

**УДМУРТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**

**И.И. ГРИГОРЬЕВ, И.И. РЫСИН**

**ТЕХНОГЕННЫЕ ОБРАГИ НА ТЕРРИТОРИИ  
УДМУРТИИ**

Ответственный редактор  
доктор географических наук, в.н.с. В.Н. Голосов

**Казань**

**2017**

**УДК 551.435.13 (470.51)**  
**ББК 40.64:26.12(2Рос.Удм)**  
**Г83**

*Печатается по решению Межвузовского научно-координационного совета по проблемам эрозионных, русловых и устьевых процессов при МГУ им. М.В. Ломоносова и Редакционно-издательского совета ФГБОУ ВО «Удмуртский государственный университет»*

**Рецензенты:**

Профессор кафедры ландшафтной экологии Института экологии и природопользования Казанского (Приволжского) федерального университета, доктор географических наук, профессор О.П. Ермолаев;

Ведущий научный сотрудник НИЛ эрозии почв и русловых процессов им. Н.И. Маккавеева географического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова, кандидат географических наук, С.Н. Ковалев.

**Григорьев И.И., Рысин И.И.** Техногенные овраги на территории Удмуртии. – Казань: Ижевск: Изд-во Удмурт. ун-та, Изд-во АН РТ, 2017. – 190 с.; ил.

ISBN 978-5-9690-0377-4

В монографии рассматриваются природные и антропогенные факторы и условия развития техногенных оврагов в пределах территории Удмуртии; выявлены наиболее существенные из них, определяющие интенсивность развития. Дается комплексный географический анализ их распространения с применением геоинформационных систем, определены скорости их ежегодного прироста на ключевых участках. Впервые для региона построены карты густоты и плотности распространения техногенных оврагов, проведена их типизация.

Рассчитана на специалистов в области эрозиоведения, экологии и рационального природопользования, географии, флювиальной геоморфологии и ландшафтоведения. Кроме того, книга будет полезна студентам соответствующих специальностей и широкому кругу читателей, интересующихся природой своего края.

**УДК 551.435.13 (470.51)**  
**ББК 40.64:26.12(2Рос.Удм)**

*Монография подготовлена и опубликована при финансовой поддержке Российского  
научного фонда (проект № 15-17-20006)*

ISBN 978-5-9690-0377-4

© И.И. Григорьев, И.И.Рысин, 2017  
© Удмуртский государственный университет, 2017

## Содержание

Введение	5
<b>1. Физико-географические условия оврагообразования</b>	<b>8</b>
1.1. Геологическое строение	8
1.2. Рельеф	14
1.3. Гидролого-климатические условия	17
1.4. Противозерозионная устойчивость почв	21
1.5. Влияние растительного покрова	24
1.6. Антропогенное изменение природных условий	26
<b>2. Распространение техногенных оврагов на территории Удмуртии</b>	<b>31</b>
2.1. Генетическая типизация техногенных оврагов	31
2.1.1. Развитие представлений об овражной эрозии в России и СССР	31
2.1.2. Основные генетические типы техногенных оврагов на территории Удмуртии	33
2.2 Морфолого-морфометрическая характеристика техногенных оврагов	43
2.3. Картирование техногенной эрозионной сети	52
2.3.1. Методика картирования	52
2.3.2. Анализ карт густоты и плотности техногенных оврагов	57
2.4. Использование овражно-эрозионной геоинформационной системы (ОЭГИС) для пространственно-временного анализа техногенного оврагообразования	62
2.4.1. Функциональная структура ОЭГИС	62
2.4.2. Создание тематических карт	65
2.4.3. Крупномасштабные планы и схемы техногенных оврагов	69
<b>3. Факторы территориального распространения техногенных оврагов</b>	<b>75</b>
3.1. Методика анализа	75
3.2. Анализ природных факторов	77
3.2.1 Гидролого-климатические условия	77
3.2.2 Геоморфологические условия	80
3.2.3 Роль состава горных пород и почвенного покрова	82
3.3. Анализ антропогенных факторов	84

<b>4. Оценка динамики техногенного оврагообразования</b>	96
4.1. Методика изучения динамики техногенного оврагообразования	96
4.2. Территориальный анализ скоростей роста техногенных оврагов	103
4.3. Временной анализ интенсивности техногенного оврагообразования	113
4.3.1. Стадийность развития оврагов	113
4.3.2. Закономерности развития техногенных оврагов во времени	116
4.4. Оценка факторов современного роста техногенных оврагов	128
4.4.1. Общая характеристика развития техногенных оврагов	128
4.4.2. Роль состава размываемых пород	132
4.4.3. Влияние морфометрических характеристик рельефа	136
4.4.4. Влияние гидрометеорологических факторов	143
<b>5. Прогнозирование овражной эрозии и практические рекомендации</b>	152
5.1. Прогнозирование скорости роста оврагов	152
5.2. Практические рекомендации	162
Заключение	169
Литература	171
Приложение 1. Средние многолетние скорости роста техногенных оврагов и их основные морфометрические показатели	184
Приложение 2. Среднегодовые скорости роста оврагов и гидрометеорологические показатели весеннего периода	185
Приложение 3. Метеорологические показатели летнего периода	188
Приложение 4. Среднегодовые скорости роста оврагов на ключевых участках, использованных при прогнозировании	189

## Введение

В последние годы отмечается возросший интерес к изучению овражной эрозии, развивающейся в условиях техногенных ландшафтов. В связи с постоянно увеличивающимся числом техногенных оврагов, все чаще поражающих места жизнедеятельности человека, возникла необходимость в их исследовании и на территории Удмуртской Республики (УР).

В конце XVII и начале XVIII вв. на Европейской территории России пашня занимала лишь 8% от всей площади. Прочие угодья (луга, выгоны, огороды и усадьбы) – 17%, лесом было покрыто 52,7% площади, неудобные земли занимали 25% [Цветков, 1957]. К 1914 г. средний показатель лесистости Европейской России снизился на треть - до 35%. Сведение лесов, наряду с распашкой земель, систематическое рыхление почв, уничтожение естественной растительности, создание искусственных рубежей стока при межевании, плужные борозды (напаши) создали благоприятные условия для появления густой сети оврагов. Такое активное развитие оврагов в конце XIX – начале XX вв. позволило исследователям предположить чисто антропогенное происхождение оврагов. А.А. Козменко [1963] считал, что современный размыв вызван исключительно земледельческим освоением. Хотя ещё В.В. Докучаев [1878] писал о естественном происхождении оврагов и их роли в формировании флювиальной сети. Появление естественных оврагов вызывается целым рядом природных процессов: боковая эрозия рек, оползни, карст, суффозия, катастрофические ливни и др. Антропогенные овраги своим появлением и развитием обязаны, прежде всего, хозяйственной деятельности человека, влияющей на состояние природных ландшафтов. Конец XX в. охарактеризовался уменьшением посевных площадей, изменением агрокультуры, что привело к снижению числа активных оврагов.

До последнего времени изучение процессов техногенного оврагообразования сводилось к констатации фактов без полномасштабных исследований и выявления закономерностей их распространения, изучения морфологии и морфометрии, проведения количественного анализа факторов, влияющих на интенсивность процессов. В ходе

проведенных исследований техногенных оврагов был получен материал, послуживший основой для данной работы. Ранее подобные исследования проводились на территории Удмуртии только по агрогенным оврагам [Рысин, 1998]. Если агрогенные овраги обычно возникают в естественных понижениях рельефа, то техногенные могут возникнуть в любой точке ландшафта, будь то склон, включая его приводораздельную часть, или пойма реки. На дальнейшее развитие таких оврагов, возникших вследствие разного рода воздействий, влияет совокупность факторов, набор которых зависит от причины возникновения оврага и его локализации.

В данной работе анализируются особенности формирования и развития техногенных оврагов на территории Удмуртской Республики (УР), изученные на основе использования набора полевых и камеральных методов.

Фактической основой для работы послужили данные полевых исследований авторов в составе комплексной географической экспедиции Удмуртского государственного университета (УдГУ) в 2002-2016 гг., дешифрирования аэрофотоснимков и использования картографических материалов масштаба 1:10 000 Управления Росреестра по Удмуртской Республике. За период с 2002 по 2016 гг. было выделено по различным картографическим материалам около 500 техногенных оврагов и обследовано непосредственно в натуре около 30 оврагов, на которых выполнено описание морфологии и морфометрии, а также проведены ежегодные и сезонные наблюдения над особенностями их динамики.

Для построения карт сети техногенных оврагов использовались крупномасштабные топографические карты, фототопопланшеты с нанесенными горизонталями и аэрофотоснимки. В качестве основы для построения тематических карт использовалась сетка элементарных речных бассейнов, ранее выделенная И.И. Рысиным [1981]. При выполнении работы использовались программные комплексы (ПК): «CREDO», «ArcView», «MapInfo», «Statistica» и «Microsoft Office».

Данные, полученные в результате проведенных исследований, могут быть использованы при разработке планов противоэрозионных мероприятий в хозяйствах региона, оценке размещения промышленных площадок, строительстве дорожной сети; при подготовке специалистов по

направлениям «География», «Экология и природопользование», «Картография и геоинформатика». Особенности геоморфологического функционирования техногенных оврагов, эрозионные процессы в них самих и на водосборах следует учитывать при разработке генеральных планов территорий.

**Благодарности.** Исследования в 2015–2017 годах выполнялись при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 15-17-20006).

# 1. ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ОБРАГООБРАЗОВАНИЯ

Удмуртская Республика расположена на востоке Русской равнины, в среднем Предуралье, в междуречье Камы и Вятки, и состоит из ряда возвышенностей и низменностей. Она находится в пределах подзоны южной тайги и зоны смешанных (хвойно-широколиственных) лесов.

В геоморфологическом отношении территория Удмуртии представляет собой возвышенную денудационную пластовую равнину, сильно расчлененную долинно-балочной сетью и постепенно понижающуюся с севера на юг и с востока на запад.

## 1.1. Геологическое строение

Среди природных факторов большое влияние на интенсивность эрозионных процессов оказывают геолого-геоморфологические условия. От характера рельефа, состава коренных и четвертичных отложений в большой степени зависит скорость овражной эрозии и динамика ее интенсивности.

Территория Удмуртии располагается в пределах Волжско-Камской антеклизы – положительной структуры докембрийской Русской платформы. Из крупных структурных элементов антеклизы в пределах республики выделяется Татарский свод, занимающий западную часть и Верхнекамская впадина, унаследовавшая Калтасинский авлакоген, расположенная на востоке. Эти две крупные структуры разделяются Удмуртской системой глубинных разломов субмеридианального простирания. Обе структуры осложнены многочисленными разломами, преимущественно северо-восточного простирания. Разломы ограничивают горсты и грабены, выраженные в рельефе кристаллического фундамента. В осадочном чехле выделяются соответствующие им валы и прогибы, а также многочисленные локальные структуры, общее число которых составляет многие десятки. Наиболее крупными валами являются Зуринский, Дебесский, Киенгопский и др.; наиболее крупные прогибы – Кильмезский, Мамадышско-Кокарский. Новейшие тектонические движения, приуроченные к данным структурам, оказали большое влияние



на формирование современного рельефа, в свою очередь, оказывающего существенное влияние на процессы оврагообразования.

