинский район умеренного овражного расчленения с высокой активностью оврагообразования. Включает водосборные бассейны верховий р.Валы и ее левобережья. Овражное расчленение отличается локализованностью, где на отдельных водосборах ее густота достигает $100-250 \text{ м/км}^2$, при ее среднем значении $22,7 \text{ м/км}^2$. Плотность оврагов низкая, ее среднее значение – $0,110 \text{ ед./км}^2$. Тенденция овражной эрозии положительная и имеет самый высокий показатель – $2,7$

м/год. Модуль оврагообразования для данного района невысокий – 0,28 м/км²•год. Согласно данным прогнозирования количество вершин оврагов здесь возрастет до 380, плотность их составит 0,116 ед./км². Суммарная длина всех оврагов увеличится на 10 км и превысит 84 км, при этом значение их густоты окажется равной 25,8 м/км². Существенно изменится в сторону повышения и средняя длина оврагов (222 м).

10. Привятский район слабого овражного расчленения с низкой интенсивностью затухания овражной эрозии. Находится на левобережье р.Вятки выше бассейна р.Лубянки. Характеризуется высокой залесенностью территории и распространением песчаных покровов. Поэтому овражное расчленение здесь слабое: средняя густота оврагов – 11,6 м/км², плотность их очень низкая – 0,063 ед./км². Тенденция развития овражной эрозии здесь отрицательная, поэтому преобладают процессы медленного затухания оврагов (-1,55 м/год). Модуль оврагообразования сравнительно низкий – 0,17 м/км²•год. В соответствии с прогнозированием количество оврагов здесь уменьшится до 98 и плотность их составит 0,057 ед./км². Протяженность овражной сети сократится лишь на 2,4 км, при этом густота ее понизится до 10,1 м/км². Произойдет уменьшение и средней длины оврагов до 177 м.

11. Иж-Кырыкмасский район умеренного овражного расчленения с очень низкой активностью оврагообразования. Включает бассейн р.Иж ниже устья р.Постолки за исключением верховий р.Кырыкмас и водосборов рр. Варзинки и Варзи. Овражная сеть встречается практически во всех выделенных водосборных бассейнах. Отдельные овраги здесь развиваются с катастрофической скоростью (с.Мушак Киясовского района). Средняя густота овражного расчленения составляет 24,3 м/км², плотность оврагов низкая – 0,169 ед./км². Тенденция овражной эрозии положительная – 0,47 м/год. Среднее значение модуля оврагообразования составляет 0,32 м/км²/год. Существенного изменения количества и плотности оврагов здесь не предвидится. Ожидается лишь незначительное увеличение протяженности и густоты овражной сети (табл. 7.1). Произойдет некоторое увеличение (до 150 м) средней длины оврагов.

12. Прикамско-Сарапульский район сильного овражного расчленения с низкой интенсивностью затухания овражной эрозии. Расположен на правобережье р.Камы между устьями рек Сивы и Мулеш и в верховьях р. Кырыкмас. Овраги здесь также получили широкое распространение, средняя густота их составляет – 87,1 м/км², а плотность – 0,374 ед./км². Как и в предыдущем районе, тенденция овражной эрозии

здесь отрицательная ($-0,22$ м/год). Модуль оврагообразования сравнительно высокий – $0,72$ м/км²/год. Количество растущих вершин оврагов и их плотность изменятся в сторону уменьшения незначительно. Не произойдет также существенного сокращения протяженности и густоты овражной сети. Несколько уменьшится (до 231 м) и средняя длина оврагов.

13. Закамский район очень слабого овражного расчленения с низкой интенсивностью затухания овражной эрозии. Находится на левобережье р.Камы и отличается высокой залесенностью территории. Овраги встречаются локализованно, преимущественно на крупных массивах пахотных земель, занимающих сильно вытянутые склоны. Средняя густота овражной сети составляет $5,3$ м/км², плотность оврагов – $0,033$ ед./км². За рассматриваемый период протяженность овражной сети существенно сократилась, поэтому тенденция развития овражной эрозии здесь отрицательная – $-1,54$ м/год. Скорость зарастания склонов оврагов выше скорости роста их вершин. Модуль оврагообразования здесь очень низкий – $0,05$ м/км²/год. Заметных изменений в количестве вершин оврагов и их плотности не ожидается. Возможно сокращение протяженности овражной сети на 1 км и снижение ее густоты до $4,5$ м/км². Средняя длина оврагов уменьшится до 131 м.

14. Привятско-Тойминский район умеренного овражного расчленения с очень низкой интенсивностью затухания овражной эрозии. Сюда относятся бассейны рек Лубянки, Умяка, Тоймы, Варзи и Варзинки. Овражная сеть получила широкое распространение, на многих водосборах густота ее превышает $100-200$ м/км² при ее среднем значении $36,5$ м/км². Среднее значение плотности оврагов составляет $0,189$ ед./км². В настоящее время большинство оврагов находится на последних стадиях развития, поэтому тенденция развития овражной эрозии здесь отрицательная ($-0,09$ м/год). Модуль оврагообразования сравнительно высокий – $0,6$ м/км²/год. Возможно весьма незначительное увеличение количества вершин оврагов и их плотности за счет появления новых отвершков. Протяженность же овражной сети и ее густота должны немного уменьшиться. Прогнозная величина средней длины оврагов составит 190 м.

15. Прикамский район очень сильного овражного расчленения с умеренной интенсивностью затухания овражной эрозии. Включает бассейны правых притоков р.Камы ниже устья р.Мулеш. Оврагообразование получило здесь максимальное для республики распространение. Большинство элементарных водосборов

имеет густоту овражной сети более 500 м/км^2 при ее среднем значении 440 м/км^2 . В этом районе насчитывается 1116 растущих вершин оврагов, что составляет $1,35 \text{ ед./км}^2$. Оврагообразование здесь имеет длительную историю развития и к настоящему времени многие овраги выработали плавно-вогнутый продольный профиль и находятся в стадии затухания. В последние годы в пределах рассматриваемой территории происходит интенсивное зарастание оврагов и общая протяженность их сокращается. Об уменьшении скорости роста вершин оврагов здесь свидетельствуют данные стационарных наблюдений на ключевых участках. Поэтому тенденция развития современной овражной эрозии для района оказалась отрицательной ($-2,04 \text{ м/год}$). Модуль оврагообразования здесь также максимальный — $4,26 \text{ м/км}^2/\text{год}$. Согласно данным прогнозирования количество растущих вершин оврагов здесь уменьшится до 1090, плотность их составит $1,314 \text{ ед./км}^2$. Протяженность овражной сети должна уменьшится почти на 33 км, хотя величина ее остается еще высокой — 332,3 км. Значение густоты овражной расчлененности уменьшится до $400,5 \text{ м/км}^2$. Прогнозная величина средней длины оврагов составит 305 м (табл. 7.1).

Ранее упоминалось, что на правобережье р.Чепцы и в верховьях рр.Вятки и Камы на пахотных землях овраги практически не встречаются даже в условиях значительной расчлененности рельефа. Поэтому возникает вопрос о северной границе распространения оврагов на пахотных землях не только в республике, но и за ее пределами (Дедков и др., 1993). В Удмуртии она проходит по долине р.Чепцы до г.Глазова, затем по долинам рр.Ниж.Пызеп и Варыж, далее по верховьям рек Люк и Верх.Пызеп на Камско-Чепецкий водораздел (рис. 67).

Эта граница не является следствием изменения климатических условий, поскольку в северном направлении, как отмечалось выше, увеличивается как годовой, так и наиболее важный для развития оврагов весенний сток. Поэтому можно утверждать, что положение этой границы определяется главным образом геолого-геоморфологическими факторами.

В предыдущих разделах указывалось, что в северном направлении значительно уменьшается степень развития и мощность наиболее легко размываемых пород — лессовидных делювиально-солифлюкционных суглинков. Вместе с делювиально-солифлюкционными склоновыми шлейфами постепенно исчезает и генетически связанная с ними инсоляционная асимметрия склонов речных долин. Крутые склоны на севере встречаются лишь по долинам рек, где и возникают иногда овраги. Вследствие высокой горизонтальной

расчлененности территории долинно-балочной сетью здесь повсеместно господствуют короткие пологие склоны, часто лишенные шлейфов суглинков. Короткие склоны не обеспечивают достаточной концентрации склонового стока для развития оврагов. Поэтому на распахиваемых склонах возникают лишь начальные формы линейной эрозии - размоины и промоины.

Севернее указанной границы овраги могут появиться лишь в особых эпизодически возникающих условиях (дорожные колеи на крутых склонах, экстремальный ливневый и половодный сток и др.). Существуют они обычно непродолжительное время и сравнительно быстро зарастают.

7.2. ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

Результаты исследования овражной эрозии в Удмуртии позволяют решить некоторые вопросы прикладного значения.

Районирование территории по степени овражной расчлененности и интенсивности современного оврагообразования дает возможность выделить участки, где овражная эрозия наносит особенно большой ущерб земледелию и другим отраслям народного хозяйства. Районы с сильной и очень сильной овражной расчлененностью и особенно с высокой активностью современного оврагообразования требуют более активного проведения противоэрозионных мероприятий.

Существующие методы борьбы с оврагами и наличие мощной техники могут обеспечить достаточно быстрое решение этой проблемы. Но все определяется экономической целесообразностью проведения тех или иных противоэрозионных мероприятий. Экономический аспект в вопросах охраны и рационального использования земель и других природных ресурсов является очень сложной и в настоящее время еще не решенной задачей.

Для наиболее эффективного осуществления противоэрозионных мероприятий необходимы достоверные данные по заовраженности территории (густота и плотность оврагов), точная оценка скоростей роста оврагов и тенденций их развития. Система мер борьбы с почвенной и овражной эрозией включает противоэрозионную организацию землепользования на водосборах, агротехнические мероприятия, фитомелиорацию и гидротехнические сооружения (Козменко, 1954 1963; Соболев, 1960; Вараксина и др., 1970; Региональные системы..., 1972; Почвозащитное земледелие, 1975; Сурмач, 1976; Рожков, 1981;

Заславский, 1983; Каштанов, Заславский, 1984; Лопырев, Рябов, 1989 и др.).

Организационно-хозяйственные мероприятия составляют основу противозерозийных и водоохраных систем. Их сущность заключается в правильном размещении сельскохозяйственных угодий, защитных лесных насаждений и гидротехнических сооружений на водосборе, а также внедрения системы ведения хозяйства, направленной на предупреждение формирования сосредоточенного поверхностного стока и выноса загрязняющих веществ. На основании данных крутизны, длины, формы и экспозиции склонов, степени эродированности почв, прогнозируемой интенсивности смыва, биологических особенностей сельскохозяйственных культур проводится почвоводоохранная организация территории элементарного (балки или малой реки) водосбора.

При разработке проектов контурно-мелиоративной организации территории следует руководствоваться "Методическими указаниями по проектированию противозерозийной организации территории при внутрихозяйственном землеустройстве в зонах проявления водной эрозии" (Москва, 1988).

Агротехнические мероприятия осуществляют на всех склоновых землях сельскохозяйственного пользования. Они направлены на регулирование поверхностного стока на месте его зарождения и предохранение почв от смыва. В их состав входят противозерозийные способы обработки почвы (поперечная или контурная, разноглубинная плоскорезная, комбинированная отвально-безотвальная вспашка), поделка валов на зяби (обвалование), щелевание, кротование, задержание снега, регулирование снеготаяния и другие. Их выполняют по направлению горизонталей (контурная обработка) или поперек склона под углом не более 1,5-2 градусов с допустимой длиной линии стока. Агротехнические мероприятия уменьшают поверхностный сток весеннего снеготаяния на 10-15 мм, что необходимо учитывать в расчетных параметрах защитных насаждений.

Залужение эрозионно опасных земель и элементов гидрографической сети позволяет уменьшить эрозию почв и поступление загрязняющих веществ в водные объекты и одновременно получить сельскохозяйственную продукцию. Под залужение отводят участки днищ ложбин, лощин, балок, не подлежащие облесению эродированные берега балок и коренные берега речной долины.

Лесомелиоративные мероприятия в комплексе с гидротехническими сооружениями преследуют цель создать

перпендикулярно линии стока препятствия в виде защитных лесных насаждений, водонаправляющих или водозадерживающих валов и валов-каналов, расположенных в местах сосредоточения стока, и тем самым частично регулировать поверхностный сток, предотвратить смыл и размыв почвы, рост оврагов, сократить вынос в реки биогенных веществ и наносов.

Известно, что лесные полосы не только защищают почву от эрозии, но и способствуют снегозадержанию и переводу поверхностного стока в подземный, увеличивая влагозапасы в почве. Кроме того, они оказывают тепляющее влияние на почвы, а также способствуют повышению видового разнообразия фауны и флоры и служат местом резервации многих полезных организмов.

На водосборах в сочетании с контурно-мелиоративной организацией территории создают систему защитных насаждений в составе: стокорегулирующие, приовражные, прибалочные, приречные лесополосы, ложбинные, лоцинные, овражные, балочные, истоковые насаждения и насаждения на коренных берегах речных долин.

В условиях расчлененного рельефа стокорегулирующие лесные полосы должны размещаться поперек склона вдоль горизонталей, при этом необходимо соблюдать их параллельность. Наряду с этим контурность (кривизна) лесных полос должна обеспечивать радиусы поворотов не менее 60-70 м. Гидрологическое влияние их усиливают простейшими земляными гидротехническими сооружениями: валиками высотой 0,3-0,4 м, размещаемыми по рядкам культур, или водонаправляющими, водозадерживающими валами и канавами, размещаемыми по нижней опушке насаждения.

Чем меньше расстояние между полосами, тем более надежный заслон будет поставлен эрозии. Но при этом больше сократятся и посевные площади. Поэтому важное значение приобретает определение оптимальных межполосных расстояний. Это может быть сделано с помощью расчетных методов Д.Л.Арманда (1961), использования инструктивных и методических материалов (Методические указания..., 1988; Проектирование..., 1990; Методика..., 1991 и др.). Надежные данные для определения межполосных пространств могут быть получены на основе анализа поясной структуры бассейновой эрозии (Ермолаев, 1992). В таблице 7.2 приведены данные О.П.Ермолаева о средней ширине различных поясов эрозии на пахотных землях востока Русской равнины в зависимости от уклона поверхности и состава горных пород и почв. Для пахотных земель Удмуртии пояса отсутствия струйчатой эрозии (ОСЭ) определялись для приводораздельных склонов крутизной до 3° по

аэрофотоснимкам и в полевых условиях (Рысин, 1981). Средние значения ширины поясов ОСЭ по основным речным бассейнам республики представлены в таблице 7.3.

Таблица 7.2

Средняя ширина поясов эрозии (в м) в условиях различного состава пород и уклона поверхности на востоке Русской равнины (по О.П.Ермолаеву, 1992)

Состав пород	Уклон, (град)	Пояс эрозии			
		Отсутствие эрозии (капельно-дождевой деструкции)	Микроэрозийной эрозии	Струйчатой эрозии	Отсутствие овражной эрозии в целом
Глины, мергели P _{2t}	<0,5	86	361	540	987
	0,5-1	83	300	490	873
	1-2	58	277	471	806
	>2	-	256	286	566
Глины У-К ₁	<0,5	96	380	-	476
	0,5-1	58	413	804	1275
	1-2	69	-	666	735
Мел, опоки, песчаники К _{2-Р}	<0,5	196	441	511	1148
	0,5-1	186	404	227	817
	1-2	127	301	321	749
	>2	-	-	330	330
Пески N-Q	<0,5	237	473	421	1131
	0,5-1	151	408	238	791
	1-2	-	320	329	649
	>2	-	-	232	232

Расстояние между лесными полосами следует взять не более ширины пояса отсутствия струйчатой эрозии, но при этом межполосное пространство должно включать комплекс почвозащитных мероприятий, что может исключить эрозию до минимума. В борьбе с почвенной и овражной эрозией нельзя ограничиваться отдельными элементами противозерозийных мероприятий, здесь необходим комплексный подход и учет всего многообразия факторов. Исследования показывают (Барабанов, 1993), что при комплексном сочетании различных приемов и методов их влияние на уменьшение стока и эрозии значительно возрастает за счет синергетического эффекта.

При использовании данных о ширине различных поясов эрозии, приведенных в таблицах 7.2, 7.3 следует иметь в виду, что они относятся в основном к пологим нерасчлененным или слаборасчлененным склонам. Если же на склоне имеются понижения типа лощин или ложбин, способствующие концентрации поверхностного стока, то ширина

верхних эрозионных поясов и суммарного пояса отсутствия овражной эрозии в целом может значительно уменьшиться.

Таблица 7.3

Средняя ширина пояса отсутствия струйчатой эрозии (ОСЭ) по основным речным бассейнам Удмуртии

Речные бассейны	Средняя ширина пояса ОСЭ, м	
	по аэрофотоснимкам	по полевым измерениям
Чепца	332	287
Кильмезь	455	397
Вала	312	230
Левобережье Вятки и Тойма	345	298
Иж	315	241
Сива	318	264
Правобережье Камы	293	233
Левобережье Камы	462	405

При определении оптимального расстояния от первой лесополосы до водораздела следует учитывать наименьшие длины линии стока отвершин оврагов различного типа, полученные нами морфометрическим путем на основании анализа большого массива данных (табл. 7.4).

Таблица 7.4

Наименьшие длины линий стока (м) от вершин оврагов до водоразделов в условиях различной крутизны склонов на территории Удмуртии

Типы оврагов	Крутизна склона в градусах							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Приводораздельный	620	340	190	160	135	125	100	95
Придолинный	840	390	280	190	110	95	90	85
Вершинный	800	380	210	130	100	80	75	70
Донный	1300	385	200	165	140	135	-	-

Анализ данных показывает, что на крутых склонах ширина пояса отсутствия овражной эрозии может сократиться до 100 м и менее. Ближе всего к линии водораздела достигают вершинные овраги, что также необходимо учитывать при борьбе с ними.

Ширина стокорегулирующих лесополос в зависимости от крутизны склона и параметров сочетающихся гидротехнических сооружений не должна превышать 7-8 м (Рекомендации..., 1990).

Ложбинные насаждения способствуют равномерному распределению снега, снижению промерзания почвы, поглощению части сосредоточенного стока. В крутых, глубоких тракторонепроходимых ложбинах их создают на всей площади ложбин; в мелких - делают кустарниковые кулисы, сочетая их с участками луга. Ширину насаждений в ложбинах в этом случае устанавливают до 10 м, длину - 3-5 м через каждые 40-50 м залуженной части дна.

Прибалочные лесные полосы проектируют в водоохранной зоне на границе присетевого и гидрографического фонда на участках интенсивного размыва и поступления в балки биогенных соединений и наносов. Их назначение заключается в регулировании поверхностного стока, задержании поступающих с прилегающих склонов продуктов смыва и размыва почвы, поглощении биогенов и наносов, обеспечении равномерного снегоотложения на прилегающих полях, укреплении берегов балок.

Площадь прибалочных лесных полос в районах преобладания стока весеннего снеготаяния определяют из условий частичного поглощения и очистки поверхностного стока от биогенных соединений до уровня ниже предельно допустимого по формуле (Рекомендации..., 1990):

$$S = (1 - C_{\text{пдк}} \cdot h_p / K \cdot D) \cdot h_p \cdot F / W + h_p,$$

где S - площадь прибалочной лесополосы, га; $C_{\text{пдк}}$ - предельно допустимая концентрация биогенного соединения (устанавливается по санитарным нормам), мг/л; h_p - слой поверхностного стока весеннего снеготаяния, мм; K - коэффициент выноса биогенных соединений на серых лесных и дерново-подзолистых почвах (для азота равен 4, фосфатов - 1); D - доза внесения удобрений, кг/га; W - суммарное водопоглощение в лесных насаждениях: на дерново-подзолистых почвах - 230 мм; серых лесных - 300 мм; F - площадь пашни на водосборе, га.

Ширину прибалочной лесополосы устанавливают в соответствии с рассчитанной по вышеприведенной формуле площадью и формой водосбора, примыкающего к бровке балки. При примыкании к балке водосбора склонового стока ширина лесополосы будет получена при делении ее площади на длину примыкающей к балке границе склона.

В случае примыкания к балке водосбора ложбины, рассчитанную площадь лесополосы делят на ширину дна ложбины - ширину "рабочей части" будущего насаждения. "Рабочая часть" будущего насаждения и объем поглощения стока в этом случае увеличивается с помощью гидротехнических сооружений. При этом вал может задерживать дополнительно 150-300 мм воды в зависимости от рельефа, канава - 330-500 мм.

Приречные лесные полосы размещают на границе присетевого склона и сильно эродированных коренных берегов речных долин. По защитным функциям они отличаются от прибалочных лесных полос тем, что располагаются на участках непосредственного стока с водосбора в речную сеть. Ширина их определяется по вышеприведенной методике.

Приовражные лесные полосы предотвращают сдувание снега в овраги, обеспечивают поглощение и очистку стока, защищают земли от размыва и появления новых отвершков, способствуют зарастанию откосов.

Многолетние полевые наблюдения показывают, что созданные приовражные лесные полосы плотной конструкции без учета рельефа ("вдоль бровки") обычно не дают нужного мелиоративного и противозерозионного эффекта. Более того, такие полосы, накапливая мощные сугробы становятся источниками усиленного весеннего стока и способствуют размыву склонов и вершины оврага. Вместо них рекомендуется создание малорядных лесных полос отдельными отрезками по горизонталям ажурной и продуваемой конструкции, усиление их простейшими гидротехническими сооружениями.

Балочные насаждения регулируют поверхностный сток, защищают почву от эрозии, задерживают биогенные наносы, предотвращают рост донных оврагов и заиление рек. В современных агроландшафтах они обладают высоким природоохранным потенциалом, в условиях малолесных территорий служат убежищем для животных, создают благоприятные условия для рекреации.

Насаждения на коренных берегах рек и эродированных склонах предназначены для снижения скорости и уменьшения объема поверхностного стока с межбалочных склонов, его очистки от продуктов эрозии, биогенов, пестицидов, для закрепления неустойчивых частей берега и улучшения гидрологического режима крутых склонов. Под облесение отводят сильно эродированные берега крутизной 12-35 градусов (под плодово-ягодные кустарники - 12-20 градусов), овраги и межовражные выступы.

На плоских днищах балок широких донных участках оврагов и размывных крутых берегах создаются насаждения - илофилтры.

В зоне формирования грунтового стока создают истоковые насаждения, которые способствуют переводу поверхностного стока в грунтовой, регулируют снеготаяние, защищают истоки и формирующиеся на них родники от загрязнения, создают благоприятную экологическую обстановку в истоковой части реки.

Истоковые насаждения по 50 м с каждой стороны водотока должны создаваться протяженностью 3-5 км, из них 250 м выше истока. Ниже по течению истоковые насаждения должны перерастать в прирусовые лесные полосы. Выше истокового насаждения проводят залужение и полностью исключают пастьбу скота.

Прирусовые лесные полосы создают с целью укрепления берегов рек, защиты пойменных земель от размыва и заноса песком, предотвращения заиления русел, уменьшения испарения с водной поверхности.

Подбор пород осуществляют по преобладающей роли насаждений таким образом, чтобы в них как можно раньше формировалась лесная среда. В связи с тем, что свыше 30 % всех насаждений создают на неудобных крутосклонных землях водоохранных зон, они должны выполнять не только стокорегулирующие и противозерозионные функции, а также играть роль медоносов, плодоягодных и орехоплодных насаждений, плантаций лекарственных и технических растений.

При разработке мер защиты почв от овражной эрозии необходимо учитывать стадию развития данного процесса. На начальной стадии размыва достаточно ограничиться общими агротехническими и фитомелиоративными мероприятиями, препятствующими дальнейшей концентрации стока. Эти мероприятия должны носить комплексный характер и охватывать весь склон от водораздела до бровки речной долины или балки. При всем этом склоновые земли не должны исключаться из сельскохозяйственного оборота.