Мощность осадочного чехла изменяется от 1500-1800 м в западной части Удмуртии (Татарский свод) до 5000-7000 м в восточной части, т.е. в Верхнекамской впадине [География Удмуртии, 2009]. В строении осадочного чехла участвуют породы верхнего протерозоя, девонской, каменноугольной и пермской систем палеозоя, триасовой системы и отложения неоген-четвертичного периода. Нижний протерозой входит в состав кристаллического фундамента и слагается гнейсами, гранито-гнейсами и габбро-диабазами. Верхний протерозой образует нижнюю часть осадочного чехла; включает рифейский и вендский комплексы и распространен только на востоке республики (Верхнекамская впадина). Представлен песчаниками, аргиллитами и алевролитами. Девонская система распространена в Удмуртии повсеместно, представлена средним и верхним отделами; слагается известняками, песчаниками, алевролитами и аргиллитами, имеет общую мощность около 450 м. Каменноугольная система также распространена в республике повсеместно, представлена всеми тремя отделами: нижний отдел мощностью до 800 м слагается известняками, аргиллитами, доломитами, алевролитами, песчаниками; имеются прослойки углистых сланцев и каменных углей; средний отдел состоит из известняков и доломитов общей мощностью до 400 м; верхний отдел также известняково-доломитовый, мощностью до 170 м [Геология..., 1976]. Пермская система представлена в Удмуртии всеми отделами и распространена повсеместно. Нижний отдел пермской системы сложен известняками, доломитами, гипсами и ангидритами, имеет мощность до 330 м. Средний отдел представлен 3 ярусами: уфимским, казанским и уржумским, выходящими на дневную поверхность. *Уфимский* ярус распространен повсеместно. Породы данного возраста выходят на поверхность на небольшом участке в юго-западной части республики в пределах локальной структуры. В составе отложений уфимского яруса имеются доломиты, известняки, сероцветные мергели, коричневые глины, красноокрашенные песчаники, загипсованные алевролиты. Общая мощность яруса от 114 м на северо-западе республики до 200-230 м на юго-востоке. *Казанский* ярус представлен на всей территории республики; в южных и центральных

районах на значительных территориях породы данного возраста выходят на дневную поверхность. На большей части территории Удмуртии он представлен красноцветными глинами и аргиллитами, алевролитами, песчаниками и конгломератами. В юго-западных и западных районах эти терригенные породы в значительной степени замещаются карбонатными и сульфатно-карбонатными отложениями морского и лагунно-морского происхождения. Мощность яруса 110-225 м. Породы *Уржумского* яруса выходят на поверхность на большей части территории Удмуртии. Он сложен в основном красноцветными терригенными отложениями - песчаниками, глинами, алевролитами, конгломератами и т.д. Мощность яруса составляет от 160 до 314 м [География Удмуртии, 2009]. Верхний отдел, в составе северодвинского и вятского ярусов, сохранился от размыва в северных районах Удмуртии, главным образом на приводораздельных участках междуречных пространств. Породы отдела являются континентальными и представляют собой красноцветные образования, отличающиеся от отложений уржумского яруса повышенной долей песчаников и конгломератов. Общая мощность средне- и верхнепермских отложений достигает 440 м. Триасовая система представлена только ветлужским ярусом нижнего отдела. Триасовые отложения распространены на небольших участках вблизи северной границы республики. По составу близки к верхнепермским: состоят из чередующихся слоев песчаников, конгломератов и глин красно-коричневой окраски и имеют мощность до 70 м. Неогеновая система представлена только верхним отделом - плиоценом. Залегают эти отложения в сравнительно узких, глубоко врезанных долинах Палео-Ижа, Палео-Кырыкмаса, Палео-Валы и других палеорек на юге и юго-западе Удмуртии. Состав отложений преимущественно глинистый. Внутри толщи глин имеются прослой песков и алевроитов; в основании залегают галечники. Мощность отложений составляет до 138 м.

Отложения четвертичной системы залегают на территории Удмуртии в виде почти сплошного чехла, сравнительно небольшой мощности. Распространение и разнообразие четвертичных отложений обусловлено литологией коренных пород, климатом плейстоцена, гипсометрическим положением и характером инсоляции. По происхождению они подразделяются на элювиальные, склоновые,

аллювиальные, болотные, эоловые [Бутаков, 1986]. По условиям формирования и характеру распространения четвертичных образований, В.И. Стурман [1992] делит территорию Удмуртии на 3 региона: северный, средний и южный.

В пределах северной Удмуртии в районе Верхнекамской возвышенности на наиболее высоких отметках поверхности залегают элювиально-делювиальные образования, представляющие собой суглинки, супеси, пески, плохо сортированные, обычно неслоистые, со значительным содержанием валунов, гальки и гравия, кварцевых песчаников, яшм. Его мощность до 7-9 м. Продукты размыва и переотложения этих образований в виде прерывистого суглинистого чехла небольшой мощности (1-3 м) встречаются на выположенных участках водораздельных склонов, в понижениях водоразделов. Ниже на пологих склонах речных долин северной и восточной экспозиции залегают шлейфы делювиально-солифлюкционных суглинков со щебнем, гравием и галькой из верхнепермских пород, мощностью их 2-9 м. На крутых склонах южной и западной экспозиции спорадически встречаются коллювиальные образования – осыпи и оползни.

Долины рек северной Удмуртии характеризуются слабо развитым террасовым комплексом. В связи со значительными уклонами рек состав аллювия преимущественно песчаный, со значительным участием гравия и гальки. пойменные и старичные суглинки и супеси имеют подчиненное значение. В долинах малых рек (верхней Камы, верхней Вятки, Кампызепы, Варыжа, Люка, Пызепы, Юса) выделяется лишь пойма и I надпойменная терраса. Мощность аллювия до 7-10 м. В пределах пойм и террас часто встречаются болотные отложения, представленные торфами.

Исключением является долина Чепцы: здесь выделяются 4 надпойменные террасы. Четвертая терраса является цокольной. В нижней части разреза преобладают пески, гравий, галька с подчиненными суглинками и супесями. Верхняя часть разреза представляет собой перигляциальный аллювий – суглинки и супеси. Общая мощность аллювия от 24 до 32 м. Третья терраса в нижней части сложена аллювием песчано-галечного состава, в верхней – суглинистым перигляциальным аллювием, вверх по разрезу постепенно переходящим в делювиально-солифлюкционные отложения. Мощность аллювия от 16 до 22 м. Вторая

надпойменная терраса по строению напоминает третью, но отличается значительно меньшей высотой и лучшей выраженностью в рельефе. Мощность аллювия здесь составляет 9-13 м. Первая терраса не несет делювиально-солифлюкционного покрова, поэтому в ее составе господствуют пески. Общая мощность отложений, слагающих эту террасу 8-12 м. Пойма слагается преимущественно русловыми песками с галечниками в основании, перекрываемыми пойменными фациями, представленными супесями и суглинками небольшой мощности. Значительно участие старичных образований – торфов, илов, илистых суглинков. Общая мощность аллювия на уровне современной поймы 6-7 м. В пределах поймы широко распространены болотные отложения (торф).

Центральная часть Удмуртии характеризуется пониженными отметками рельефа и расположена между Верхнекамской возвышенностью на севере и Можгинской и Сарапульской на юге. Наиболее яркая и характерная черта данной части Удмуртии – широкое распространение песчаных покровов. Основные массивы начинаются от третьей среднечетвертичной террасы р. Вятки и прослеживаются в виде суживающихся полос в направлении на восток и северо-восток (Вятский и Кильмезский массивы). Пески преимущественно кварцевые, со значительным содержанием кремния. Преобладает мелкая фракция песков [Сергеев, 2008]. Поверхность песчаных массивов неровная и представляет собой сочетание дюн и междюнных понижений, нередко заболоченных. Мощность песков, как правило, 1-7 м, но в пределах крупных дюн может достигать 25 м. На "островах" среди песчаных массивов на поверхность выходят коренные породы и продукты их переработки, в т.ч. элювиально-делювиальные образования – «пуги». На пологих водораздельных склонах, а также склонах речных долин залегают делювиально-солифлюкционные суглинки со щебнем мощностью до 15-20 м [Бутаков, 1986].

В речных долинах Валы, Кильмези имеется до трех надпойменных террас. Они слагаются главным образом кварцевыми песками. Мощность аллювия здесь до 28 м.

В пределах южной части Удмуртии наиболее высокие отметки Можгинской и Сарапульской возвышенностей приурочены к «пугам», где

развиты элювиально-делювиальные россыпи гравия, гальки с песчаным, супесчаным и суглинистым заполнителем, мощностью до 8 м. Делювиально-солифлюкционные отложения приурочены главным образом к пологим склонам северной и восточной экспозиции, а также ко второй, третьей и четвертой надпойменным террасам. Они представлены суглинками с включениями гравия, гальки и щебня. Мощность этих отложений до 20-25 м, т.е. наибольшая для Удмуртии. Высокая степень освоенности делювиально-солифлюкционных склонов, сложенных суглинками, в сравнении с песчаными склонами, делает их более уязвимыми к процессам эрозии [Дедков, Мозжерин, 1984].

Комплекс отложений речных долин в южной Удмуртии развит наиболее полно. Третья надпойменная терраса, выраженная в долинах рек Камы и Ижа, в нижней части разреза слагается русловыми песками и галечниками, в верхней части – суглинисто-супесчаным перигляциальным аллювием. Вторая надпойменная терраса (долины рек Камы, Ижа, Валы) тоже сложена песчаным гумидным аллювием в нижней части и супесчано-суглинистым перигляциальным в верхней части. Мощность аллювия третьей и второй террас до 20 м. Первая надпойменная терраса распространена более широко: в долинах рек Ижа, Валы, Постолки, Бобинки, Чажа, Сюги и ряда других рек. По строению и составу она сходна со второй. Мощность аллювия от 14 до 24 м в долине р. Иж и от 4 до 10 м в долинах остальных рек. Поймы слагаются русловыми песками и галечниками, пойменными супесями и суглинками, старичными глинами и торфами. Мощность этих отложений в долине р. Иж 12-15 м, на остальных реках до 10 м.

Наблюдения показывают [Овражная эрозия..., 1990], что особенно густая сеть оврагов характерна для лессовидных суглинков делювиально-солифлюкционного происхождения, покрывающих в виде шлейфов нижние части пологих склонов. В глобальном плане анализ интенсивности эрозии по стоку взвешенных наносов свидетельствует о том, что лессы и лессовидные суглинки обладают среди всех пород, слагающих сушу Земли, наименьшей устойчивостью к эрозии [Дедков, Мозжерин, 1984]. Таким образом, четвертичные отложения, в наибольшей степени представленные элювиально-делювиальными и делювиально-солифлюкционными образованиями, распространенными на значительной

территории Удмуртии, подвергаются в настоящее время максимальному эрозионному воздействию, в том числе и активному оврагообразованию.

## 1.2. Рельеф

Рельеф определяет скорость и направление стока поверхностных вод и соответственно, интенсивность эрозионных процессов. В отношении овражной эрозии роль рельефа выражается в том, что он обуславливает объёмы и скорости добегаания атмосферных вод при формировании склонового стока. При больших уклонах или при сильном расчленении бассейна (например, при развитии в нем овражной сети) снеговые и дождевые воды будут быстро стекать и количество просочившейся воды будет значительно меньше. Кроме того, просочившаяся в грунт вода будет очень быстро, при ближайшем же пересечении местности оврагом, выходить на поверхность и присоединяться к поверхностному стоку.

На развитие эрозионных процессов огромное влияние оказывают и морфометрические характеристики рельефа: крутизна, длина, экспозиция и форма профилей склонов, глубины местных базисов эрозии и площади водосборов рассматриваемых овражно-балочных форм.

Приуроченность территории Удмуртии к платформенной структуре обусловила равнинность ее рельефа. Основу орографии района составляют пластово-денудационные равнины с абсолютными отметками 100-300 м. Однако "равнинный" на первый взгляд рельеф Удмуртии в деталях довольно сложный и разнообразный. Он представляет собой чередование возвышенностей и понижений, речных долин и оврагов, дюнных всхолмлений и балок. В строении рельефа в Удмуртии, как и всей Русской равнины, отчетливо проявилось влияние всех основных факторов рельефообразования: условий залегания и вещественного состава горных пород; новейших тектонических движений; климата и, в последнее время, хозяйственной деятельности человека.

Длительный континентальный период развития рельефа, начавшийся по существу с начала мезозоя, сопровождался неоднократной сменой тектонического режима и климата, что нашло выражение в образовании двух региональных и одной локальной разновозрастных и разновысотных поверхностей выравнивания. Закономерно сгруппированное различие высот отражает ступенчатый характер строения денудационных равнин и

является морфологическим выражением трех стадий денудационного выравнивания рельефа.