При активном вершинном росте оврагов к общим комплексным мероприятиям добавляются специальные, задача которых полностью исключить или существенно уменьшить приток талых снеговых или ливневых вод к вершине, резко усилить прочностные свойства пород, слагающих склон в вершине оврага. В этом случае обычно применяются различные гидротехнические сооружения.

В зависимости от конкретных местных условий на склонах водосбора проектируют следующие типы сооружений: валы-террасы с широким основанием, валы-каналы, распылители стока, нагорные каналы, водоотводы.

Валы-террасы независимо от их назначения рекомендуется размещать на пологих склонах крутизной до 4-5 градусов. Террасы строят высотой до 0,5 - 0,7 м с пологими обрабатываемыми откосами. Применение валов-террас на склонах круче 5 градусов вызывает увеличение объема работ при их сооружении. К тому же на таких склонах

невозможно построить террасы со всеми пологими откосами. Поэтому в случае строительства террас на склонах 5-8° нижний (сухой) откос делается крутым, а чтобы он не разрушался, его залужают многолетними травами (Рожков, 1981).

Распылитель стока представляет собой земляной вал, высотой 0,3-0,5 м, служащий для изменения направления концентрированных потоков и рассредоточения на эрозионно устойчивые угодья (леса, кустарники, задернованные участки). Устраивают их по образовавшимся ложбинам, разъемным бороздам, у опушек лесных полос, вдоль полевых дорог. Длина распылителя 10-50 м, расположение к линии стока - под углом 45°, допустимый водосбор - 2-3 га.

Нагорные канавы применяют для перехвата и сброса избыточного стока за пределы рабочих участков в искусственные и естественные водоприемники.

Водоотводы проектируются с широким руслом и покатыми бортами. На пологих склонах с уклоном 2-4° водоотводы строятся глубиной до 20-25 см, на более крутых склонах (до 15-16°) глубина их несколько меньше (5-15 см), а ширина достигает 35-40 м. В отдельных случаях при большом расходе стока (более 1 м³/с) водоотводы строят из железобетона или местных строительных материалов.

Регулирование стока на склонах оказывает большое влияние на величину остаточного стока, который поступает в овраги и гидрографическую сеть. Противоэрозионные и агротехнические мероприятия могут задержать 20-35 % стока, водорегулирующие лесные полосы в сочетании с простейшими гидротехническими сооружениями - 50-70 %, капитальные гидротехнические сооружения в зависимости от конкретных условий - 90-98%.

Безопасный сброс остаточного стока в овраги обеспечивается с помощью сооружений следующего типа: быстроток, перепадов, консольных сбросов, а для регулирования остаточного стока с помощью строительства водозадерживающих валов, водонаправляющих сооружений, при проведении работ по выполаживанию и засыпке оврагов.

Ступенчатые перепады и быстроток используются для прекращения роста активно развивающихся оврагов, разрушающих ценные земли и объекты. Применение их целесообразно, если рост оврага невозможно остановить водозадерживающими или водоотводящими устройствами.

У вершин глубоких оврагов быстроток в большинстве случаев устраивают в виде перепадов из монолитного и сборного железобетона. В

практике наибольшее распространение получили одноступенчатые перепады (высота вершины перепада 3-5 м) и многоступенчатые (высота вершины свыше 5 м).

Консольные сбросы используют для сброса воды с большими горизонтальными скоростями, обеспечивающими гашение энергии падающей струи в толще воды. В настоящее время большое распространение получили трубчатые сопрягающие сооружения. Они быстро и легко монтируются, обладая большой пропускной способностью.

Для стабилизации русла, снижения расхода и скоростей потока, задержания продуктов смыва в овраге строят донные и русловые противозерозионные сооружения следующего типа: запруды, донные перепады, пороги, плотины.

Запруды устраивают после строительства у вершин оврага водосбросных гидротехнических сооружений на расстоянии 100-200 м или на всем протяжении дна оврага. Задерживая наносы, запруды создают горизонтальные площадки, благоприятные для последующего облесения и закрепления дна оврагов. Наиболее простыми являются фашинные и плетневые запруды высотой до 0,5-1,0 м. Расстояние между ними определяют из расчета допустимого уклона водотока. Каменные запруды на связующем растворе строят высотой до 1,5 м с верхним откосом 1:0,5 и нижним 1:1. Железобетонные запруды делают из плит, блоков или балок. Запруды из прочных материалов обычно проектируют в оврагах с большими расходами воды (более $1 \text{ м}^3/\text{с}$), допускающих напор над гребнем водослива в 1-2 м.

В последнее время для закрепления оврагов глубиной до 5-6 м с напором воды в прудке до 5 м и водосборной площадью до 20 га строят дамбы-перемычки, используя для этого местные строительные материалы. Противозерозионные пруды в этом случае выполняют и рекреационную функцию.

Гидротехнические сооружения должны строиться на расчетной основе в соответствии с утвержденными инструкциями. Например, водозадерживающие валы, построенные без расчетов объемов стока на водосборе, как правило, прорываются и дают еще больший импульс для роста оврага. Прорывы водозадерживающих валов и возникновение новых оврагов, связанных с водоотводящими канавами, известны, например, у с.Кулюшево Каракулинского района (рис. 68).



Рис. 69. Разрушенный склоновым стоком водозадерживающий вал вызвал активный рост вершины затухшего оврага. (Фото автора)

Рост оврага можно предотвратить различным путем. Выбор конкретного типа сооружения или вида насаждения должен производиться после детального анализа различных данных, характеризующих овраг, его водосбор, условия подтока воды к вершине, состав горных пород в точке роста и по длине, уклон склона у вершины, его перепад и т.д.

При разработке и создании системы противоэрозионных мероприятий следует применять комплексный географический подход. С этих позиций противоэрозионный комплекс как таксономическую единицу целесообразно рассматривать не в пределах хозяйственно-административных границ, а в пределах типичных элементарных водосборов, где представлено характерное для данной местности сочетание ландшафтных комплексов (фаций, урочищ и др.). В качестве нормативных следует использовать балочные или речные элементарные водосборы площадью от 5-10 до 50-100 км². Для них разрабатывается и создается оптимальная противоэрозионная система (комплекс), являющаяся составной частью экологически устойчивой, равновесной системы - агроландшафта.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Развитие современных экзогенных процессов в значительной степени определяется ландшафтными условиями. Поэтому для территории Удмуртской Республики разработана новая схема физико-географического (ландшафтного) районирования. В пределах двух ландшафтных зон (типов ландшафтов) выделено 31 вид ландшафтов, которые сгруппированы в 9 физико-географических районов. Ландшафтное разнообразие территории обуславливает крайне неравномерное распространение овражной эрозии.

В республике получили широкое распространение различные эрозионные формы рельефа, выработанные постоянными русловыми и временными водотоками: речные долины, древние (реликтовые) ложбины, лощины, балки, суходолы и современные размоины, вымоины, промоины, овраги, лога и логовины. Представлена морфолого-генетическая классификация оврагов, несколько различающаяся от традиционной. Среди первичных оврагов выделяются придолинные, прибалочные и приводораздельные, среди вторичных - донные, вершинные и пойменные. В зависимости от стадий развития и состава размываемых пород дается их морфолого-морфометрическая характеристика.

Впервые для республики приводится серия карт эрозионных форм рельефа: густоты долинной и балочной сети, густоты и плотности оврагов, построенные методом выделения элементарных бассейнов на основе использования крупномасштабных аэрофотоматериалов и топокарт. Анализ этих карт показывает, что густота долинной и балочной сети возрастают в северном направлении, в то время как овражная расчлененность в этом направлении очень резко сокращается даже в условиях сходных ландшафтов.

Анализ факторов оврагообразования выявляет ведущую роль хозяйственной деятельности человека, которая определяется через сведение лесов и последующую распашку территории. Существенна роль геоморфологических (глубин местных базисов эрозии, асимметрии склонов речных долин, длины и крутизны склонов) и геологических (состав горных пород, мощность склоновых суглинков) условий. Роль зональных (климатических) факторов в распространении оврагов

подавляется более сильным влиянием азональных (геолого-геоморфологических) факторов. Степень овражной расчлененности территории главным образом определяется высокой земледельческой освоенностью, интенсивным поверхностным стоком воды, достаточной для возникновения оврагов длиной и крутизной склонов, зависящих от густоты и глубины долинно-балочного расчленения и широким распространением легко размываемых лессовидных суглинков.

Анализ аэрофотоматериалов повторных лет залетов и данные 20-летних стационарных наблюдений свидетельствуют о большом диапазоне средних скоростей роста оврагов за последние три с половиной десятилетия. Наибольшие различия наблюдаются среди первичных (приводораздельных) оврагов, они изменяются от нулевых значений до 123 м/год. Средние многолетние скорости роста вторичных оврагов (1,35 м/год) несколько выше, чем первичных (1,26 м/год). С наибольшей скоростью размываются делювиально-солифлюкционные суглинки и балочные отложения, медленнее всего растут овраги в прочных коренных породах.

Отмечается неравномерный пульсационный характер роста оврагов во времени, обусловленный гидрометеорологическими условиями. При этом около 80% годового прироста оврагов происходит за счет стока талых вод, роль ливневого стока невелика. Максимальная скорость роста оврагов наблюдалась до конца 70-х гг., в 1980-е гг. активность оврагообразования снижается, а в 1990-1994 гг. отмечается новый "всплеск" ее активности. Общий тренд овражной эрозии свидетельствует о затухании процесса, что обусловлено, во-первых, стадийным характером оврагообразования, во-вторых, сказывается влияние противозэрозионных и других мероприятий, ограничивающих рост оврагов.

О затухании овражной эрозии говорят и данные повторного картирования овражной сети. Причем отрицательная тенденция оврагообразования более характерна для южных и юго-восточных районов Удмуртии, отличающихся и более высокой степенью овражного расчленения. Повышение активности оврагообразования отмечается для малоэрозионных северных и западных районов. Для характеристики интенсивности овражной эрозии предлагается новый показатель – модуль оврагообразования, равный отношению современной густоты или плотности оврагов к средней продолжительности их существования в данных ландшафтных условиях.

На основе учета современной овражной расчлененности, тенденции овражной эрозии и модуля оврагообразования проведено

эрозионное районирование территории Удмуртии, по выделенным районам рассчитаны прогнозные характеристики овражного расчленения. Полученные результаты найдут применение при планировании и разработке противозерозионных мероприятий, выборе наиболее эффективных мер борьбы с оврагами и создании экологически устойчивых агроландшафтов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Аверьянова Г.А., Петров Г.П. Плотность гидрографической сети Среднего Поволжья.// Изв. Казан. фил. АН СССР. Сер. энергетики и водн. хоз-ва: Вып.2. Ч.2. Вопросы гидрологии. Казань, 1961.
2. Агроклиматические ресурсы Удмуртской АССР. Л., Гидрометеиздат, 1974. 115 с.
3. Агроклиматический справочник по Удмуртской АССР. Л., Гидрометеиздат, 1961. 119 с.
4. Алексенцева А.И., Бутаков Г.П. Климатическая асимметрия речных долин Русской равнины// Климатический фактор рельефообразования. Казань: Изд-во Казан. ун-та, 1978. С. 41-43.
5. Арманд Д.Л. Естественный эрозионный процесс // Изв. АН СССР. Сер. географ., 1955, № 6. С.3-14.
6. Арманд Д.Л. Физико-географические основы проектирования сети поlezащитных лесных полос. М., Изд-во АН СССР. 1961. 367 с.
7. Архангельский А.Д. Среднее и Нижнее Поволжье. Землеведение, 1911. Т. 18.
8. Архипов Ю.Р., Блажко Н.И., Григорьев С.В., Заботин Я.И., Трофимов А.М., Хузеев Р.Г. Математические методы в географии. Казань: Изд-во Казан. ун-та, 1976. 352 с.
9. Атлас Удмуртской АССР. М.: ГУТК, 1974.
10. Афанасьева Т.В., Василенко В.И., Терешина Т.В., Шермет Б.В. Почвы СССР. М.: Мысль, 1979. 380 с.
11. Бабанов Ю.В. Асимметрия рельефа: причины и следствия. Казань, 1979. 97 с.
12. Бадамшина С.П., Дедков А.П., Костина Н.М., Сироткина Н.М. О глубинах эрозионного расчленения северо-восточной части Приволжской возвышенности //Вопросы геоморфологии Среднего Поволжья. Казань: Изд-во Казан. ун-та, 1964. С.31-35.
13. Балков В.А. Охрана малых рек от истощения путем мелиорации на их водосборах// Проблемы природного районирования и охрана природы. Уфа, 1982. С.53-61.