Верхняя ступень, или наиболее древняя поверхность располагается на отметках более 250 м, средняя ступень имеет абсолютную отметку 180-220 м, а нижняя 140-160 м. По своему происхождению все они являются денудационными [Дедков и др., 1974].

Особенности состава и условий залегания толщ казанского и уржумского ярусов пермской системы, принимающих участие в строении рельефа, обуславливают некоторую специфику морфологии денудационных равнин.

Слабо выраженный общий моноклиальный наклон пластов на север придает поверхности равнин черты куэстового строения. Это объясняется, прежде всего, составом пород: поверхность равнины, сложенная устойчивыми и мало податливыми процессам выветривания и размыва породами, характеризуется рельефом со слабым уклоном в сторону падения пластов горных пород. В местах выхода менее устойчивых и более податливых пород куэстовое строение поверхности заменяется на останцово - холмистое.

А.Г. Илларионов [2009] выделяет на территории Удмуртии 3 широтные куэстовые гряды: южная, совпадающая с правым склоном долины реки Камы на ее нижнем широтном отрезке; центральная - Шарканско- Мултанская, разделяющая реки бассейна Чепца от рек бассейна Сивы, Ижа и Валы; северная Кулиго - Пудемская - является водоразделом верховий Камы и Вятки с одной стороны и правобережных притоков Чепцы- с другой.

Куэстовый характер строения денудационных равнин оказывает определенное влияние на морфологию долин малых рек, соответственно и на формирование поверхностного стока.

Самая крупная из возвышенностей - Верхнекамская - возникла на месте древней одноименной впадины и представляет собой типичную обращенную морфоструктуру. К ней приурочены наиболее высокие абсолютные отметки поверхности всей территории республики – 332,6 м [Атлас..., 2016]. Соотношение двух других возвышенностей - Можгинской и Сарапульской - с древними структурами не совсем определено. Максимальные высоты этих возвышенностей составляет

около 250 м (265 и 249 м соответственно). Первая из них отделяет реки Кильмезского бассейна от правобережных притоков Ижа, а вторая - служит водоразделом между левыми притоками Ижа и правыми притоками Камы.

Кильмезская низменность вклинивается в западную часть Верхнекамской возвышенности. По отношению к древним структурам она является гетерогенной. В пределах большей части низменности абсолютные отметки ее поверхности ниже 200 м и лишь редкие вершины холмов останцового характера достигают 220-230 м. Следствием проявления новейших тектонических движений явилось и глубокое эрозионное расчленение территории Удмуртии. Наиболее низкие абсолютные отметки рельефа приурочены к днищам долин Камы и Вятки и составляют соответственно 56 и 52 м. Анализ распределения глубин местных базисов эрозии свидетельствует о резко дифференцированном характере вертикального расчленения территории республики.

Наибольшая величина вертикального расчленения наблюдается вдоль правобережья реки Камы - почти 130 м (126,8). В пределах Верхнекамской возвышенности, несмотря на большие значения абсолютных отметок ее поверхности, величина вертикального расчленения незначительная - в среднем 56,2 м. В бассейне Чепцы средняя глубина расчленения рельефа составляет около 80 м. Средняя глубина расчленения Кильмезской низменности - 67 м [Рысин, 1989]. В целом по республике средняя величина вертикального расчленения составляет 87,3 м.

Современное рельефообразование в Удмуртии обусловлено развитием плоскостного смыва, эрозии временных и постоянных водотоков, склоновых процессов, активность которых определяется ландшафтными условиями и характером антропогенного воздействия.

В определенной связи с климатическим фактором находится густота долинной сети или величина горизонтального расчленения территории региона речными долинами. В среднем для всей территории Удмуртии она составляет 0,441 км/км<sup>2</sup> [Рысин, 1998]. Наблюдается уменьшение густоты долинной сети с севера на юг, в сторону уменьшения осадков и постепенной смены климатических условий от гумидного к семигумидному.



С крупными берегами речных долин и оврагов связано образование оползней. Особенно выражены они на правобережье Камы, левобережье Вятки, а также встречаются по крутому правобережью р. Чепцы и в долинах ее притоков - рек Лозе, Юсу, В. Пызепу и др.

Кроме речных долин, довольно широкое развитие в республике имеет овражно-балочная сеть. В днищах оврагов и балок близко к поверхности залегают грунтовые воды, которые часто выходят на поверхность. В связи с этим именно эти формы рельефа чаще всего являются верхними звеньями речной сети.

Густота балочной сети имеет большие различия по территории Удмуртии. Данный показатель изменяется от 10-100 м/км<sup>2</sup> на правобережье р. Кильмези до 2500-3000 м/км<sup>2</sup> на отдельных водосборах бассейна р. Чепцы. Средняя по республике густота балочной сети составляет 531 м/км<sup>2</sup>.

Анализ карты густоты агрогенных оврагов показывает, что и этот показатель изменяется в широких пределах - от нулевых значений в северных и западных районах до 750 - 1000 м/км<sup>2</sup> и более в юго-восточных. На большей части исследуемой территории (61,8%) овраги отсутствуют. Средний показатель заовраженности по Удмуртии составляет 22,1 м/км<sup>2</sup> [Рысин, 1998].

Рельеф играет существенную роль в формировании поверхностного стока, и, следовательно, оказывает большое влияние на развитие эрозионных процессов. Огромное влияние оказывает и положение местных базисов эрозии, предопределяющее длительность развития и, соответственно, скорость роста оврагов, глубину вскрытия пород и возможность вовлечения в эрозионную деятельность помимо поверхностного стока и большого объема подземных вод.

### **1.3. Гидролого-климатические условия**

Влияние климата на развитие овражной эрозии осуществляется через формирование поверхностного стока воды, который в свою очередь зависит от осадков, температурного режима и других метеорологических элементов.

Климат на территории Удмуртии умеренно континентальный, с продолжительной холодной и многоснежной зимой, с теплым летом, с хорошо выраженными переходными временами года - весной и осенью.

Значительное влияние на климатические условия территории оказывают умеренные воздушные массы Атлантики, приобретающие континентальные черты из-за удаленности Удмуртии от океана. Однако именно с ними связана основная масса осадков, зимние оттепели и прохладная влажная погода летом. С юга и юго-востока нередко происходит вторжение континентальных тропических воздушных масс, приносящих летом засушливую жаркую погоду. При вторжении арктического воздуха происходит резкое понижение температуры, вызывающее зимой сильные морозы, а весной и осенью интенсивные заморозки. В целом на территории Удмуртии в течение всего года господствуют континентальные воздушные массы умеренных широт, определяющие температурный режим, характер осадков, силу и направление ветров.

Годовой радиационный баланс колеблется от 85 ккал/см<sup>2</sup> на севере до 89 ккал/см<sup>2</sup> в год на юге республики. Среднегодовая температура воздуха составляет около 1,6<sup>0</sup>С в северо-восточных районах Удмуртии и около 2,8<sup>0</sup>С в юго-восточных [Переведенцев и др., 2009]. Влияние температурного режима на величину и распределение стока сказывается через изменение испарения и непосредственно в периоды снеготаяния.

Первые осенние заморозки в воздухе в среднем начинаются 14-25 сентября. Самые ранние даты осеннего заморозка 13-27 августа, в юго-восточных районах 5-7 сентября. На поверхности почвы повсеместно заморозки возможны в первой половине августа. Продолжительность периода без заморозков в воздухе изменяется по территории Удмуртии в среднем от 110 дней на севере до 135 дней на юге. Промерзание почвы начинается обычно до появления снежного покрова: в третьей декаде октября в северной половине республики и в первой декаде ноября - в южной.

К концу ноября промерзший слой почвы составляет 30-40 см, а к концу декабря 45-60. В марте промерзание почвы достигает наибольших значений: в северных районах 70-100 см, а на остальной территории 65-90 см [География Удмуртии, 2009].

На большей части территории Удмуртии полное оттаивание почвы происходит в последней пятидневке апреля, а на севере - в начале мая. На территории республики оттепели возможны в любой из зимних месяцев. Больше их бывает в ноябре и марте (около 9-11 дней за месяц).

Атмосферные осадки являются источником пополнения запасов вод суши. Различный характер выпадения осадков оказывает существенное влияние на процесс стока поверхностных вод и накопления запасов подземных вод. В среднем за год на большей части Удмуртии выпадает 500-600 мм осадков [Атлас..., 2016]. Количество их в отдельные годы бывает различным, однако в большинстве случаев значительных отклонений годовой суммы осадков от нормы не бывает.

На теплый период (апрель-октябрь), когда выпадают, главным образом, жидкие осадки, приходится 300-400 мм. За пять месяцев вегетационного периода (май-сентябрь), сумма осадков составляет 250-310 мм.

Дожди в летние месяцы часто выпадают в виде интенсивных, но кратковременных ливней. Ежегодно возможны ливни с количеством осадков до 30 мм. Ливни со слоем осадков 50-60 мм выпадают раз в 10 лет. Максимальное число дней с ливнями приходится на июль месяц, когда поверхность пашни уже покрыта растительностью и величина поверхностного стока существенно уменьшается.

В климатических условиях изучаемой территории значение снежного покрова как фактора режима вод суши весьма велико. Снежный покров снижает глубину промерзания почвы. В период весеннего таяния на поверхность суши поступают большие массы воды, что приводит к резкому увеличению водности рек, а также способствует питанию подземных вод.

Снежный покров на территории республики образуется во второй декаде ноября и достигает максимальной высоты во второй декаде марта (55-60 см, местами 70 см в северо-восточных районах; 45-55 см - на остальной территории).

Интенсивное снеготаяние начинается 5-10 апреля и окончательный сход снежного покрова происходит в конце второй-начале третьей декады апреля. Продолжительность снеготаяния в среднем на севере составляет около 25 дней, на юге - 20 дней. Средняя продолжительность залегания

снежного покрова - 160-170 дней. Максимальные запасы воды в снеге накапливаются к весне и в среднем на севере республики составляют 156 мм, в южных районах - 144 мм [Энциклопедия..., 2008]. Запасы воды в снежном покрове далеко не полностью поступают в почву, образуя поверхностный сток.

Суммарные запасы воды в снежном покрове зависят от его плотности. Плотность свежеснежавшего снега мала и составляет около 0,1 г/см<sup>3</sup>. В течение зимы она увеличивается в основном под влиянием оттепелей. В марте обычно плотность снежного покрова составляет 0,25-0,30 г/см<sup>3</sup>. Максимальной величины она достигает в период снеготаяния.

Большую часть года преобладает юго-западное направление ветра. Средняя повторяемость ветра этого направления 20-30%. Летом преобладают ветры северо-западных румбов. Средняя годовая скорость ветра составляет 3-4 м/сек. Колебание ее по месяцам незначительное: от 2,6 до 5,1 м/сек. Наибольшие скорости ветра отмечаются зимой (октябрь-март), наименьшие - летом, в июле и августе. Штилевая погода бывает редко, в среднем всего 6-13 дней в году.

Ветры оказывают влияние на перераспределение снежного покрова, соответственно, западные склоны оказываются более занесенными снегом, более увлажненными.

В целом, климатический фактор оказывает важное значение для проявления эрозионных процессов на территории Удмуртии. Особенно важными показателями являются количество и интенсивность выпадающих атмосферных осадков, температурный режим, глубина промерзания почв и запасы воды в снежном покрове.

Поскольку овражно-балочная сеть относится к верхнему звену флювиальной сети, важно рассмотреть гидрологические особенности поверхностных вод Удмуртии, особенно рек.

На территории Удмуртии довольно сложная и густая речная сеть. Общая её протяжённость составляет около 30 тыс. км. Распределение речной сети по территории неравномерное в силу неоднородности физико-географических факторов. Наибольшей густотой (0,8-1,0 км/кв. км) характеризуются верхние звенья речной сети. Реки питаются дождевыми, тальными и подземными водами. Они относятся к типу рек с преимущественно снеговым питанием; в водном режиме четко

проявляются: а) весеннее половодье, б) летняя межень, в) летние и осенние дождевые паводки, г) зимняя межень.

Режим годового стока аналогичен режиму их уровней. Расходы воды в период весеннего половодья превышают среднегодовые расходы в 10-20 раз. На малых реках южной части Удмуртии, отличающихся малой лесистостью водосборов, расходы половодья превышают среднегодовые в 30-40 раз и более. Расходы воды при прохождении паводков по величине уступают половодным.

Таким образом, гидрологический режим рек Удмуртии способствует активному проявлению овражно-эрозионных процессов. Особенно важны показатели половодного и паводочного стока.

#### **1.4. Противоэрозионная устойчивость почв**

Почва, как фактор оврагообразования, является одним из важнейших, поскольку именно она принимает на себя основную силу склонового стока поверхностных вод. Устойчивость почвы к размыву зависит от множества ее свойств, таких как водопроницаемость, механический состав, структурность и т.п. В зависимости от характера почв коэффициент поверхностного стока колеблется от 0 в лесу на песчаных почвах до 0,5-0,6 на лугу на суглинках [Львович, 1986].

Несмотря на относительно небольшие размеры, Удмуртия выделяется разнообразием почв, что обуславливается не только различием состава материнских пород и пересеченностью рельефа, но и расположением ее в переходной полосе (от южно-таежных лесов к смешанным и от смешанных к лесостепям) и отличием климатических условий.

Формирование почвообразующих пород на территории Удмуртии, в первую очередь, связано с перигляциальными условиями плейстоцена, когда на большей части исследуемой территории сформировались делювиально-солифлюкционные и элювиально-делювиальные суглинки и глины, занимающие в настоящее время около 60% площади республики.

Около 20% от общей площади представлено песками и супесями, которые характерны для низменных территорий. Большая часть данного типа почвообразующих пород сформировалась в результате эоловых

процессов, активизировавшихся в условиях плейстоценового перигляциала [География Удмуртии, 2009].

Элювий карбонатных пород преимущественно представлен карбонатными буровато-красными суглинками и известково-щебнистыми глинами. Приурочены они, как правило, к возвышенным формам рельефа.

Современные аллювиальные, аллювиально-делювиальные отложения расположены в днищах речных долин и балок. Характеризуются слоистостью и повышенным содержанием органических остатков. Кроме того, к современным отложениям относятся делювиальные шлейфы у подножия крутых склонов.

Среди других почвообразующих пород можно выделить гравийно-галечные образования "пуг", древние аллювиальные отложения надпойменных террас, элювий пермских песчаников и болотные отложения [География Удмуртии, 2009].

На протяжении последних тысячелетий господствующим почвообразующим процессом является подзолистый, наряду с которым широко распространены дерновый и болотный. Однако, неоднородность природных условий на территории Удмуртии обусловила широкий спектр сочетания факторов почвообразования, что нашло свое отражение в большой пестроте ее почвенного покрова, в котором ведущая роль принадлежит подзолистым почвам (69,3%), среди последних наибольшее распространение получили дерново-подзолистые (59,2%), сформировавшиеся на породах преимущественно супесчано-суглинистого состава (табл. 1.1). По механическому составу встречаются суглинистые, супесчаные и песчаные дерново-подзолистые почвы. У суглинистых почв в составе наблюдается большое количество пыли, мелкого песка. В результате этого во время дождей эти почвы сильно заплывают, пахотный горизонт уплотняется, на его поверхности образуется плотная корка, препятствующая просачиванию воды.

Аллювиальные и болотные серые лесные почвы по своей доле занимают соответственно 2 и 3 места. Если подзолистые и аллювиальные почвы встречаются повсеместно, то основные массивы серых лесных оподзоленных почв находятся в юго-восточной части республики.

Значительная расчлененность рельефа овражно-балочной сетью способствует широкому распространению смытых и намывных почв (7,7%).

Таблица 1.1

Структура почвенного покрова на территории Удмуртской Республики  
[Почвенная карта УР, 1990 г.]

Почвы	Общая площадь		Преобладающий механический состав
	тыс. га	%	
Подзолистые	422,6	10,1	Супесчаные, среднесуглинистые
Дерново-подзолистые	2491,1	59,2	
Дерново-карбонатные	114,2	2,7	Глинистые, тяжелосуглинистые
Дерново-глеевые	25,2	0,6	Тяжелосуглинистые
Серые лесные	337,7	8,0	Средне- и тяжелосуглинистые
Пойменные (дерновые и болотные)	425,0	10,1	Супесчаные
Овражно-балочные	321,3	7,7	Тяжелосуглинистые
Прочие (в т.ч. под водой)	69,2	1,6	
Всего	4205,7	100,0	

Ограничены в своем распространении дерново-карбонатные почвы, занимающие всего 2,7% территории. В основном они формируются на элювии карбонатных коренных пород пермского и триасового возрастов. Приурочены эти почвы, как правило, к возвышенным водораздельным участкам, к местам выхода на дневную поверхность соответствующих пород. Основные их массивы сосредоточены в южной и восточной частях республики. Дерново-карбонатные почвы в основном представлены тяжелыми суглинками, содержащими до 50% физической глины. Фракция физического песка в основном состоит из крупной пыли, который составляет 28% [Пермяков, 1972, Ковриго, 2004]. Наличие хорошо выраженной комковато-зернистой водопрочной структуры, а также глинистого и суглинистого механического состава создает благоприятные водные и воздушные свойства в гумусовом горизонте. Данные почвы имеют хорошую водо- и воздухопроницаемость, высокую влагоемкость и

водоподъемную способность. Они не подвергаются сильному уплотнению и не заплывают.

Дерново-глеевые, болотные почвы и торфяники занимают 4,8% территории Удмуртии, из них на долю пойменных болотных почв приходится около 4,2%. Они распространены повсеместно в речных долинах и понижениях рельефа с избыточным увлажнением [Ковриго, 2004].

На основе методики определения противозерозионной устойчивости почв Г.В. Бастратова [1977], основанной на сопротивлении почв размыву, И.И. Рысиным [1990] было установлено, что наименьшими показателями эрозионной прочности характеризуются дерновые сильно- и среднеподзолистые супесчаные и легкосуглинистые почвы; дерново-подзолистые, серые лесные и дерново-карбонатные почвы средней и сильной смывости. Максимальная эрозионная прочность характерна для темно-серых, дерново-слабоподзолистых, серых лесных и дерново-карбонатных тяжелосуглинистых почв, где в качестве основных критериев устойчивости почвы выступают высокое содержание гумуса и тяжелосуглинистый состав почвообразующих пород.

Главной причиной деградации почв региона является плоскостной и ручейковый смыл, которым подвержены значительные площади пашни. В целом почвы региона отличаются низкой противозерозионной устойчивостью, что способствует развитию, в том числе и линейной эрозии.

### **1.5. Влияние растительного покрова**

Роль растительности как сдерживающего фактора в развитии эрозионных процессов имеет огромное значение. Большое влияние на сток оказывает лесная растительность, препятствующая стоку большого количества водных масс на своей поверхности путем впитывания их в подстилку. Еще одна способность лесной растительности – ослабление действия осадков на почву благодаря раздроблению дождевых капель кронами деревьев. Немаловажно также и то, что значительная часть осадков задерживается на кронах деревьев и испаряется непосредственно с поверхности листвы и стволов. По Г.Н. Выготскому [1952], средняя



величина задержания на кронах составляет 20-30% от общего количества осадков, причем в густых хвойных лесах она доходит до 50%. 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].

Леса также предохраняют почвы от глубокого промерзания, так как кроны деревьев, кустарники, наземный покров с подстилкой и более мощный, чем на открытых участках, снежный покров оказывают утепляющее воздействие. Снеготаяние в лесу начинается и заканчивается позже, чем в поле и отличается большей продолжительностью и меньшей интенсивностью. Весьма существенна также регулирующая роль леса на сток талых вод. В этом случае к факторам, замедляющим сток, добавляется еще задержка снеготаяния, вызванная уменьшением скорости ветра в лесу и защитой поверхности снега кронами деревьев от солнечных лучей.

Большую противоэрозионную роль выполняют корневые системы растений, которые пронизывают почвенные агрегаты и препятствуют их размыву.

Удмуртия расположена в лесной зоне. Северная часть относится к подзоне южной тайги, а южная - к зоне широколиственно-хвойных (смешанных) лесов Русской равнины. В настоящее время леса занимают около 2047 тыс. га, что составляет примерно 48,6% от всей площади республики [О состоянии..., 2014]. На основании изучения растительности Удмуртии на ее территории выделяют 5 геоботанических районов: северо-западный, северо-восточный, центрально-западный лесной с преобладанием сосновых лесов, центральный - смешанных лесов и юго-восточный район с явлениями остепнения [Ефимова, 1972].

Северо-западный район территориально соответствует бассейну реки Чепцы в её среднем течении. Залесенность невысокая - около 20-30%. В районе преобладают пихтово-еловые леса. Кроме хвойных лесов, в районе есть леса березовые, низинные болота, водораздельные и пойменные луга.

Северо-восточный район занимает верховья бассейнов рек Чепцы и Камы. Залесенность района составляет 35-45%. Основной тип

растительности - пихтово-еловые леса с примесью мелколиственных пород. В районе довольно много низинных болот.

Центрально-западный район с преобладанием сосновых лесов располагается в пределах Кильмезской низменности, где широко распространены песчаные отложения. Для района характерна высокая залесенность 60-70%. На правобережье Кильмези большие пространства заняты болотами.

Центральный район смешанных и широколиственно-хвойных лесов занимает бассейны рек Сивы, верховий Ижа, верховий Валы (выше реки Увы) и левых притоков реки Вятки. Залесенность района крайне неоднородна: в западных и северных частях она достигает 60%, а в южной и восточной - менее 20%. Отличительной особенностью района является наличие широколиственных пород.

Юго-восточный район с явлениями остепнения располагается в бассейнах рек Тоймы, Ижа в среднем и нижнем течении р. Камы и отличается малой залесенностью, изменяющейся от 5 до 15%. Лишь на левобережье р. Камы залесенность составляет 50-60% и выше.

Влияние растительности на интенсивность развития эрозионных процессов несомненно. Поскольку степень залесенности территории, в отличие от других факторов, в основном определяется хозяйственной деятельностью человека, то антропогенный фактор приобретает одно из важнейших мест в развитии современной овражной эрозии.

## **1.6. Антропогенное изменение природных условий**

Современный период характеризуется высокой степенью антропогенной нагрузки на природные ландшафты. Наиболее освоенными, густонаселенными являются южные и центральные районы республики. На севере и западе нагрузка на природные ландшафты на порядок ниже. Хозяйственная деятельность человека оказывает прямое или косвенное воздействие на все компоненты природы, в том числе и на эрозионные процессы.

Главными причинами возникновения и развития современной овражной эрозии, по мнению многих эрозиоведов [Назаров, 1992, Рысин, 1998, Зорина, 2003, Рыжов, 2015 и др.], являются: уничтожение

естественного растительного покрова, ухудшение противоэрозионной устойчивости почв, образование на поверхности почв при их обработке и при использовании территории под выпас неровностей, концентрирующих поверхностный сток.

Вырубка лесов и распашка земель резко изменяет все факторы, определяющие интенсивность эрозии. В первую очередь это проявляется через увеличение поверхностного половодно-паводочного стока рек и уменьшение меженного, питающегося подземными водами. Такие изменения в режиме стока рек связывают с ухудшением фильтрационных свойств почвогрунтов в результате уничтожения естественного растительного покрова и распашки земель или с естественными и антропогенно обусловленными изменениями климата. Все это вызвало многократное усиление эрозионных процессов и изменило структуру и функционирование системы эрозии.