14. Барабанов А.Т. Агролесомелиорация в почвозащитном земледелии. Волгоград, 1993. 156с.
15. Баранов А.В. Сток взвешенных наносов и эрозионное районирование бассейна р.Камы. Автореф. дисс. ... канд. геогр. наук. М., 1988. 22 с.
16. Бастраков Г.В. Способ определения устойчивости почвогрунтов к водной эрозии// Бюл. Комитета по делам изобретений и открытий при СМ СССР, 1972. №28.
17. Бастраков Г.В. Эрозионная прочность горных пород // Геоморфология, 1977, №2. С.52-55.
18. Бастраков Г.В. Устройство для исследования процессов водной эрозии материалов// Бюл. Комитета по делам изобретений и открытий при СМ СССР, 1980. №20.
19. Бастраков Г.В. Оценка и прогноз противоэрозионной устойчивости склоновых земель /Метод. пособие/. Брянск, 1983. 45 с.
20. Бастраков Г.В. Эрозионная устойчивость рельефа и противоэрозионная защита земель. Брянск, 1994. 260 с.
21. Белюнин М.Д., Голубева В.А., Скублов Г.Т. Факторный анализ в геологии. М.: Недра, 1982. 269 с.
22. Беллев В.А. Борьба с водной эрозией почв в Нечерноземной зоне. М.: Госсельхозиздат, 1976. 158 с.
23. Берг Л.С. Географические зоны Советского Союза. М.: Географгиз, 1947. 320 с.
24. Бобровицкая Н.Н. Исследование закономерностей формирования стока взвешенных наносов рек СССР в условиях антропогенного воздействия //Эрозиоведение: теория, эксперимент, практика: Тез. докл. Всесоюз.науч.конф. М.: Изд-во МГУ, 1991. С.21-22.
25. Бокъв В.А. К вопросу о причинах асимметрии склонов речных долин Западной Башкирии// Сб. аспирантских работ. Естественные науки. Казань: Изд-во Казан. ун-та, 1966. С. 69-85.
26. Большов С.И., Борсук О.А., Евтеев О.А. Стационарные наблюдения за овражной эрозией в Подмосковье //Факторы и процессы ландшафтообразования. М., 1986. С. 59-63.
27. Бриллинджер Д. Временные ряды. Обработка данных и теория. /Пер. с англ. М.: Мир, 1980. 536с.
28. Будыко М.И. Климат и жизнь. Л., 1971.
29. Бутаков Г.П. Плейстоценовый перигляциал на востоке Русской равнины. Казань, 1986. 144 с.

30. Бутаков Г.П., Алексенцева А.И. Генетический анализ асимметрии речных долин Вятско-Камского междуречья //Физико-географические основы развития и размещения производительных сил Нечерноземного Урала. Пермь, 1979. С.111-119.
31. Бутаков Г.П., Бабанов Ю.В., Мозжерин В.И., Алексенцева А.И. О зональности асимметрии речных долин востока Русской равнины //Ландшафтные исследования на территории Поволжья. Сб. 10. Казань, 1977. С.53-79.
32. Бутаков Г.П., Бабанова Г.А., Двинских А.П., Назаров Н.Н., Рысин И.И. Анализ скоростей овражной эрозии в различных условиях востока Русской равнины //Количественный анализ экзогенного рельефообразования (к XIX Пленуму геоморфологической комиссии АН СССР). Казань: Изд-во Казан. ун-та, 1987. С.77-89.
33. Бутаков Г.П., Дедков А.П., Зорина Е.Ф., Ковалев С.Н., Косцова Э.В., Назаров Н.Н., Никольская И.И., Семенов О.П., Хруцкий С.В. Эрозионный рельеф временных водотоков Восточно-Европейской равнины //Эрозионные и русловые процессы. М., 1996. Вып. 2. С.24-39.
34. Бутаков Г.П., Двинских А.П., Назаров Н.Н., Рысин И.И. Современная овражная эрозия на востоке Русской равнины // Геоморфология, 1987, №2. С.43-46.
35. Вальтер Г., Алехин Г. Основы ботанической географии. М.; Л., 1936. 716 с.
36. Васильева Д.П. Ландшафтная география Марийской АССР. Йошкар-Ола, 1979.
37. Вараксина Е.Г., Невоструев В.Ф., Пермяков Ф.И. Борьба с эрозией почв. Ижевск: Изд-во «Удмуртия», 1980. 68 с.
38. Вараксина Е.Г., Чирков И.К. Цена гектара. Ижевск: Изд-во «Удмуртия», 1975. 92 с.
39. Ведомости длин и площадей водосборов рек Удмуртской АССР /Научный отчет Казанского отдела гидрол. и водн. ресурсов Сев. НИИГиМа/. Казань, 1973.
40. Веретенникова М.В., Зорина Е.Ф., Каташ И.Г., Ковалев С.Н., Любимов Б.П., Никольская Н.Н., Прохорова С.Д. Прогнозная оценка развития овражной эрозии как современного антропогенного процесса //Эрозия почв и русловые процессы /под ред. Р.С. Чалова. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1995. С.68-86.
41. Вернадский В.И. Очерки геохимии. М.; Л., 1934.

42. Водогрещкий В.Е. Антропогенное изменение стока малых рек. Л.: Гидрометеиздат, 1990. 176 с.
43. Воейков А.И. Воздействие человека на природу //Землеведение. Т.1, кн.2 и 4. СПб., 1894. 252 с.
44. Возовик Ю.И. О повторяемости событий в процессе развития ландшафтов во времени // Ритмы и цикличность в природе /Вопросы географии, сб. 79. С. 3-14.
45. Волков Н.М. Принципы и методы картометрии. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1950. 326 с.
46. Гайворон Т.Д. Стадии развития овражно-балочных форм и их связь с этапами земледельческого освоения (на примере бассейна р.Сейм) //Геоморфология, 1985, №4. С. 66 – 70.
47. Гвоздецкий Н.А. Основные проблемы физической географии. М.: Высшая школа, 1979. 222 с.
48. Генеральная схема использования земельных ресурсов Удмуртской АССР до 2005 года. Ижевск, 1987.
49. Геоэкологические проблемы Удмуртии /под ред. В.И.Стурмана. Ижевск: Изд-во Удм. ун-та, 1997. 158 с.
50. Герасимов И.П. Овраги и балки (суходолы) степной полосы //Проблемы физической географии. М., 1950. Т. 15. С.27-44.
51. Гмурман В.Е. Руководство к решению задач по теории вероятностей и математической статистике. М.: Высш. шк., 1975. 333с.
52. Голосов В.Н., Острова И.В.,Силантьев А.Н., Шкуратова И.Г. Радиоизотопный метод оценки современных темпов внутрибассейновой аккумуляции // Геоморфология, 1992, №1. С.30-36.
53. Голосов В.Н. О цикличности эрозионно-аккумулятивных процессов в сельскохозяйственной зоне Русской равнины // Геоморфология, 1996, №3. С. 43-51.
54. Гуссак В.Б. Факторы и внутренние последствия поверхностных смывов красноземов в условиях влажных субтропиков Грузии //Эрозия почв. М.; Л., Изд-во АН СССР, 1937. С.103-154.
55. Дедков А.П. Экзогенное рельефообразование в Казанско-Ульяновском Приволжье. Казань, 1970. 255 с.
56. Дедков А.П. Об интенсивности экзогенных процессов в семиаридной зоне //Количественный анализ экзогенного рельефообразования. Казань: Изд-во Казан. ун-та, 1987. С.60-76.
57. Дедков А.П. Эрозия в полупустыне //Проблемы освоения пустынь. Ашхабад, 1990. №6. С.39-45.

58. Дедков А.П., Бутаков Г.П., Мозжерин В.И., Переведенцев Ю.П., Сафина Г.Р., Шанталинский К.М. Изменчивость компонентов окружающей среды востока Русской равнины и некоторые аспекты ее моделирования// Программа "Университеты России". Направление 2. Университеты как центры фундаментальных исследований. География. М.: Изд-во МГУ, 1993. С.86-91.
59. Дедков А.П., Вакилов И.Ю., Минов С.Г., Новиков В.В. Связь глубины залегания подземных вод с рельефом и залесенностью в Среднем Поволжье //Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. География. 1995. №4.
60. Дедков А.П., Курбанова С.Г., Мозжерин В.И. О деградации речной сети в Среднем Поволжье и ее причинах //Труды Акад. водохозяйственных наук. Вып. 1. Водохозяйственные проблемы русловедения. М., 1995. С.93-99.
61. Дедков А.П., Курбанова С.Г., Часовникова Э.А. Антропогенные изменения подземного и поверхностного стока в лесостепном Поволжье //Охрана и рациональное использование водных ресурсов и геологической среды в Нижнем Поволжье. Саратов, 1988. С.11-12.
62. Дедков А.П., Малышева О.Н., Порман С.В., Рождественский А.Д. Древние поверхности выравнивания и останцовый рельеф Удмуртии //Развитие склонов и выравнивание рельефа. Казань, 1974. С.64-76.
63. Дедков А.П., Мозжерин В.И. Эрозия и сток наносов на Земле. Казань: Изд-во Казан. ун-та, 1984. 264 с.
64. Дедков А.П., Мозжерин В.И. О зональности эрозии и стока взвешенных наносов на Русской равнине //Проблемы отраслевой и комплексной географии. Казань: Изд-во Казан. ун-та, 1976. С.41-45.
65. Дедков А.П., Мозжерин В.И. Основные подходы к изучению изменений режима стока и их геоморфологических следствий //Причины и механизм пересыхания малых рек. Казань, 1996. С. 9-26.
66. Дедков А.П., Мозжерин В.И., Трофимов А.М., Ступишин А.В. Климатическая геоморфология денудационных равнин. Казань: Изд-во Казан. ун-та, 1977. 224 с.
67. Дедков А.П., Мозжерин В.И., Сафина Г.Р. Аномальные проявления эрозии в Среднем Поволжье в 1950-1987 годах //Геодинамика равнинного рельефа. Изд-во Казан. ун-та, 1992. С.24-41.
68. Дедков А.П., Мозжерин В.И., Сафина Г.Р. О современном тренде эрозии в степной и лесостепной зонах Восточно-Европейской равнины //Геоморфология, 1996, №3. С.39-43.

69. Дедков А.П., Рысин И.И., Чернышева Т.Н. О распространении овражной эрозии на пахотных землях Европы //Геоморфология, 1993, №2. С.3-13.
70. Деч В.Н., Кноринг Л.Д. Нетрадиционные методы комплексной обработки и интерпретации геолого-геофизических наблюдений в разрезах скважин. Л.: Недра, 1978. 192 с.
71. Димо Н.А., Келлер Б.А. В области полупустыни. Саратов, 1907. 578 с.
72. Докучаев В.В. Овраги и их значение. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1949. Т.1. С.103-111.
73. Докучаев В.В. Способы образования речных долин Европейской России. СПб., 1878. 216с.
74. Докучаев В.В. Наши степи прежде и теперь. СПб., 1892.
75. Дружинин И.П. Переломы многолетнего хода природных процессов на Земле и резкие изменения солнечной активности //Ритмы и цикличность в природе. М.: Мысль, 1970. С.15-50.
76. Дуглав В.А. Изучение эрозионного расчленения и составление эрозионных карт по аэрофотоснимкам //Вопросы геоморфологии Среднего Поволжья. Учен. зап. Казан. ун-та, 1964. Т.124, кн.4. С.22-30.
77. Дуглав В.А. Развитие овражной эрозии в Западном Закамье Татарской АССР// Географический сборник. №1. Казань, 1966. С.43-45.
78. Ермолаев О.П. Пояса эрозии в природно-антропогенных ландшафтах речных бассейнов. Казань: Изд-во Казан. ун-та, 1992. 147 с.
79. Жаркова Ю.Г. Почвозащитные свойства агроценозов //Работа водных потоков. М.: Изд-во МГУ, 1987. С.39-51.
80. Зянин Г.В. Эрозионные формы рельефа, созданные временными водотоками //Изв. АН СССР. Сер. Геогр., 1952, №6. С.10-23.
81. Заславский М.Н. Эрозиоведение. М.: Высш. шк., 1983. 320 с.
82. Земельный фонд Удмуртской Республики. Ижевск, 1995. 60 с.
83. Звонкова Т.В. Географическое прогнозирование. М.: Высш. шк., 1987. 192 с.
84. Зорина Е.Ф. Оценка опасности развития линейной эрозии в равнинных условиях СССР // Работа водных потоков. М.: Изд-во МГУ, 1987. С.88-92.
85. Зорина Е.Ф. Некоторые особенности развития овражной эрозии //Геоморфология, 1987, № 4. С. 62 – 67.