В доагрикультурное время сток взвешенных наносов не превышал 10-20 т/км<sup>2</sup>/год, что свидетельствует о слабой эрозии. Повсеместно преобладала русловая эрозия. По мере сокращения площади лесов и увеличения распаханности возрастала эрозия бассейновая – почвенная и овражная. При распаханности 40-50% бассейновая эрозия становится преобладающей, а при распаханности более 70%, она формирует 80-90% стока наносов рек [Дедков, Можжерин, 1984].

Эту закономерность можно проверить на примере Удмуртии. Распаханность территории республики достигла максимума в 1955 году (38,6%), а к 1997 году она уменьшилась до 35,3%. В 1998 году площадь пашни увеличилась до 36,0%, но затем началось медленное снижение до 35,6% в 2000 году, что связано, по всей видимости, с очередным экономическим кризисом [рис. 1.1]. Минимума данный показатель достиг в 2008 году – 31,0%. Помимо экономических причин, влияние на снижение площади пашни оказал перевод многих сельскохозяйственных угодий в земли населенных пунктов и земли лесного фонда. В настоящее время площадь пашни стабилизировалась на уровне 32,9% от всей площади Удмуртской Республики [О состоянии..., 2008 - 2015]. Основными причинами сокращения площади пашни являются: изъятие нарушенных земель из сельскохозяйственного оборота (эрозия, нефтедобыча и др.), отвод под строительство различных объектов,

передача под коллективные садово-огородные массивы. Анализ динамики структуры посевных площадей в республике показывает, что с 1950 года показатель эрозионной опасности агроценозов имеет явную тенденцию к снижению и имеет явную связь с величиной распаханности ( $r = 0,95$ ) [рис. 1.1]. Для его расчетов использовались коэффициенты устойчивости различных сельскохозяйственных культур к эрозии с учетом применяемых противоэрозионных агротехнических мероприятий [Рысин и др., 1993]. 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 [Бастраков, 1994].

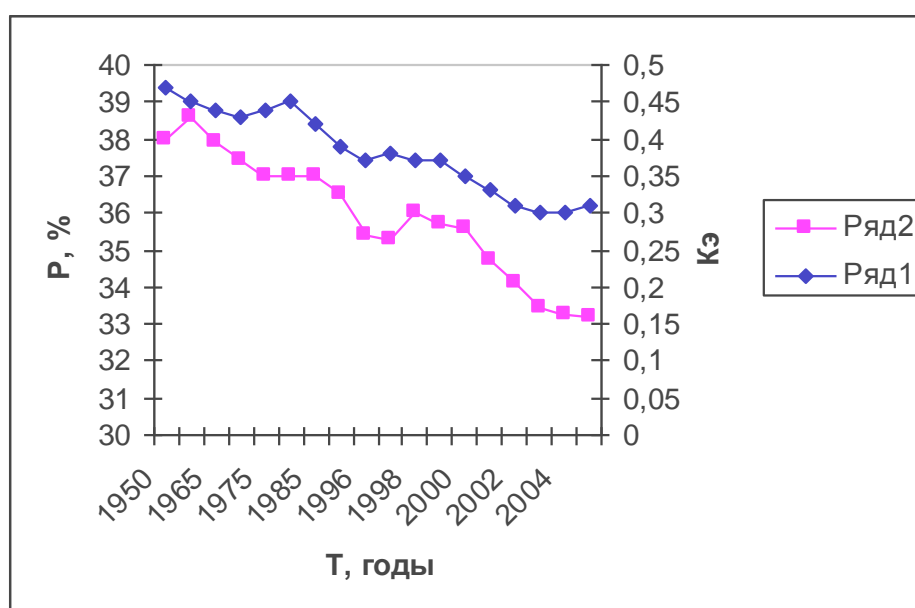


Рис. 1.1 Динамика распаханности земель и коэффициента эрозионной опасности посевных площадей территории Удмуртии в период 1950-2006 г.г. Условные обозначения: «Ряд 1» - коэффициент эрозионной опасности (Кэ), «Ряд2» - распаханность (P,%)

Устойчивое снижение показателя эрозионной опасности посевных площадей объясняется существенным возрастанием доли многолетних трав среди кормовых культур и влиянием противоэрозионных мероприятий, которые внедрялись в хозяйствах республики до 1991 года в значительных масштабах. Так, например, безотвальная обработка с сохранением стерни проводилась в 1990 году на 32% площади посевов

зерновых культур, а в 1994 году этот показатель снизился до 17,3% [Рысин, 1998]. В настоящее время ситуация стабилизировалась.

Также отмечается резкое снижение доли всех зерновых культур (озимых и яровых) от всей посевной площади с 52,7% в 1990 году до 36,3% в 2007 году по всем категориям хозяйств. Что касается технических (лен-долгунец) культур, то, несмотря на резкое уменьшение доли в посевной площади (0,4% в 1997 году), их площадь увеличилась до 1,3% в 2006 году. Также значительно увеличились площади посевов кормовых культур – с 42,4% в 1990 году до 58,3% в 2007 году по всем категориям хозяйств. Это связано с переориентацией сельского хозяйства с малоперспективного в наших природных условиях выращивания пшеницы на более выгодное развитие кормового хозяйства и выращивание технических культур, акклиматизированных для условий Удмуртии. Помимо этого, в последние годы 5-7% площади пахотных земель не обрабатываются вообще вследствие кризисной ситуации в экономике агропромышленного комплекса [О состоянии..., 2008 - 2015]. Из-за неэффективного использования сельскохозяйственных земель часть пашни не обрабатывается и переходит в залежь, зарастает мелколесьем, трансформируется в сенокосы и пастбища, заболачивается. По данным Министерства сельского хозяйства УР посевные площади во всех категориях хозяйств в период 1990-2007 г.г. сократились на 18%. Все это способствует затуханию процессов оврагообразования.

Для оценки антропогенного фактора использовался и самый доступный показатель – степень залесенности. Чем интенсивнее проявлялась на той или иной территории сельскохозяйственная деятельность человека, тем меньшие площади там занимают леса.

На сегодняшний день показатель лесистости территории УР составляет 48,6% [О состоянии..., 2008 - 2015]. Удмуртия в целом перешагнула критическую черту залесенности (50-60%) во второй половине XIX века, а по отдельным районам это происходило на протяжении первой половины XIX-начале XX века.

Наиболее измененными сейчас являются ландшафты южных районов республики. Когда-то залесенность этих территорий была очень высокой, а в настоящее время составляет 15-25%, достигая минимума в Каракулинском районе – 7,2%. Доля же сельскохозяйственных угодий

достигает 70%. Соответственно, здесь же отмечается и наибольшая густота сельскохозяйственных оврагов (до 700-1000 м/км<sup>2</sup> в отдельных речных бассейнах). Менее изменены ландшафты в центральной части Удмуртии и в зачепецких районах. Здесь же наблюдается и крайне низкая густота сети сельскохозяйственных оврагов, достигающая минимума в Красногорском районе – 0,3 м/км<sup>2</sup> [Рысин, 1998].

Распашка территории, полевые насаждения, мероприятия по повышению плодородия почв, вносят изменения в структуру водного баланса и тем самым влияют на сток в результате изменений водно-физических свойств почв. Под влиянием зяблевой вспашки поверхностный сток уменьшается на юге лесной зоны в 1,3-1,5 раза [Заславский, 1983].

Лесные полосы предохраняют поля от сдувания снега, аккумулируют влагу, перехватывая поверхностный склоновый сток. Отрицательное действие на водный режим оказывает и нерегулируемый выпас скота. При длительном использовании земель под выпас происходит смена видового состава луговой растительности, снижается ее продуктивность, разряжается дернина, происходит уплотнение почвенного покрова. В результате инфильтрация в почву ухудшается, и создаются условия для увеличения поверхностного стока. Кроме вырубки лесов и распашки земель на ландшафты очень большое воздействие оказывает промышленная деятельность и строительство. Особенно сильно изменяют ландшафты строительство автодорог, газо- и нефтепроводов, добыча полезных ископаемых. Все эти виды деятельности, так или иначе, имеют отношение к современной овражной эрозии, т.к. изменяют естественное равновесное состояние природных систем. Наиболее освоенные территории испытывают, соответственно, наибольшие нагрузки. К таким участкам на территории Удмуртии, прежде всего, относятся южные густонаселенные районы. Поэтому, прежде всего здесь необходимо активизировать исследования по изучению изменений ландшафтов, неотъемлемым элементом которых является овражно-балочная сеть и их развитие в будущем.

Таким образом, природные условия и хозяйственная деятельность способствуют развитию эрозионных процессов на территории Удмуртской Республики.

## **2. РАСПРОСТРАНЕНИЕ ТЕХНОГЕННЫХ ОВРАГОВ НА ТЕРРИТОРИИ УДМУРТСКОЙ РЕСПУБЛИКИ**

### **2.1. Генетическая типизация техногенных оврагов**

#### ***2.1.1. Развитие представлений об овражной эрозии в России и СССР***

М.В. Ломоносов [1753] заложил основы изучения водной эрозии и выделил формы рельефа, образующиеся в результате выпадения долговременных дождей и ливней. Агроном А.Т. Болотов [1781] отметил рост "водороин", возникающих от половодья и паводков.

Первые исследования оврагов с точки зрения их происхождения и попытки как-то классифицировать овражно-балочные формы были предприняты во 2-й половине XIX века. Пионерами в этом деле явились экспедиции Лесного департамента под руководством В.В. Докучаева. Основоположником генетической классификации эрозионных форм считается В.В. Докучаев [1878]. Он впервые разрабатывает теорию развития оврагов и предлагает пространственно-временной ряд: овраг – балка – речная долина, считающийся классическим в настоящее время. Э.Э. Керн [1894], выделил водосборный бассейн оврага и ввел понятие овражной системы. В конце XIX века В.И. Масальский [1897] дал определение "оврага" и "балки".

В начале XX века происходит увеличение исследований оврагов в связи с активизацией сельскохозяйственного освоения Центрально-Черноземной области России. А.С. Козменко [1912] подтвердил ряд установленных ранее закономерностей и предложил классификацию оврагов по их размерам, также подчеркнул значение для развития оврагов морфометрических особенностей водосборов и антропогенного фактора. Работы А.М. Панкова [1937] сыграли важнейшую роль в развитии учения о происхождении овражно-балочных форм. В этих работах впервые эрозионные процессы подразделяются на древние (нормальная геологическая эрозия) и современные (ускоренная эрозия). К формам древней эрозии им отнесены речные долины, балки и лога, а к современным – промоины, рытвины, каналы и овраги.

К середине XX века в работе С.С. Соболева [1948] впервые установлено географическое распространение процессов эрозии на

территории Европейской части СССР и факторов его определяющих, также выделены стадии развития оврагов. Значительное внимание развитию овражной эрозии на сельскохозяйственных землях, факторам оврагообразования и классификации оврагов было уделено в работах института географии АН СССР под руководством Д.Л. Арманда [1956, 1958, 1965, 1972]. В работах Н.И. Маккавеева [1955] отмечена генетическая связь всех типов потоков - от формирующих борозды на полях до речных артерий. Овраги рассматривались им как результат линейной эрозии в пределах водосборного бассейна. Также представлена теория выработанного продольного профиля, формированием которого должно практически заканчиваться образование линейной эрозионной формы. Б.Ф. Косов [Косов и др., 1975; Косов, 1978, 1984], отмечал роль антропогенного фактора в развитии овражной эрозии и то, что в большинстве случаев овражная сеть своим происхождением обязана сельскохозяйственному освоению и распашке земель.

В.П. Лидов [1959] одним из первых применил количественные методы оценки линейных размывов на полях. Г.И. Швевс [1974] дал анализ количественных связей между размерами овражных форм и природными характеристиками. Анализ форм продольного профиля оврага для определения его устойчивого состояния содержится в работах В.И. Филина [1957], И.В. Боголюбовой и А.В. Караушева [1979]. А.Г. Рожков [1971, 1975, 1981] и М.Д. Волощук [1975] выявили закономерности развития оврагов, обосновали их классификацию и разработали методы борьбы с овражной эрозией. Большой фактический материал по овражной эрозии получен в Удмуртии [Рысин, 1998] и Центральной России [Веретенникова, 1995], в Чувашии [Сироткина, 1966], Татарстане [Дедков, Бутаков, Мозжерин, 1990, 1993, 1996], Пермском Предуралье [Назаров, 1992].

Из крупных работ конца XX века – начала XXI века выделяются работы коллектива авторов под редакцией Р.С. Чалова [Овражная..., 1989], под редакцией А.П. Дедкова [Овражная..., 1990], Н.Н. Назарова [1992], И.И. Рысина [1998], Е.Ф. Зориной [2003], В.Н. Голосова [2006], Ю.В. Рыжова [2015], имеющих принципиальное значение для формирования взглядов на происхождение и развитие верхних звеньев эрозионной сети.



Большинство из перечисленных научных трудов посвящено овражной эрозии на сельскохозяйственных землях, что вызвано широким распространением линейной эрозии, связанной с земледелием и ущербом, наносимом пахотным угодьям. В литературе середины – второй половины XX века крайне редко встречаются сведения об оврагах в городах. В этих работах чаще только описываются подобные овраги с точки зрения их разрушительной деятельности и констатации фактов разрушения сооружений или значительных скоростей роста оврагов.

В последние годы отмечается возросший интерес к изучению овражной эрозии, развивающейся в условиях техногенных ландшафтов [Ковалев, 2001, 2005, 2009; Дайковская, 2011 и др.].

### ***2.1.2. Основные генетические типы техногенных оврагов на территории Удмуртии***

В связи с постоянно увеличивающимся числом техногенных оврагов, все чаще поражающих места жизнедеятельности человека, возникла необходимость в выделении понятия «техногенный овраг», разработки типизации техногенных оврагов и создании карты их распространенности на территории Удмуртии.

Основной задачей на предварительном этапе исследования стало решение проблемы выделения техногенных оврагов из всего многообразия подобных эрозионных форм. Овраги классифицируются по многочисленным признакам: по происхождению, по положению в рельефе, скорости роста, активности, по форме в плане и т.д. [Соболев, 1948, Кесь, 1950, Козменко, 1954, Тимофеев, 1981, Косов, 1984, Рысин, 1998, Бондарев, 1999 и др.]. Наиболее простым и научно обоснованным является деление всех оврагов по происхождению на естественные и антропогенные. Появление естественных оврагов вызывается рядом природных процессов: боковой эрозией, оползанием, карстом, суффозией, катастрофическими ливнями и др. Антропогенные же овраги своим появлением и развитием обязаны, прежде всего, хозяйственной деятельности человека, влияющей на состояние природных ландшафтов, то есть человек выступает «катализатором» их образования и развития. Первые описания техногенных оврагов появились еще в конце XIX века. Если ранее основной причиной оврагообразования была

сельскохозяйственная деятельность людей, то в настоящее время возрастает доля техногенно обусловленных оврагов в населенных пунктах, а также эрозионных форм, образованных при прокладке дорог, трубопроводов, добыче полезных ископаемых. Основные понятия нами раскрыты ранее в ряде публикаций [Григорьев, Рысин, 2006, 2008, 2009, 2012, 2014, Григорьев и др., 2016].

Таким образом, можно обозначить понятие «**техногенный овраг**» как линейную форму эрозии временных водотоков, возникающую в пределах антропогенных ландшафтов на различных элементах рельефа в результате технически обусловленного воздействия.

Антропогенные овраги целесообразно разделить на две большие группы: сельскохозяйственные (мы предлагаем называть их *агрогенными*) и *техногенные*. Для этих групп оврагов наблюдается принципиальное различие в характере воздействия деятельности человека на природные ландшафты. Так, например, сельскохозяйственные работы обычно затрагивают обширную площадь и имеют больше косвенное воздействие на появление и развитие оврагов, в то время как техногенные овраги появляются чаще всего в результате каких-то локальных промышленных работ (выемка грунта, сток промышленных вод и т.п.), которые напрямую изменяют и рельеф поверхности и характеристики стока.

В свою очередь, агрогенные овраги также подразделяются на два типа. К первому типу необходимо отнести «*арационные*» овраги, появившиеся в результате нарушения естественных условий на водосборе пахотными работами и уничтожением растительности. Ко второму типу относятся «*мелиоративные*» овраги, появившиеся на каких-то искусственных водосборах, созданных в результате образования новых форм рельефа при проведении мелиоративных работ и овраги, появившиеся на склонах в результате чрезмерного орошения.

На наш взгляд типизация именно антропогенных оврагов должна выглядеть следующим образом (рис.2.1).

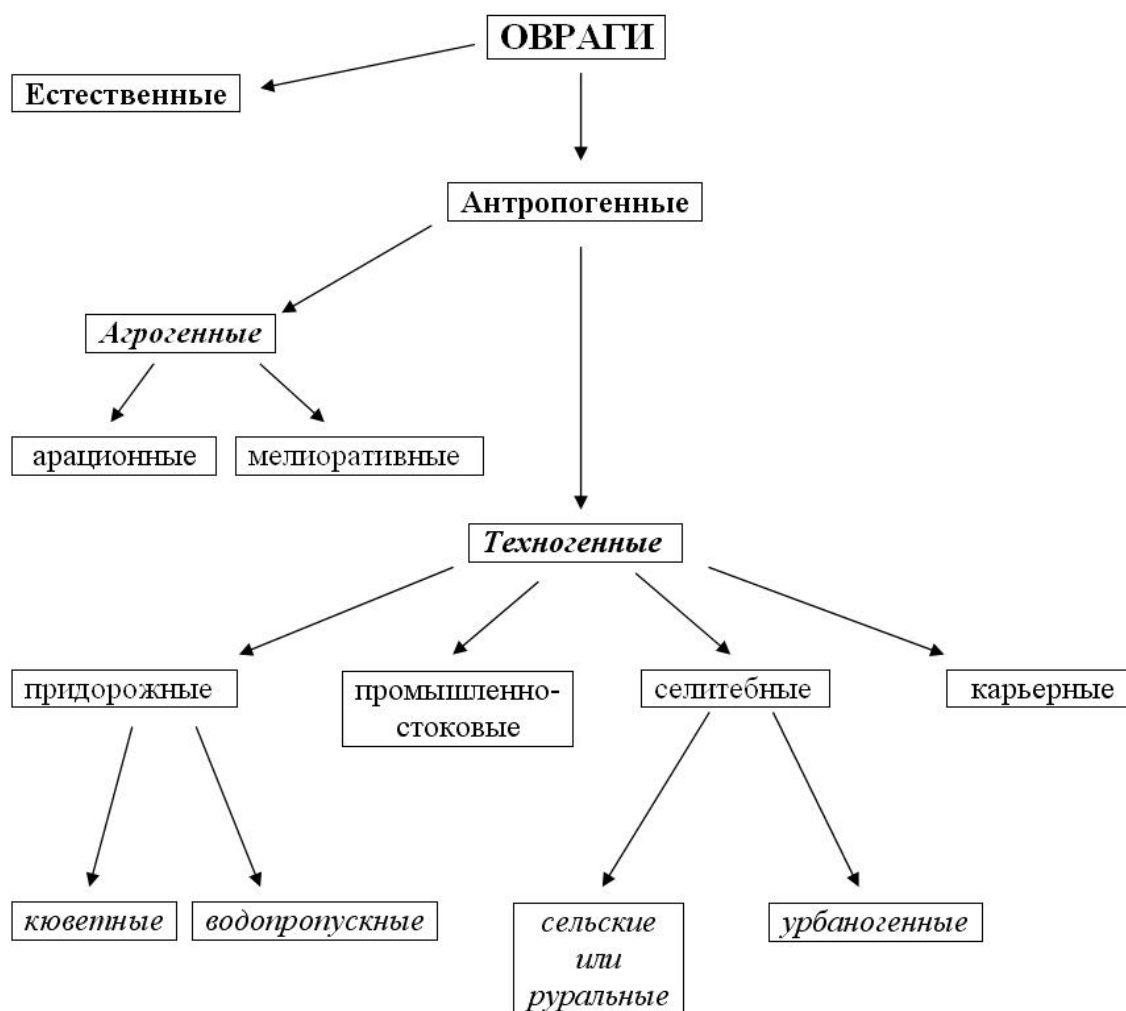


Рис. 2.1 Схема типизации оврагов по происхождению

Что касается техногенных оврагов, то среди них, можно выделить четыре типа – «придорожные», «промышленно-стоковые», «селитебные» и «карьерные». Здесь необходимо сразу отметить, что возникают они только в случае игнорирования рельефа при проектировании и строительстве промышленных и гражданских объектов и коммуникаций, при систематическом нарушении правил и условий их эксплуатации.

*Придорожные овраги* относятся к техногенным, поскольку при строительстве как шоссейных, так и грунтовых дорог используется большое количество различной техники, а также перемещаются огромные объемы грунта и других строительных материалов. Следствием вышеперечисленных мероприятий является техногенное изменение рельефа и, следовательно, водосборов. Происходит перераспределение стока во вновь образованных водосборных бассейнах и появление

эрозионных форм. Необходимо отметить, что придорожные овраги, в свою очередь, можно разделить на 2 подтипа - «кюветные», расположенные вдоль дорог и «водопрпускные» (овраги ниже водопрпускных сооружений), расположенные под некоторым углом или перпендикулярно к дороге. Кюветные овраги распространены по всей территории Удмуртии на склонах вдоль автодорог (рис. 2.2). Кювет уже изначально является искусственной формой, концентрирующей поверхностный сток и способствующей возникновению и развитию размыва.

Овраги водопрпусков располагаются под большим углом (или перпендикулярно) к дороге (рис. 2.3). Чаще всего они являются продолжением оврагов или ложбин на противоположной стороне дороги, из-за чего и было построено водопрпускное сооружение, представляющее собой железобетонную или металлическую трубу диаметром до 1,5 м. В любом случае водопрпуск служит концентратором водного потока, вызывающего в итоге развитие эрозионных процессов. Причиной разрушающей концентрации водного потока служит либо неправильный расчет пропускающей способности труб, либо отсутствие так называемых успокоителей потока.

*Промышленно-стоковые* овраги имеют меньшее распространение. Связано это с более локальным распространением строительства объектов, имеющих сток промышленных вод. Для образования промышленно-стоковых техногенных оврагов необходимо нарушение правил выпуска промышленных вод с территории объекта и игнорирование рельефа окружающей поверхности (рис. 2.4). Как понятно из названия оврагов, относимых нами к данному типу, возникают они вследствие прямого воздействия сточных вод на имеющиеся понижения в рельефе. Относительно оврагов данного типа необходимо отметить, что образование их приурочено к промышленным участкам, расположенным вне жилой застройки, но внутри крупных населенных пунктов или агломераций. Описан случай сброса промышленных и бытовых вод с территории завода в г. Брянске [Ковалев, 2009]. Помимо этого, в качестве примера можно привести участки по добыче нефти, строительные площадки, места прорывов различных трубопроводов и т.п.



Рис. 2.2 Придорожный кюветный овраг у с. Бемыж Кизнерского района УР  
(автор всех фото – Григорьев И.И.)

*Селитебные овраги* возникают и развиваются на территориях населенных пунктов, предназначенных для размещения жилой, общественной и рекреационной застройки. Промышленные предприятия, имеющие санитарно-защитные зоны, выводятся из состава селитебных территорий. Селитебные территории в среднем занимают 50-60% территории города и 70-80% территории сельского поселения. Данный тип подразделяется нами на 2 подтипа – «руральные» (сельские), развивающиеся на территории сельских населенных пунктов и «урбаногенные», порождаемые хозяйственной деятельностью на территории городских населенных пунктов и создающие для него определенную угрозу.



Рис. 2.3 Придорожный овраг ниже водопропускного сооружения у с. Соколовка Сарапульского района УР



Рис. 2.4 Искусственно концентрируемый сток на площадке нефтедобычи месторождения «Гремиха» в Завьяловском районе УР

*Сельские (или «руральные») овраги* (от лат. *Ruralis* – сельский, деревенский) выделяются нами в отдельный подтип, так как являются следствием процессов и явлений, присущим только сельским населенным пунктам. Большинство сельских населенных пунктов в Удмуртии в настоящее время имеют хотя бы одну улицу или подъездную дорогу, которая асфальтируется или выкладываются бетонными плитами площадки у хозяйственных построек и общественных зданий.