86. Зорина Е.Ф., Каташ И.Г., Любимов Б.П., Никольская И.И., Прохорова С.Д. Новые типы карт опасности овражной эрозии //Геоморфология, 1992, №3. С.25-31.
87. Зорина Е.Ф., Павлов Ю.И. Опыт районирования равнин СССР по величине модулей стока дождевых паводков с малых водосборов //Эрозия почв и русловые процессы. Вып.3. М.:Изд-во МГУ, 1973. С.135-141.
88. Иванов В.Д. Обоснование границ динамического равновесия между эрозией почв и скоростью почвообразования на пахотных склонах УЧО //Почвоведение, 1984, №1. С.85-89.
89. Иванов В.Д., Лопырев М.И. Об установлении категории эрозионноопасных земель по интенсивности смыва почв тальми водами //Почвоведение, 1979, №4. С.81-91.
90. Ильминских Н.Г. Положение Ижевска на географической карте //Природа Ижевска и его окрестностей. Ижевск: Изд-во «Удмуртия», 1998. С. 7-9.
91. Исаченко А.Г. Ландшафтоведение и физико-географическое районирование. М.: Высш. шк., 1991. 366 с.
92. Йереско К.Г., Клован Д.И., Реймент Р.А. Геологический факторый анализ. Л.: Недра, 1980. 224 с.
93. Калесник С.В. О графическом изображении энергии рельефа //Изв. гос. геогр. об-ва, 1936. Т.68, вып.6. С.894-898.
94. Каштанов А.Н., Заславский М.Н. Почвоводоохранное земледелие. М.: Россельхозиздат, 1984. 462 с.
95. Каштанов А.Н. Землю не обманешь //Аргументы и факты. 1989. №48. 8 с.
96. Кендэл М. Временные ряды /пер. с англ. М.: Финансы и статистика, 1981. 199с.
97. Керн Э.Э. Овраги, их закрепление, облесение и запруживание. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1928. 163 с.
98. Кесь А.С. Основные стадии развития современного овражно-эрозионного рельефа // Проблемы физической географии. М.: Изд-во АН СССР, 1950. Т.15. С.45-57.
99. Киселев П.Г. Справочник по гидравлическим расчетам. М.; Л., 1957. 352 с.
100. Климатический справочник СССР. Среднее декадное количество осадков с поправкой на смачивание. Горький, 1976. Вып.29.
101. Кноринг Л.Д., Деч В.Н. Геологу о математике. Л.: Недра, 1989. 208 с.

102. Ковальчук И.П., Волос С.И., Холодыко Л.П. Речные системы запада Украины: масштабы и тенденции трансформации структуры, механизм изменения состояния в 19-20 веках //Причины и механизм пересыхания малых рек. Казань, 1996. С. 43-56.
103. Ковальчук И.П., Штойко П.И. Речные системы Западного Подолья: методика выявления масштабов и причин многолетних изменений их структуры и экологического состояния //Геоморфология, 1989, № 4. С. 27-34.
104. Козменко А.С. Гидрологическое исследование Тульской губернии. Район первый. Водосборы рек Зуши до устья р.Плывицы включительно. Труды в пределах Тульской губернии (Новосильский и Чернский уезды). Тула, 1913. 8 с.
105. Козменко А.С. Работы Новосильской опытно-овражной станции по изучению приемов борьбы с эрозией //Эрозия почв. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1937. С.155-185.
106. Козменко А.С. Основы противоэрозионной мелиорации. М.: Сельхозгиз, 1954. 421 с.
107. Козменко А.С. Борьба с эрозией почв. М.: Сельхозгиз, 1954. 229 с.
108. Козменко А.С. Борьба с эрозией почв на сельскохозяйственных угодьях. М.: Сельхозгиз, 1963. 203 с.
109. Колбин М.Ф. К вопросу об асимметрии склонов //Изв. Всесоюз. геогр. об-ва, 1945. Т.77, вып.1-2. С.123-124.
110. Конке Г., Бертран А. Охрана почвы. М.: Изд-во с.-х. лит., 1962. 344г.
111. Корнев Я.В. Эрозия почвы как фактор урожайности //Эрозия почв. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1937. С.187-246.
112. Коротина Н.М. Овражная эрозия на территории Ульяновского Предволжья: Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. Казань, 1967. 27 с.
113. Коротина Н.М. Скорость роста оврагов в Ульяновском Поволжье //Геоморфология, 1981, №4. С.78-83.
114. Косов Б.Ф. Заметки об овражной эрозии в тундре, лесной зоне, лесостепи и пустыне // Вопросы эрозии и стока. М.: Изд-во МГУ, 1962. С. 191-208.
115. Косов Б.Ф. Определение интенсивности роста оврагов камеральным путем //Вопросы географии. М.: Мысль, 1963. №63. С.126-132.
116. Косов Б.Ф. Проблема оценки и прогноза интенсивности овражной эрозии и роста оврагов //Вестн. Моск. ун-та. Сер. геогр., 1971, № 1. С. 37-44.

117. Косов Б.Ф. Овражная эрозия в Сибири //Вестн. МГУ. Сер. географ., 1980. №6. С.17-23.
118. Косов Б.Ф. Динамика овражной сети при освоении бывших лесных площадей на юге Нечерноземья //Эрозия почв и русловые процессы. М.:Изд-во МГУ, Вып.8. 1981. С.67-79.
119. Косов Б.Ф., Константинова Г.С. О новом содержании карты овражности //Эрозия почв и русловые процессы. М.: 1972. Вып.2. С.117-185.
120. Косов Б.Ф., Константинова Г.С. Комплексная карта овражности равнинной территории СССР //Геоморфология. 1973. №3. С.3-9.
121. Косов Б.Ф., Любимов Б.П. Оценка факторов овражной эрозии //Эрозионные процессы. М.:Мысль, 1984. С.126-132.
122. Косов Б.Ф., Никольская И.И., Галкин В.А. Моделирование оврага //Эрозия почв и русловые процессы. М.: Изд-во МГУ, Вып.3. 1973. С.78-86.
123. Косов Б.Ф., Никольская И.И. Динамика роста оврагов //Эрозионные процессы. М., Мысль, 1984. С.97-103.
124. Косов Б.Ф., Зорина Е.Ф., Константинова Г.С., Любимов Б.П. Овражная опасность территории Серединного региона СССР в связи с ее хозяйственным освоением // Геоморфология, 1976, №2. С.36-42.
125. Кузнецов М.С. К вопросу о методике исследования эродированности почв //Эрозия почв и русловые процессы. М.: 1973. Вып.3. С.126-134.
126. Кузницын М.А. О скорости роста оврагов на юге Кировской области //Уч. зап. Киров. гос. пед. ин-т, 1969. Вып. 33. С. 22-26.
127. Курбанова С.Г. Антропогенные изменения режима стока и эрозионно-аккумулятивных процессов в Среднем Поволжье: Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. Казань, 1996. 19 с.
128. Ларионов Г.А. Методика средне- и мелкомасштабного картографирования эрозионноопасных земель //Актуальные вопросы эрозиоведения. М.,1984. С.41-66.
129. Ларионов Г.А., Литвин Л.Ф., Заславский М.Н. Факторы эрозии //Эрозионные процессы. М.: Мысль, 1984. С.48-57.
130. Ларионов Г.А. Эрозионный потенциал осадков //Работа водных потоков. М.:Изд-во МГУ, 1987. С.17-21.
131. Ларионов Г.А. Эрозия и дефляция почв. М.:Изд-во МГУ, 1993. 200 с.
132. Лебедев В.М. Физико-географические районы //Природа Удмуртии. Ижевск: Изд-во «Удмуртия», 1972. С.297-319.

133. Лебедев Р.И., Рысин И.И. Особенности размещения и генезис ресурсов песчано-глинистого сырья на территории Удмуртии //Изучение ресурсного потенциала территории. Ижевск: Изд-во Удм. ун-та, 1987. С.77-82.
134. Лепке О. Рациональное использование и охрана земельных ресурсов //АПК: экономика, управление, 1998, № 3. С. 3-8.
135. Литвинов В.Н. Физико-географическое районирование Удмуртской АССР //Учен. зап. Перм. пед. ин-та, вып.41. Пермь, 1967. С.225-258.
136. Литвинов В.Н. Комплексное природно-географическое районирование Удмуртской АССР //Учен. зап. Перм. ун-та, №196. Пермь, 1968. С.124-134.
137. Лопатин Г.В. Наносы рек СССР (образование и перенос). М.:Географгиз, 1952. 366 с.
138. Лопырев М.И., Рябов Е.И. Защита земель от эрозии и охрана природы. М.: Агропромиздат, 1989. 240 с.
139. Львович М.И. Человек и воды. М.:Географгиз, 1963. 357 с.
140. Львович М.И. Вода и жизнь. М.:Мысль, 1986. 255 с.
141. Любимов Б.П. Типы оврагов и балок в тундре на севере Печерской низменности и Гыданского полуострова //Эрозия почв и русловые процессы. М.: Изд-во МГУ, 1970. Вып. 1. С. 162-171.
142. Любимов Б.П. Зональные особенности овражной эрозии //Геоморфология, 1998, № 1. С. 68-72.
143. Любимов Б.П., Белова Е.М., Прохорова С.Д. Методика и опыт оценки европейской территории СССР по природным факторам эрозии //Современные аспекты изучения эрозионных процессов. Новосибирск: Наука, 1980. С.39-45.
144. Мазарович А.Н. Из области геоморфологии и истории рельефа Нижнего Поволжья // Землеведение, 1927, Т.29, вып.3-4. С.91-105.
145. Маккавеев Н.И. Русло реки и эрозия в ее бассейне. М.: Изд-во АН СССР, 1955. 346 с.
146. Марш Г.П. Человек и природа, или о влиянии человека на изменения физико-географических условий природы. СПб., 1886. 470 с.
147. Масальский В.И. Овраги черноземной полосы России, их распространение, развитие и деятельность. СПб.: 1897. 252 с.
148. Материалы гидрометеорологических наблюдений на полевых и лесных парных водосборах. Вып.3. 1974-1975. Вып.4. 1975.