Последствия эрозионных размывов часто остаются без внимания до тех пор, пока не появится прямая угроза зданиям, сооружениям или коммуникациям. Так, катастрофический рост сельского оврага в д. Крымская Слудка Кизнерского района УР, проявился во многом благодаря неправильно заложенной уличной дренажной канализации, усилившей многократно силу поверхностного стока (рис. 2.5 и 2.6).



Рис. 2.5 Условия образования селитебного оврага сельского подтипа в д. Крымская Слудка Кизнерского района УР



Рис. 2.6 Селитебный овраг сельского подтипа в д. Крымская Слудка  
Кизнерского района УР

*Урбаногенные овраги* несут в себе некоторые черты почти всех типов техногенных оврагов, поскольку городская среда аккумулирует в себе и дорожные насыпи, и промышленные предприятия с часто нерегулируемыми сбросами сточных вод, и изменение условий поверхностного стока вследствие благоустройства территорий. Последнее часто приводит к формированию новых границ поверхностного стока, изменению коэффициента стока и развитию урбаногенного типа техногенных оврагов. Но, наверное, самая главная причина оврагообразования в городских населенных пунктах – это не новое строительство, а непродуманное планирование городских кварталов, отсутствие или неправильно заложенная дренажная сеть, отсутствие и засорение ливневой канализации (рис. 2.7).





Рис. 2.7 Урбаногенный овраг в г. Ижевске, возникший во время ливня 4-5 июля 2014 года

*Карьерные овраги* на территории Удмуртии встречаются нечасто. Чаще всего они имеют небольшие размеры, поскольку развиваются в условиях недостаточного поверхностного стока и небольшого интервала времени, что связано либо с дальнейшей разработкой карьера, либо рекультивационными работами (рис. 2.8). На территории Удмуртии проявления карьерной эрозии, например, имеются в заброшенных карьерах у пос. Горняк Можгинского района УР. Имеются наблюдения за появлением и развитием техногенных оврагов данного типа в случае прекращения добычи полезных ископаемых на отвалах пустых пород и стенках карьеров в г. Карабаш Челябинской области [Ковалев, 2009].



Рис. 2.8 Склон карьера с промоинами и небольшими оврагами у с. Булай Увинского района УР



Рис. 2.9 Урбоовраг в микрорайоне «Старый Аэропорт» в г. Ижевске

Отдельно можно отметить так называемые «урбоовраги», выделяемые С.Н. Ковалевым [2005]. Чаще всего эти овраги уже завершили свое развитие и в какой-то мере являются неотъемлемыми элементами территории городских населенных пунктов, не принося заметного ущерба, кроме усложнения инфраструктуры населенных пунктов. Урбоовраги довольно часто встречаются в городах Удмуртии. В частности, на территории г. Ижевска овраги данного типа представлены в спальных районах восточной части города (рис. 2.9).

## **2.2. Морфолого-морфометрическая характеристика техногенных оврагов**

Ранее по положению в рельефе с учетом существующих типизаций оврагов [Кесь, 1950; 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) [Рысин, 1998].

С целью изучения морфометрических особенностей техногенных оврагов было проанализировано 459 оврагов различных типов (рис. 2.10). Для этого использовались аэрофотопланшеты масштаба 1:10000 с нанесенными горизонталями сечением 5 м. Определялись следующие основные характеристики: 1) тип оврага по происхождению; 2) длина главного оврага и всех отвершков; 3) количество их вершин; 4) падение и средний уклон тальвега оврага; 5) площадь водосборного бассейна 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).

Длины оврагов измерялись с помощью курвиметра, в отдельных случаях использовался циркуль-измеритель; площадь водосборов оврагов определялась чаще всего весовым методом с помощью торсионных весов.

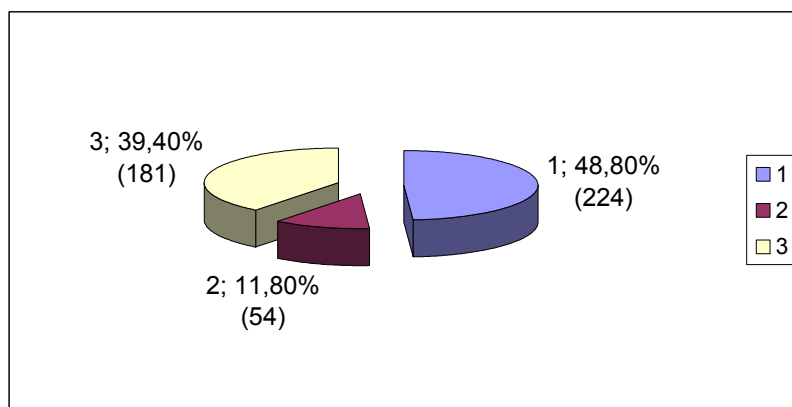


Рис. 2.10 Распределение типов техногенных оврагов по происхождению (1- придорожные, 2- промышленно-стоковые, 3- селитебные)

Значительный интерес вызывает изучение морфометрических особенностей генетических типов техногенных оврагов. Морфометрическое исследование, как уже указывалось выше, затронуло 3 основных типа из 459 техногенных оврагов – придорожные, включая кюветные и водопропускные (224 оврага), промышленно-стоковые (54 оврага) и селитебные (181 овраг). Отсутствие в морфометрическом анализе карьерных оврагов на территории Удмуртии объясняется их малочисленностью и малым периодом существования.

Средняя длина придорожных оврагов составила 195 м. Больше 1000 м их длина только в двух случаях – это овраги, находящиеся в Вавожском и Сюмсинском районах на длинных пологих склонах. Средняя длина склонов от вершины оврага до водораздела составила 600 м, только для 11 оврагов данный показатель превысил 1500 м. Средний уклон придорожных оврагов составил 4,9°, лишь для 18 оврагов уклон превысил 10°, достигнув максимального значения 18,8° для оврага на крутом правом берегу Камы в Сарапульском районе УР. Среднее значение глубин местных базисов эрозии придорожных оврагов составило 36 м, только в 11 случаях превышая 70 м, достигая максимума 107,2 м также на правом крутом берегу Камы. Площади водосборов в среднем составили 13,4 га, лишь для 10 оврагов данный показатель превышает 50 га, достигая максимума 100 га в Киясовском районе УР для интенсивно развивавшегося «мушакского» оврага.

Средняя длина селитебных оврагов составила 155 м. Больше 500 м их длина достигает в пяти случаях. Средняя длина склонов от вершины оврага до водораздела составила 530 м, только для 7 оврагов из 181 данный показатель превысил 1500 м. Средний уклон селитебных оврагов составил  $5,3^\circ$ , для 18 оврагов уклон превысил  $10^\circ$ . Среднее значение глубин местных базисов эрозии селитебных оврагов также составило 36 м, только в 3 случаях превышая 70 м, достигая величины в 113 м на крутом правом берегу Камы у с. Вятское Каракулинского района УР. Площади водосборов в среднем составили 12,3 га, лишь для 7 оврагов данный показатель превышает 50 га. Максимальная величина водосбора в 84,6 га зафиксирована для оврага в Глазовском районе УР в долине реки Чепцы.

Средняя длина промышленно-стоковых оврагов составила 190 м. Больше 500 м их длина достигает в трех случаях. Средняя длина склонов от вершины оврага до водораздела составила 710 м, для 7 оврагов из 54 данный показатель превысил 1500 м. Средний уклон оврагов этого типа составил  $6,9^\circ$ , для 13 оврагов уклон превысил  $10^\circ$ . Максимальный уклон составил  $22^\circ$  для короткого оврага на склоне балки на Медведевском нефтяном месторождении в Завьяловском районе УР. Среднее значение глубин местных базисов эрозии промышленно-стоковых оврагов составило 52 м, только в 10 случаях из 54 превышая 70 м, достигая максимума в 98,5 м у д. Соколовка Сарапульского района УР. Площади водосборов в среднем составили 10,7 га, лишь для 1 оврага данный показатель превышает 50 га и достигает 75 га в бассейне р. Варзинки в Алнашском районе.

Для всех типов характерной чертой является преобладание длин оврагов до 200 м – от 62% для придорожных до 69% для селитебных. Придорожные овраги в целом несколько длиннее остальных, а селитебные овраги короче. Полученный вывод логичен, поскольку в пределах населенных пунктов развитие оврага часто ограничено постройками, в отличие от придорожных оврагов, особенно кюветного подтипа.

Средние уклоны промышленно-стоковых оврагов несколько выше уклонов придорожных и сельских оврагов. При этом, большая часть промышленно-стоковых оврагов имеет уклоны выше  $6^\circ$  - таких около 52%. Среди придорожных и сельских оврагов преобладают уклоны до  $6^\circ$  - подобных оврагов по 68%. Полученный результат объясняется тем, что

промышленно-стоковые овраги образуются чаще всего на крутых склонах при сбросах технических вод с промышленных площадок. Данный вывод подтверждается значениями средних глубин местных базисов эрозии. Они оказались самыми значительными у промышленно-стоковых оврагов. Длины линии стока также являются максимальными у промышленно-стоковых оврагов. Наименьшая средняя площадь водосборного бассейна оказалась у промышленно-стоковых оврагов. Данный результат также подтверждает предположение о преобладании в росте промышленно-стоковых оврагов сбросов технических вод, нежели природного поверхностного стока.

Анализ полученных данных показал, что большинство оврагов (51,8%) имеют длину линий стока от 250 до 750 м (табл. 2.1). Количество 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° (34,4%), при этом значительное большинство их (52,5%) сосредоточено на склонах длиной от 500 до 1000 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 3° 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 (200-250м) с уклоном около 2°.

Резкое сокращение количества оврагов на крутых коротких склонах объясняется их меньшей нарушенностью хозяйственной деятельностью человека. Исключением являются овраги техногенного происхождения, нередко расположенные на крутых коротких склонах (рис. 2.11). Объясняется это локальным расположением каких-либо производств или технических сооружений часто рядом с крутыми склонами либо без учета геоморфологических особенностей местности (перераспределение стока). По сравнению с данными показателями, присущими агрогенным оврагам, основной особенностью линий стока водосборов техногенных оврагов является их меньшая длина, в среднем на 250-500 м. Соответственно,

больше половины оврагов (около 55%) располагается на склонах протяженностью менее 750 м.

Таблица 2.1

Распределение количества техногенных оврагов по градациям 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
Менее 2	-	8	18	19	15	7	18	5
2-3	3	26	38	45	19	11	9	7
3-4	3	28	43	21	16	3	2	-
4-5	-	12	14	7	1	1	-	-
5-6	2	16	8	2	-	-	-	-
6-8	3	11	7	1	-	-	-	-
8-10	1	8	1	-	-	-	-	-
Более 10	-	-	-	-	-	-	-	-
Итого:	12	109	129	95	51	22	29	12

В целом, на основе морфометрического изучения данных типов техногенных оврагов, можно сделать вывод о том, что на возникновение и развитие промышленно-стоковых оврагов влияет режим сброса технических вод с промышленных площадок в совокупности с наличием относительно крутых и длинных склонов. На появление и развитие придорожных и селитебных оврагов в большей степени влияние оказывает наличие или отсутствие технических сооружений, способных перераспределять и концентрировать поверхностный сток. Оврагообразование в пределах техногенных ландшафтов в равной степени как подчиняется выше рассмотренным закономерностям, так и имеет свою особенность – зависимость от расположения технических сооружений относительно понижений в рельефе, являющихся потенциально оврагоопасными.