149. Методика полевого моделирования эрозии, расчета смыва и расстояний между лесополосами. М.: Изд-во ВАСХНИЛ, 1991. 42 с.
150. Методические указания по проектированию противэрозионной организации территории при внутрихозяйственном землеустройстве в зонах проявления водной эрозии //Госагропром СССР. М., 1988. 76 с.
151. Мильков Ф.Н. Физическая география. Учение о ландшафте и географическая зональность. Воронеж, 1986. 327 с.
152. Миронова Е.А. Овражность территории СССР //Геоморфология, 1971, №3. С.25-35.
153. Миронова Е.А., Сетунская Л.Е. Некоторые результаты изучения интенсивности роста оврагов на Приволжской возвышенности //Геоморфология, 1974, №3. С.74-82.
154. Миронова Е.А., Сетунская Л.Е. Методика и результаты многолетних наблюдений за развитием оврагов в Поволжье //Современные аспекты изучения эрозионных процессов. Новосибирск, 1980. С.215-220.
155. Мирцхулава Ц.Е. Инженерные методы расчета и прогноза водной эрозии. М., 1970. 240 с.
156. Многолетние данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши (бассейн р. Кама). Л.:Гидрометеиздат, 1988. Т.1, вып. 25. 770 с.
157. Морякова Л.А., Никольская И.И. Природные и антропогенные факторы оврагообразования на территории СССР //Работа водных потоков. М.:Изд-во МГУ, 1987. С.76-88.
158. Назаров Н.Н. Овражная эрозия в Прикамье. Пермь: Изд-во Пермск. ун-та. 1992. 103 с.
159. Наумов С.В. Водная эрозия почв в Саратовской области. Саратов: Приволж. кн. изд-во, 1970. 127 с.
160. Национальный доклад о состоянии окружающей природной среды Удмуртской Республики в 1994 году. Ижевск, 1995. 125 с.
161. Нежиховский Р.А. Русловая сеть бассейна и процесс формирования стока воды. Л.: Гидрометеиздат, 1971. 476 с.
162. Неуструев С.С. Бузулукский уезд. Материалы для оценки земель Самарской губернии. Т.6. Самара, 1916. 500 с.
163. Нигматов А.Н. Экологические проблемы овражной эрозии в Узбекистане //Эрозия почв и русловые процессы. Вып.10. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1995. С.86-103.
164. Никитин С.Н. Предварительные очерки исследования в области Казанской и Самарской губерниях. Казань, 1887. С.1-12.

165. Никитин С.Н. Бассейн Сызрана //Труды экспедиции для исследования источников главнейших рек Европейской России. СПб., 1898. 215 с.
166. Николаев В.А. О развитии овражных склонов (по наблюдениям в Сталинградском Поволжье) //Уч. зап. МГУ, вып. 182. Геоморфология: Изд-во МГУ, 1956. С. 129-141.
167. Николаев В.А. Проблемы регионального ландшафтоведения. М.: Высш. шк., 1979. 160с.
168. Овражная эрозия /под ред. Р.С.Чалова/. М.: Изд-во МГУ, 1989. 168 с.
169. Овражная эрозия востока Русской равнины /под ред. А.П. Дедкова/. Казань: Изд-во Казан. ун-та, 1990. 142 с.
170. Оппоков Е.В. Режим речного стока в бассейне верхнего Днепра (до г. Киева) и его составных частей в период 1878-1901 гг., а частью и в более отдаленные времена в связи с колебаниями атмосферных осадков и температуры в бассейне с местными условиями стока. Ч.1-2. СПб.; М., 1904. 300 с.
171. Отоцкий П.В. О влиянии леса на грунтовые воды. СПб., 1899. 16 с.
172. Панин А.В., Юдаев И.В. Эрозионно-аккумулятивные процессы и деградация речной сети в бассейне Хопра //Современная география и окружающая среда /Всерос. научн. конф. Секция – исследование эрозионных и русловых процессов (тезисы докл.). Казань: Изд-во Казан. ун-та, 1996. С. 151-153.
173. Панков А.М. Нормальная денудация и эрозия почв //Эрозия почв. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1937. С.7-19.
174. Пармузин Ю.П. Тайга СССР. М.: Мысль, 1985. 302 с.
175. Перевошиков А.А. Закономерности формирования антропогенно-обусловленного пойменного аллювия в долинах малых рек Удмуртии: Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. Казань, 1997. 20 с.
176. Пермяков Ф.И. Почвы Удмуртии. Ижевск: Изд-во «Удмуртия», 1972. 223 с.
177. Перов В.Ф. Об асимметрии эрозионных форм. //Уч. зап. Моск. ун-та. Геоморфология, 1956, вып.182. С.143-152.
178. Плохинский Н.А. Биометрия. М.: Изд-во МГУ, 1970. 367 с.
179. Поляков Б.В. Влияние агротехнических мероприятий на сток //Метеорология и гидрология, 1939, №4. С.83-88.

180. Порман С.Р. К вопросу об асимметрии склонов долин юго-востока Татарской АССР // Сб. аспирантских работ Казан. ун-та. Естественные и географические науки. Казань, 1974. С.97-103.
181. Пресняков Е.А. Об асимметрии долин в Сибири // Вопросы геологии Азии. Т.2.- М.:Изд-во АН СССР, 1955. С.391-396.
182. Проектирование и создание систем противозерозионных и водоохраных мероприятий на водосборах (рекомендации). М.: Агропромиздат, 1990. 32 с.
183. Путилин А.Ф. Оврагообразование на юго-востоке Западной Сибири. Новосибирск: Наука, 1988. 81 с.
184. Региональные системы противозерозионных мероприятий. М.: Мысль, 1972. 544 с.
185. Редкие и исчезающие виды растений и животных Удмуртии. Ижевск: Изд-во «Удмуртия», 1988. 143 с.
186. Ресурсы поверхностных вод СССР. Т.11. Средний Урал и Приуралье. Л.: Гидрометеоиздат, 1973. 848 с.
187. Рождественский А.П., Журенко Ю.Е., Майорова Л.Г. Опыт изучения современных овражных процессов в Южном Приуралье //Материалы по геоморфологии и новейшей тектонике Урала и Поволжья. Уфа, 1972. № 3. С. 35-43.
188. Рожков А.Г. Некоторые вопросы изучения овражной эрозии и борьба с ней //Вопросы эрозии и повышения продуктивности склоновых земель Молдавии. Кишинев.: Картя Молдовеняскэ, 1966. Т.5. С.145-150.
189. Рожков А.Г. Борьба с оврагами. М.: Колос, 1981. 199 с.
190. Русловой режим рек северной Евразии (в пределах бывшего СССР) /под ред. проф. Р.С.Чалова. М., 1994. 336 с.
191. Рысин И.И. Эрозионная расчлененность Удмуртской АССР. Деп. в ВИНТИ, №1272-81. Казань, 1981. 32 с.
192. Рысин И.И. Почвенная и овражная эрозия на территории Удмуртской АССР. Дис. ... канд. геогр. наук. Казань, 1981. 203 с.
193. Рысин И.И. Математические методы оценки факторов овражной расчлененности (на примере Удмуртской АССР) //Экзогенные процессы и эволюция рельефа (к 25 международному географическому конгрессу, Франция, 1984). Казань: Изд-во Казан. ун-та, 1983. С.184-198.
194. Рысин И.И. Стационарные наблюдения за динамикой современного оврагообразования в Удмуртии //Экзогенные процессы и окружающая

- среда (тез. докл. XIX Пленума Геоморфологической комиссии АН СССР). Казань: Изд-во Казан. ун-та, 1988. С. 115-116.
195. Рысин И.И. Условия проявления эрозии и эрозионные свойства почв Удмуртской АССР //Эрозионные свойства почв некоторых регионов РСФСР. Брянск, 1990. С.104-115.
 196. Рысин И.И. Стационарные исследования овражной эрозии в Удмуртии //Девятое межвуз. координ. совещ. по проблеме эрозионных, русловых и устьевых процессов (тезисы докл.). Брянск, 1994. С. 117-118.
 197. Рысин И.И., Бутаков Г.П. О вертикальном расчленении рельефа Удмуртии //Физико-географические основы развития и размещения производительных сил Нечерноземного Урала. Пермь: Изд-во Пермск. ун-та, 1981. С.90-95.
 198. Рысин И.И., Венчиков А.И. Об интенсивности почвенной эрозии на пахотных землях Удмуртии //Вестн. Удм. ун-та, 1996, №3. С.102-112.
 199. Рысин И.И., Дуглав В.А. Изучение эрозионных процессов по аэрофотоснимкам // Изучение ресурсного потенциала территории. Ижевск: Изд-во Удм. ун-та, 1987. С.133-139.
 200. Рысин И.И., Лебедев Р.И., Болоткова Е.М., Михайлова С.А. Об эрозионных свойствах почв Удмуртии //Вестн. Удм. ун-та, 1993, №3. С.84-86.
 201. Сементовский В.Н. Закономерности морфологии платформенного рельефа. Казань, 1963.
 202. Сергеев Г.М. Асимметрия основных форм рельефа Канско-Ачинского бассейна //Изв. Всесоюз. геогр. об-ва, 1967, Т.99. Вып.2. С.187-192.
 203. Сетунская Л.Е. Овражная эрозия (методы изучения) //Методы полевых геоморфологических экспериментов в СССР. М., 1986. С. 48-65.
 204. Сидорчук А.Ю. Эрозионно-аккумулятивные процессы на Русской равнине и проблемы заиления малых рек // Труды Академии водохозяйственных наук. Вып. 1. Водохозяйственные проблемы русловедения. М., 1995. С. 74-83.
 205. Скоморохов А.И. Скорость роста оврагов //Геоморфология, 1981, №1. С.97-103.
 206. Сластухин В.В. Вопросы мелиорации склонов Молдавии. Кишинев: Карта Молдовеняскэ, 1964. 212 с.

207. Соболев С.С. Развитие эрозионных процессов на территории европейской части СССР и борьба с ними. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1948. Т.1. 305 с.
208. Соболев С.С. Развитие эрозионных процессов на территории европейской части СССР и борьба с ними. М.: Изд-во АН СССР, 1960. Т.2. 248 с.
209. Солнцев В.Н. Хроноорганизация географических явлений //Вопросы географии. Сб.117. Геофизика ландшафта. М.: Мысль, 1981. С.40-68.
210. Сочава В.Б. Введение в учение о геосистемах. Новосибирск, 1978. 319 с.
211. Спиридонов А.И. Развитие склонов овражно-балочного рельефа Средне-Русской возвышенности //Известия АН СССР, сер. геогр., 1956, № 2. С. 25-34.
212. Спиридонов А.И. Геоморфологическое картирование. М.: Недра, 1975. 183 с.
213. Ступишин А.В. Снеговая асимметрия и асимметрия склонов //Вопросы географии. Сб.21, 1950. С.101-102.
214. Субботин А.И. Сток талых и дождевых вод. М.: Гидрометеиздат, 1966. 376 с.
215. Сурмач Г.П. Водная эрозия и борьба с ней. Л.: Гидрометеиздат, 1976. 252 с.
216. Сурмач Г.П. Опыт расчета смыва почв для построения комплекса противозерозионных мероприятий //Почвоведение, 1979, №4. С.92-104.
217. Туганаев В.В. Агрэкосистемы и этногенетические процессы в Волжско-Камском регионе //Вестн. Удм. ун-та. Ижевск, 1991. №1.
218. Фердман Л.Н. О возможности количественной оценки асимметрии речных долин // Структурно-геоморфологические исследования в Сибири. Новосибирск: Наука, 1970. Вып.1. С. 84-90.
219. Ферхмин А.Р., Докучаев В.В. Княгининский уезд //Материалы к оценке земель Нижегородской губернии. СПб., 1884. Вып. 4.
220. Хабибуллина Ф.С. Овражно-балочная расчлененность территории Татарии //Изв. Казан. фил. АН СССР. Сер. геолог., 1950. Вып. 1. С. 111-120.
221. Чалов Р.С. Географические исследования русловых процессов. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1979. 232 с.

222. Чалов Р.С. Антропогенные изменения русловых процессов и возможности управления ими //Эрозионные и русловые процессы. Луцк, 1991. С. 7-19.
223. Часовникова Э.А. Полевые стационарные исследования экзогенных процессов рельефообразования в Ульяновском Поволжье //Количественный анализ экзогенного рельефообразования (к 19 Пленуму геоморфологической комиссии АН СССР). Казань: Изд-во Казан. ун-та, 1987. С. 30-44.
224. Чернов А.В. Заиление русел малых рек Европейской России и сопредельных государств //Геоморфология, 1984, № 4. С. 100-108.
225. Швец Г.И. Формирование водной эрозии, стока наносов и их оценка (на примере Украины и Молдавии). Л.: Гидрометеиздат, 1974. 184 с.
226. Щукин И.С. Общая геоморфология. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1960. Т.1. 615 с.
227. Эрозионные процессы /под ред. Н.И.Маккавеева, Р.С.Чалова. М.: Мысль, 1984. 256 с.
228. Bruckner E. Klimaschwankungen seit 1700. Geogr. Abhandl. V. №2. Wien, 1890.
229. Chudek T. Geomorfologie vychodnimcasti Nizkcho Jeseniky. Praha: Academia, 1971. 90 p.
230. Ebisemiju F.S. A geomorphological approach to land use planning and soil conservation //G. Environ. Manag., 1989, 28. N2. P. 327-336.
231. Graf W.L. Fluvial processes in dryland rivers. Berlin, Heidelberg, New York, London, Paris, Tokyo: Springer Verlag. 1988. 348 p.
232. Jovers G. Rill erosion on arable land in Central Belgium: rates, controls and predictability //Catena, 1991. 18, N2. C. 133-155.
233. Karrasch H. Das Phänomen der Klimabedingten Reliefsymmetrie in Mitteleuropa//Cöttingen Geogr, Abh., 1970, H. 56 - 299 s.
234. Lopez B.F. V clima mediterraneo semiarido cano factor de erosion //Estud. Geogr., 1990, 51. N199-200. P. 489-506.
235. Patton P., Schumm S.A. Gully erosion northwestern Kolorado: a threshold phenomenon //Geology, 1975, N2-3. P. 88-90.
236. Poser H. Boden und Klimaverhalthissen in Mittel - und Westeiropa Währund der Würmeiszeit //Erdkunde, 1948, Bd. 2, 1-3. S.14-31.
237. Rysin I.I., Venchikov A.I. Intensity of Soil erosion ov Udmurt Arable lands //International Workshop on Soil erosion. Purdue University West Lafayette, 1993. P.322-335.

238. Tricart I. Formations quaternaires et evolution morphologique de la moyenne vallee de l'Vonne et de la basse vallee de la Cure. - Bull. Soc. Geol. France, 1951, ser.6, v.1. P.497-510.
239. Wischmeier W.H., Smith D.D. Predicting rainfall-erosion losses from cropland east of the Rocky Mountains. Agric. Handbook № 282. Usda. Washington, 1965.
240. Wischmeier W.H., Smith D.D., Uhland R.E. Evaluation of factor in the soil-loss equation. Agric. Eng. Vol. 39, № 8, 1958.
241. Wischmeier W.H., Smith D.D. Predicting rainfall erosion losses// Agricultural handbook №337. Washington. 1978. 65 p.
242. Zingg A.W. Degree and Length of Sand Slope as it affects Soil Loss in Runoff //Agric. Engin. 1940. № 2. P.59-64.

ПРИЛОЖЕНИЕ I

Морфометрические характеристики оврагов и их водосборов на ключевых участках

№ оврага	Длина главного оврага (м)	Количество вершин оврагов	Общая длина оврагов (м)	Абс. отметка устья оврага (м)	Абс. отметка вершин оврага (м)	Падение оврага (м)	Средний уклон оврага (м/км)	Длина линии стока (м)	Средний уклон линии стока (м/км)	Абс. отметка водораздела (м)	Средний уклон линии стока (м/км)	Средний уклон склона (м/км)	Длина склона (м)	Глубина местного базиса эрозии (м)	Площадь вершинного водосбора, (га)	Экспозиция склона
1. Ключевой участок "Пужыгурт" (Шарканский район)																
1	45	1	45	123	124,8	1,8	40	1300	212,5	67	66,5	1345	97,5	42,38		Ю3
2	240	1	240	131	160	29	121	220	190	136	128	460	75	2,42		Ю3
3	110	1	110	150	166	16	145	380	194	74	90	490	79	2,17		Ю3
4	80	1	80	150	166	16	0,200	430	202,7	85	103	510	87,3	3,14		С
5	420	1	420	126	166	40	95	400	202,7	92	94	820	87,3	3,81		С,СВ
6	80	1	80	130	145	15	190	700	202,7	82	93	780	82,7	3,57		ЮВ
7	50	1	50	145	155	10	200	620	202,7	77	86	670	82,7	3,62		ЮВ
8	60	1	60	134	145	11	183	650	202,7	89	97	710	82,7	2,9		ЮВ
9	32	1	32	137	138	1	31	950	202,7	67	67	982	74,3	18,1		ЮВ
10	34	1	34	134	136	2	59	1100	187,5	47	47	1134	57,5	8,94		В,ЮВ
11	40	1	40	141	142,5	1,5	38	1400	214,9	52	51	1440	82	52,66		Ю
12	36	1	36	125	126	1	28	1300	212,5	67	65	1336	87	79,47		3
13	52	1	52	159	164	5	96	400	195	78	80	452	47	4,52		ЮВ
14	56	1	56	199	215	16	286	300	235	67	101	356	75	2,42		Ю
15	50	1	50	204	220	16	320	170	235	88	141	220	75	1,21		Ю3
16	88	1	88	180	183	3	34	600	235	87	80	688	70	8,5		СВ
2. Ключевой участок "Старые Быги" (Шарканский район)																
17	480	4	660	135	160	25	52	950	180	21	31	1430	61,0	20,41		С3
3. Ключевой участок "Селты" (Селгинский район)																
18	180	1	180	130	147	17	94	890	171,5	28	39	1070	46,4	9,8		ЮВ
19	120	1	120	134	147	13	108	1100	171,5	22	31	1220	46,5	4,6		ЮВ

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
20	210	1	210	129	146	17	81	1100	171,5	23	32	1310	46,6	6	ЮВ
21	160	1	160	131	144	13	81	1280	171,5	21	28	1440	46,6	4,7	ЮВ
22	130	1	130	130	142,5	12,5	96	1380	171,5	21	27	1510	46,7	3,4	ЮВ
4. Ключевой участок "Волково" (Важоковский район)															
23	192	2	250	127	133	6	31	910	148	16	19	1102	23	17,1	В
24	366	1	366	130	139	9	25	2420	192	22	22	2786	64,5	61,1	С
25	380	5	610	139	153	14	37	1430	190	26	28	1810	51	57,5	С
26	810	1	810	145	175	30	37	1200	230	46	42	2010	86	47	С3
27	110	1	110	128	132	4	36	680	150	26	28	790	22	9,2	С
5. Ключевой участок "Степаново" (Воткинский район)															
28	60	1	60	88	95	7	117	600	140	75	79	660	52	4,1	ЮВ
29	110	1	110	88	100	12	109	600	140	67	73	710	52	10,2	ЮВ
30	450	1	450	85	123	38	84	220	145	100	90	670	60	2,62	ЮВ
31	205	1	205	105	125	20	98	280	150	89	93	485	65	2,17	ЮВ
32	480	1	480	88	127	39	81	310	153	84	82	790	68	5,36	В
6. Ключевой участок "Черная-Светлое" (Воткинский район)															
33	120	1	120	174	185	11	92	300	207,8	76	80	420	38	2,14	3
34	506	3	596	145	160	15	30	1150	218,4	51	44	1656	78,4	31,6	Ю3
35	130	1	130	145	154	8	62	1400	207,5	38	41	1530	62,5	5,56	С3
36	220	1	220	151	163	12	55	1000	207,5	45	46	1220	60	13,3	С3
37	90	1	90	141	149	8	89	1050	190	39	43	1140	45	15,34	С3
38	140	1	140	141	149	8	57	730	190	56	56	870	52	14,0	С
39	102	1	102	142	146	4	39	1620	190	33	28	1722	48	51,19	СВ
7. Ключевой участок "Фертики" (Воткинский район)															
40	103	1	103	140	149	9	87	530	165	30	39	633	85	3,38	СВ
41	220	1	220	144	156	12	55	300	165	30	40	520	80	2,17	В
42	120	1	120	145	154	9	75	410	175	51	57	550	80	6,76	ЮВ
43	60	1	60	158	162	4	67	300	175	43	47	360	90	4,35	ЮВ
44	170	1	170	115	129	14	82	680	180	75	76	850	95	8,94	С
45	180	1	180	120	135	15	83	540	175	74	76	720	85	4,95	ЮВ,В

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
46	206	1	206	127	139	12	58	290	160	72	67	496	70	5,47	ЮВ
47	1080	1	1080	85	166	81	75	200	180	70	74	1280	108	1,45	СЗ
8. Ключевой участок "Макарово" (Завьяловский район)															
48	112	1	112	85	106	21	188	900	153	52	67	1012	71	12,36	ЮВ
49	102	1	102	120	124	4	39	400	143	48	46	502	69	8,9	С,СВ
50	186	1	186	110	124	14	75	630	171	75	75	816	97	9,9	СВ
9. Ключевой участок "Межераки" (Завьяловский район)															
51	168	2	236	137	149	12	71	520	190	79	77	688	50	6,76	ЮЗ
10. Ключевой участок "Ягуд" (Завьяловский район)															
52	156	1	156	120	135	15	96	500	182,1	94	95	656	67	5,68	ЮЗ
53	138	1	138	125	136	11	80	600	182,1	77	77	738	67	5,56	ЮЗ
54	160	1	160	127	140	13	81	670	182,1	63	66	830	67	9,42	ЮЗ
55	180	1	180	142	150	8	44	480	182,1	67	61	660	67	9,2	ЮЗ
11. Ключевой участок "Забегалово" (Завьяловский район)															
56	40	1	40	151	153	2	50	750	166,2	18	19	790	71,2	11,11	С
57	206	1	206	90	114	24	117	510	155	82	91	716	65	8,21	Ю
58	128	2	160	90	110	20	156	450	154	98	111	578	60	8,9	Ю
59	119	1	119	85	105	20	168	400	147	105	119	519	60	6,1	Ю
12. Ключевой участок "Стар. Мартьяново" (Завьяловский район)															
60	32	1	32	116	123	7	219	760	156,3	44	51	792	46,3	6,76	ЮЗ
13. Ключевой участок "Докша" (Завьяловский район)															
61	180	1	180	90	122	32	178	250	130	32	93	430	45	3,86	ЮВ
62	50	1	50	90	107	17	340	360	130	64	98	410	45	3,11	ЮВ
63	62	1	62	85	107	22	355	370	130	62	104	432	50	4,83	ЮВ
64	110	1	110	80	113	33	300	320	135	69	128	430	55	4,95	ЮВ
65	60	1	60	80	105	25	417	350	135	86	134	410	55	3,86	ЮВ
66	108	1	108	80	112	32	296	310	135	74	132	418	55	5,31	ЮВ
14. Ключевой участок "Поваренки" (Завьяловский район)															
67	490	3	540	83,7	132	48	98	590	147	25	59	1080	63	6,28	ЮВ
68	160	1	160	110	139	29	181	710	155	23	52	870	50	12,62	В

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
69	50	1	50	135	146	11	220	730	172,5	36	48	780	37,5	8,82	ЮВ
70	82	1	82	150	160	10	122	320	172,5	39	56	402	32,5	8,33	ЮВ
71	78	1	78	150	155	5	64	300	172,5	58	59,5	378	27,5	5,31	Ю
72	70	1	70	156	165	9	129	200	172,5	38	61	270	22,5	4,35	ЮВ
73	150	1	150	140	150	10	67	450	170	44	50	600	45	6,76	ЮВ
15. Ключевой участок "Сидоровы Горы" (Вотгинский район)															
74	120	1	120	130	140	10	83	800	172,4	41	46	920	78,4	14,0	ЮВ
75	220	1	220	95	135	40	182	1000	172,4	37	63	1220	93,4	16,65	ЮВ
76	330	1	330	125	151	26	79	600	172,4	36	51	930	78,4	8,7	ЮВ
77	40	1	40	145	155	10	250	730	172,4	24	36	770	72,5	7,73	В
78	260	1	260	85	142	58	223	350	150	23	107	610	75	4,35	Ю
79	210	1	210	80	138	58	276	400	150	30	115	610	75	2,42	ЮВ
16. Ключевой участок "Нижние Юри" (Малопургинский район)															
80	170	1	170	115	125	10	59	910	190	71	69	1080	82,3	17,7	ЮВ
81	306	1	306	145	165	20	65	1150	206,8	36	42	1456	99,1	24,5	Ю
17. Ключевой участок "Курегово" (Малопургинский район)															
82	60	1	60	118	124	6	100	600	160	60	64	660	42	6,5	В
83	190	1	190	128	140	12	63	900	187	52	54	1090	59	13	СВ
84	160	1	160	127	134	7	70	900	187	58	56	1080	60	14	ЮВ
85	90	1	90	136	145	9	100	650	165	31	45	740	29	8,3	ЮВ
86	490	1	490	127	148	21	43	700	170	31	36	1190	33	25	Ю
87	70	1	70	136	141	5	71	1100	181	36	38	1170	45	29	Ю3
88	90	2	110	125	140	15	167	1150	180	35	44	1240	55	8,5	Ю3
89	40	1	40	127	138	11	275	1250	190	42	49	1290	63	13	Ю
90	533	1	565	115	132	17	32	1100	195	57	49	1633	75	24	Ю3
91	216	1	216	114	129	15	69	1300	200	55	57	1516	86	21	Ю3
18. Ключевой участок "Девятово" (Сарапульский район)															
92	110	1	110	100	112	12	109	750	160	64	70	860	60	10,4	Ю3
93	168	1	168	112	125	13	77	950	165	42	47	1118	53	13,7	Ю
19. Ключевой участок "Мазунино" (Сарапульский район)															

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
94	990	1	990	108	170	62	63	1100	190	18	39	2090	100	14,98	C
95	406	1	406	130	174	44	108	840	190	19	48	1246	100	16,9	C3
96	482	1	482	90	154	64	133	880	185	35	70	1362	95	9,18	C3
97	186	1	186	106	130	24	129	680	175	66	80	866	102	4,71	3
98	212	1	212	160	178	18	85	620	193	24	40	832	118	4,35	CB
99	304	1	304	155	180	25	82	650	200	31	47	954	125	8,94	C
20. Ключевой участок "Мушак" (Клязовский район)															
100	318	6	820	100	113	13	41	840	130	20	26	1158	40	7,9	ЮВ
101	130	1	130	101	112,5	11,5	88	900	130	19	28	1030	40	10,6	Ю
102	110	1	110	100	108	8	73	820	137,7	36	41	930	50,4	8,1	3
103	120	1	120	95	112	17	142	600	137,7	36	59	720	50,4	7,3	Ю3
104	170	1	170	95	112	17	100	600	137,7	40	55	770	50,4	6,7	Ю3
105	286	3	318	94	112	18	63	620	137,7	40	48	906	50,2	11,4	Ю3
106	590	2	630	94	116	22	37	2420	145	12	17	3010	54	109,8	C3
21. Ключевой участок "Баженка" (Клизверский район)															
107	152	1	152	73	87	14	92	1150	128	36	42	1302	54,8	9,2	Ю
108	260	1	260	70	91	21	81	1100	128	34	43	1360	54,8	7,9	Ю
109	510	5	830	70	111	41	80	1410	137,5	19	35	1920	82,7	15	Ю
110	810	5	1100	69	117	48	59	1110	137,5	18	36	1920	82,7	15	Ю
111	690	6	1460	87,5	116	28,5	41	1250	137,5	17	26	1940	82,7	8,3	Ю
112	870	7	1640	68,5	113	44,5	51	1450	137,5	17	30	2320	82,7	23,5	Ю
113	1290	9	2520	70	116,5	46,5	36	1230	137,5	17	30	2430	82,7	11	Ю
114	360	1	360	70	87	17	47	2050	137,5	25	28	2410	82,7	2,3	Ю3
115	1680	6	2140	71	110	39	23	1520	137,5	18	21	3200	82,7	16,7	Ю
22. Ключевой участок "Крымская Слудка" (Клизверский район)															
116	180	2	230	82,5	87	4,5	25	1060	100	12	14	1240	45	13,6	ЮВ
117	260	2	300	91	93	2	8	690	100	10	9	950	45	11,7	ЮВ
118	1060	9	1560	53	90	37	37	670	100	15	27	1730	50	5,5	ЮВ
119	820	15	2720	53	97,5	44,5	54	805	100	3	29	1625	50	12,6	ЮВ
120	610	8	1180	53	84	31	51	500	99,5	31	42	1110	49,5	7,3	ЮВ

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
23. Ключевой участок "Русский Куок" (Граховский район)															
121	210	1	210	93	107,5	14,5	69	1100	146	35	40	1310	73,4	7,3	Ю
122	205	1	205	82	95	13	63	950	137	44	48	1155	64,4	24,7	ЮВ
123	103	1	103	85	96	11	110	1010	135	39	45	1113	63	12,8	ЮВ
124	190	1	190	86	98	12	63	950	132	36	40	1140	60	6,9	ЮВ
125	192	1	192	85	99,5	14,5	76	920	127	30	38	1112	55	6,6	ЮВ
126	186	1	186	86	99	13	70	950	127	29	36	1136	54,3	8,4	ЮВ
127	153	1	153	85	98	13	85	1090	126	26	33	1243	54	15,9	ЮВ
128	260	1	260	86	101	15	58	1035	124,5	24	30	1295	51,7	7,9	ЮВ
24. Ключевой участок "Варзи-Ягчи" (Аллашский район)															
129	252	1	252	80	115	35	139	710	137,5	32	60	962	65,5	6,8	Ю3
130	146	1	146	80	108	28	200	800	137,5	37	61	946	65,5	3,7	Ю3
131	98	1	98	115,5	117	1,5	17	1810	160,3	24	23	1908	69,3	118,6	ЮВ
132	215	1	215	102,5	106	3,5	16	1750	145	22	22	1965	55	195	Ю3
133	160	1	160	105	118	13	81	1000	170	52	55	1180	80	16	С3
134	120	1	120	105	117	12	100	1050	170	50	56	1170	80	10	С3
135	180	1	180	105	119,5	14,5	81	900	170	56	60	1080	80	14,5	3
136	226	1	226	125	134,5	9,5	42	800	170	44	44	1026	76	17,3	С3
137	188	1	188	95	109	14	74	660	136	41	48	848	53	12,8	Ю
138	56	1	56	105	107,5	2,5	45	500	136	57	56	556	53	8,1	Ю3
139	120	1	120	91	117	26	217	700	136	27	55	820	53	8,6	Ю3
140	110	1	110	88	116	28	255	720	136	28	48	890	53	5,3	Ю3
141	142	1	142	113	124,5	11,5	81	620	156,3	51	57	762	56,6	8,5	ЮВ
142	62	1	62	117,5	125	7,5	121	420	147	52	61	482	46,6	3,7	Ю
143	138	1	138	147,5	158	10,5	76	860	195,6	44	48	998	55,6	15,2	ЮВ
25. Ключевой участок "Жулошево" (Каракулинский район)															
144	426	1	426	120	164	44	103	900	198,6	38	59	1326	83	16,19	Ю3
145	520	1	520	125	160	35	67	780	197,5	48	56	1300	83,5	18,84	3,С3
146	42	1	42	150	160	10	238	1200	197,5	31	38	1242	92,5	8,45	Ю3
147	340	1	340	125	181	56	165	790	196	19	63	1130	91	8,7	Ю3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
148	280	1	280	155	181	26	93	320	190	28	58	600	85	3,62	Ю3
149	106	1	106	138	165	25	270	600	187,5	38	70	706	82,5	8,7	Ю3
150	259	3	398	135	152	29	112	990	192,5	41	56	1249	87,5	13,77	С3
151	568	2	668	115	153	38	67	920	192,5	43	52	1488	87,5	7,25	С3
152	782	1	782	105	166	61	78	950	192,5	28	51	1732	90	6,76	Ю3
153	230	1	230	148	175	27	117	590	192,5	30	54	820	96	5,31	Ю,Ю3
154	216	1	216	148	176	28	130	670	192,5	25	50	886	97,5	4,1	Ю3
155	165	1	165	125	165	40	242	590	188	39	83	755	93	4,83	Ю,Ю3
156	288	1	288	120	156	36	125	1080	192,5	34	53	1368	67,5	7,1	ЮВ
157	210	1	210	115	135	20	95	1550	193	37	44	1760	83	24,8	ЮВ
158	96	1	96	145	155	10	111	1350	192	27	33	1446	50	18,1	ЮВ
159	352	1	352	130	156	26	74	440	167	25	47	792	50	6,1	Ю3
26. Ключевой участок "Вятское" (Каракуллинский район)															
160	110	1	110	160	171	11	100	650	182	17	29	760	47	10,62	В
161	780	1	780	135	168	33	42	820	186	22	32	1600	47	28,7	ЮВ
162	205	1	205	140	158	18	88	1100	186	25	35	1305	51	12,6	ЮВ
163	252	1	252	135	157	22	87	1120	186	26	37	1372	51	16,67	ЮВ
164	920	3	1220	135	168	33	36	650	186	28	32	1570	74	15,46	СВ
27. Ключевой участок "Варни" (Дебесский район)															
165	275	1	275	170	197	27	98	1170	244	40	51	1445	75	17,2	ЮВ
28. Ключевой участок "Муллино" (Юкаменский район)															
166	67	1	67	187	198	11	164	940	230	34	43	1007	43	12,4	3
167	320	1	320	178	187	9	28	1450	230	30	29	1770	55	94,8	С3
168	335	2	365	169	175	6	18	1780	236	34	31	2145	67	113,2	3

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	3
1. Физико-географическое (ландшафтное) районирование Удмуртии	5
1.1. Методика районирования	5
1.2. Ландшафты таежной (бореальной) зоны	8
1.2.1. Общая характеристика зоны и подзоны	8
1.2.2. Физико-географические (ландшафтные) районы	12
1.3. Ландшафты подтаежной (бореально-суббореальной) зоны	19
1.3.1. Общая характеристика зоны	19
1.3.2. Физико-географические (ландшафтные) районы	20
2. Морфогенетический анализ эрозионного рельефа	27
2.1. Классификация эрозионных форм	27
2.2. Древние формы эрозии временных водотоков	30
2.3. Современные формы временной эрозии	39
2.4. Морфометрическая характеристика оврагов	45
3. Распространение эрозионных форм рельефа	60
3.1. Методика картирования эрозионной сети	60
3.2. Анализ эрозионных форм рельефа	66
3.3. Оценка нарушенности земель оврагами	81
4. Факторы оврагообразования	89
4.1. Методика анализа	89
4.2. Влияние гидроклиматических условий	91
4.3. Влияние рельефа	102
4.4. Роль состава горных пород	125
4.5. Роль почвенного покрова	132
4.6. Защитная функция растительности	137
4.7. Хозяйственная деятельность человека	142
4.8. Комплексная оценка факторов оврагообразования	146
4.9. О северной границе интенсивной овражной эрозии напахотных землях	153
4.10. Зональные особенности развития оврагов	156

5. Механизм и динамика современной овражной эрозии	159
5.1. Методика изучения динамики оврагообразования	159
5.2. Пространственный анализ скоростей роста оврагов	162
5.3. Временной анализ интенсивности оврагообразования	167
5.4. Оценка факторов современного роста оврагов	170
5.4.1 Общая характеристика	170
5.4.2 Роль состава размываемых пород	171
5.4.3 Влияние геоморфологических факторов	173
5.4.4 Роль гидрометеорологических условий	180
6. Прогнозирование овражной эрозии	191
6.1. Методика прогнозирования	191
6.2. Пространственный анализ тенденции оврагообразования	194
6.3. О современном тренде овражной эрозии	201
6.4. Прогнозирование развития оврагов во времени и пространстве	215
7. Прикладные вопросы	226
7.1. Районирование овражной эрозии	226
7.2. Практические рекомендации	235
Заключение	246
Библиографический список	249
Приложение	266

Иван Иванович Рысин

**Овражная эрозия в Удмуртии
Монография**

Редактор Т.И. Чукавина

Технический редактор С.И. Зянкина

Лицензия ЛР №020411 от 16.02.97.

Подписано в печать 24.04.98. Формат 60×84 1/16

Печать офсетная . Усл. печ. л. 16,9. Уч. изд. л. 18,6.

Заказ № 997. Тираж 300 экз.

Издательство Удмуртского университета,

426000, Ижевск, Майская, 23.

Типография Удмуртского госуниверситета.

426034, Ижевск, ул. Университетская, 1, корп. 4.