Рис. 2.11 Техногенный овраг на крутом коротком склоне у д. Соколовка Сарапульского района УР

Морфологическая типизация, предложенная И.И. Рысиным [1998] для агрогенных оврагов в зависимости от их расположения на склоне, вполне может быть применима и для техногенных оврагов, хотя и имеет для них меньшее значение. Можно достаточно четко выделить основные морфологические типы и среди 23 техногенных оврагов, наблюдаемых нами на ключевых участках. Сделано это для более полного представления возможности развития техногенных оврагов на всех типах склонов и всех понижениях рельефа.

**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.

*Придолинные* овраги приурочены к крутым склонам речных долин, они обычно короткие (около 100 м), не выходящие вершиной за бровку склона. В морфологическом отношении овраги этого типа 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 распластывается и вследствие резкого уменьшения уклонов быстро теряет свою транспортирующую способность и откладывает здесь значительную часть вынесенного материала.

Доля придолинных оврагов, развивающихся в пределах техногенных ландшафтов, составляет 30%. Высокая доля придолинных техногенных оврагов объясняется в наших примерах прокладкой дорог вдоль речных долин. Насыпи дорог перераспределяют и концентрируют водный сток, что приводит к развитию овражной эрозии на долинных склонах.

Средняя длина придолинных техногенных оврагов составила 107 м, средняя глубина местных базисов эрозии 42 м, площадь водосборов в среднем составила 12,2 га. Уклоны оврагов в среднем довольно значительны и в среднем составляют около  $10^\circ$ , однако уклоны склонов, на которых они развиваются в среднем меньше – около  $3-4^\circ$ . Связано это с тем, что развиваются рассматриваемые нами овраги в нижних, более крутых частях склонов долин.

*Прибалочные* овраги возникают на склонах балок, суходолов, реже лощин. 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. Доля прибалочных техногенных оврагов составляет 10%.

Для наблюдаемых нами двух прибалочных техногенных оврагов морфометрические показатели не являются экстремальными. Они короткие – 50 и 70 м, с довольно пологим тальвегом – 2 и  $6^\circ$ , развиваются на относительно коротких склонах до 450 м с небольшим уклоном.

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

В республике данный тип оврагов является наиболее распространенным. Доля приводораздельных техногенных оврагов составляет 30%. Морфология и размеры их сильно различаются. Средняя длина семи наблюдаемых нами приводораздельных оврагов составляет 180 м, что значительно выше остальных типов первичных оврагов. Средняя длина склонов, на которых они развиваются, достигает 970 м. Сами овраги достаточно крутые – в среднем около 8°. Соответственно, местные базисы эрозии также значительные – около 40 м. Водосборные площади в среднем составляют 24 га, что также превышает данный показатель для предыдущих типов.

**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. Глубина вреза донных оврагов редко превышает 5-7 м, длина может превышать сотни метров. По ширине они 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.

Доля донных техногенных оврагов невелика и составляет 5%. Связано это, по нашему мнению, с влиянием на их появление и развитие в большей степени естественных факторов, чем антропогенных, то есть расположение на днище древних эрозионных форм, размыв переотложенных легкоразмываемых грунтов, вскрытие горизонтов подземных вод. Наблюдается нами только один донный техногенный

овраг. Отличается он значительным базисом эрозии – 56 м и длиной – 220 м.

*Вершинные* овраги приурочены к верховьям древних эрозионных форм, потому 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, 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° и более), поперечный профиль обычно V-образный или каньонообразный.

Доля вершинных техногенных оврагов - 20%. Связано это, в первую очередь, с их расположением в верхней части эрозионной сети, то есть ближе всего к сельскохозяйственным угодьям и техническим сооружениям, перераспределяющих и концентрирующих водный сток и, таким образом, стимулирующих развитие овражной эрозии. Рассматриваемые нами вершинные техногенные овраги часто имеют значительную крутизну – до 10° в среднем, и глубокий базис эрозии – 45 м. Уклоны склонов незначительные – не более 4°.

*Пойменные* овраги часто встречаются на высоких поймах речных долин (рис. 2.12). 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 каньонообразный. Данный тип оврагов является наименее распространенным. Описание или упоминание о пойменных оврагах довольно редко 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. Среди техногенных оврагов доля пойменных оврагов также крайне мала – всего один овраг. Поскольку он расположен на пойме, то отличается значительным расстоянием до водораздела – почти 2000 м, и большой глубиной базиса эрозии – 85 м. Уклоны тальвега оврага и склона незначительны и не превышают 2°.

Водосборная площадь составляет 75 га. Данные морфометрические характеристики способствуют его интенсивному приросту.



Рис. 2.12. Овраг на высокой пойме р. Варзинки у д. Юмьяшур Алнашского района УР

Морфометрическая характеристика техногенных оврагов, распределенных по морфологическим типам, показала, несмотря на относительно малое количество наблюдаемых оврагов, идентичность их показателей с характеристиками агрогенных оврагов, полученными И.И. Рысиным [1998].

## **2.3. Картирование техногенной эрозионной сети**

### ***2.3.1 Методика картирования***

Пространственный анализ какого-либо природного явления подразумевает собой обязательный выбор операционной территориальной единицы (ОТЕ). В качестве ОТЕ выступают – ключевые участки, регулярные геометрические сетки, политико-административные и хозяйственные единицы. В практике наших исследований нашли

применение в качестве ОТЕ ключевые участки по наблюдению за развитием техногенных оврагов. Несмотря на имеющиеся при данном подходе преимущества (стационарные наблюдения за ростом конкретного оврага, анализ факторов, влияющих на его развитие и полное картографирование всех эрозионных процессов), для региональных исследований выбор данной ОТЕ является не совсем удачным в силу своей малой репрезентативности, а, следовательно, надежности использования данных на всю территорию региона. Для картирования эрозионной сети данный подход обычно не применяется. Также имеет место ландшафтный подход, но при структурно-функциональном анализе природной среды, в том числе и эрозионно-аккумулятивного процесса, бассейновый подход считается наиболее приемлемым при выборе ОТЕ [Маккавеев, 1955; Дедков, Мозжерин, 1984; Рысин, 1998; Ермолаев, 2002]. Наиболее часто бассейновый подход используется при оценке твердого стока рек, овражной эрозии. Чаще всего при проведении эрозионных исследований ограничивают размеры бассейнов в соответствии с масштабом работ, давая ему определение элементарного. В этом случае наиболее обоснованной считается процедура выделения бассейнов по порядку гидрографической сети.

Среди множества способов картирования эрозионной сети [Спиридонов, 1975] нами был выбран метод выделения элементарных бассейнов [Рысин, 1981].

Выбор речных бассейнов в качестве основной территориальной единицы анализа обуславливается рядом их преимуществ перед другими типами ОТЕ, упомянутыми выше. Отметим главные признаки:

- Речной бассейн отвечает всем условиям, присущим геосистемам, т.е. целостности, уникальности, иерархичности, устойчивости, саморегулирования, структурности, функциональности и т.д.

- Объективность и относительная простота выделения границ однопорядковых бассейнов, что повышает репрезентативность территориальных единиц, а значит и достоверность данных применительно ко всему исследуемому региону.

- Возможность использования бассейнов как топологических единиц при последовательном переходе от локального к региональному уровню исследования.

•Бассейны с максимальной достоверностью позволяют моделировать процессы эрозии, стока с использованием традиционных методов и ГИС-технологий и имеют ряд других преимуществ.

Таким образом, наиболее репрезентативными ОТЕ для подобных целей являются речные бассейны. Именно они наилучшим образом позволяют выявлять закономерности пространственного и внутриводосборного функционирования эрозии на различных уровнях генерализации. Преимущество их заключается в том, что за основу берётся естественная геоморфологическая единица – элементарный водосбор, отчетливо выраженный в рельефе и являющийся конечным звеном с точки зрения формирования и регулирования поверхностного стока [Рысин, 1998]. Недостатком метода является различие площадей элементарных бассейнов.

Элементарные бассейны выделялись И.И. Рысиным [1981] по топографическим картам 1:100000 масштаба. В основе выделения элементарных речных бассейнов была использована порядковая классификация рек согласно Философову-Стралеру. Чтобы исключить влияние аномально малых площадей на определяемые показатели [Бадамшина и др., 1964 г.], элементарные бассейны с площадью менее 10 км<sup>2</sup> объединялись с соседними. Всего было выделено 1285 бассейнов, преимущественно 2, реже 1 и 3 порядков средней площадью около 34 кв. км, причем учитывались и те водосборы, которые не полностью расположены в пределах республики, поэтому их суммарная площадь составила 43720 км<sup>2</sup>, что несколько превышает общую площадь Удмуртии. Рабочая карта-схема с номерами элементарных бассейнов вначале была составлена в масштабе 1:300 000, позднее в масштабе 1:100 000.

Площади бассейнов были заимствованы из фондовых материалов [Ведомости..., 1973 г.] и уточнялись с помощью планиметра. Оказалось, что большинство бассейнов имеют площади до 40 км<sup>2</sup> (69,8%), а водосборы с площадью более 60 км<sup>2</sup> составляют лишь 7,7% и, как правило, это в основном межпритоковые участки крупных рек (табл. 2.2). В большинстве элементарных бассейнов проявляются эрозионные процессы, в том числе и наблюдаемая нами овражная эрозия.

Для территории Удмуртии И.И. Рысиным (1998) впервые были построены детальные карты овражной, балочной и долинной сети. Карты распространения овражных и балочных форм составлены на основе дешифрирования контактных аэрофотоснимков (АФС) масштаба 1:17000 – 30000 и аэрофототопопланов масштаба 1:10000 залетов 1957 – 1960-х гг., позднее по аэрофототопопланам залетов 1986 – 1991 гг. Протяженность долинной сети в пределах выделенных элементарных бассейнов определялась с помощью курвиметра по крупномасштабным топографическим картам.

*Таблица 2.2*

Распределение элементарных бассейнов по интервалам площадей [Рысин, 1998]

Интервалы площадей (км <sup>2</sup> )	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

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 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.

В нашем случае, когда не на всю исследуемую территорию имелись одновременно АФС и крупномасштабные топографические планы, приходилось совмещать дешифрирование по всем имеющимся источникам. Основным дешифровочным признаком техногенных оврагов в нашем случае чаще всего являлось местоположение оврага относительно дорог, промышленных объектов, населенных пунктов и т.п. Часть выделенных оврагов для подтверждения их происхождения обследовалась непосредственно в полевых условиях. Карты густоты и плотности техногенных оврагов Удмуртской Республики построены на основе данных, собранных с аэрофототопопланов масштаба 1:10000 1985-1995 г.г. залета. Аэрофототопопланы данного масштаба являются секретными и хранятся в архиве Управления Федеральной Службы государственной регистрации, кадастра и картографии по Удмуртской Республике. Количество техногенных оврагов, дешифрованных с них, составило 459. На 23 из них проводятся сезонные или ежегодные наблюдения с целью фиксации динамики их развития.

Степень овражного расчленения территории определяется густотой овражной сети, то есть суммарной протяженностью оврагов, отнесенной к единице площади. 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 безопасности территории. 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].

На территорию Удмуртии на основе имеющейся карты элементарных бассейнов нами построены карты густоты и плотности техногенных оврагов (рис.2.13 и 2.14), а также их распространения по типам.

### ***2.3.2. Анализ карт густоты и плотности техногенных оврагов***

Помимо простого определения положения какого-либо оврага на карте Удмуртии, необходим его разносторонний анализ, включающий множество морфометрических и морфодинамических показателей. При изучении общих закономерностей пространственно-временного развития эрозионных процессов наилучшим методом является анализ соответствующих тематических карт, составленных нами для техногенных оврагов. В ходе данной работы нами создана карта распространённости техногенных оврагов на территории Удмуртской Республики. На основе этой карты созданы карты густоты и плотности техногенных оврагов, позволяющие дать более детальную оценку степени овражного расчленения территории техногенными оврагами.

Густота техногенных оврагов в республике относительно невысока (рис. 2.13). На большей части территории Удмуртии техногенные овраги отсутствуют. Минимальные значения (1-10 м/км<sup>2</sup>) зафиксированы в северо-восточных и западных районах Удмуртии.

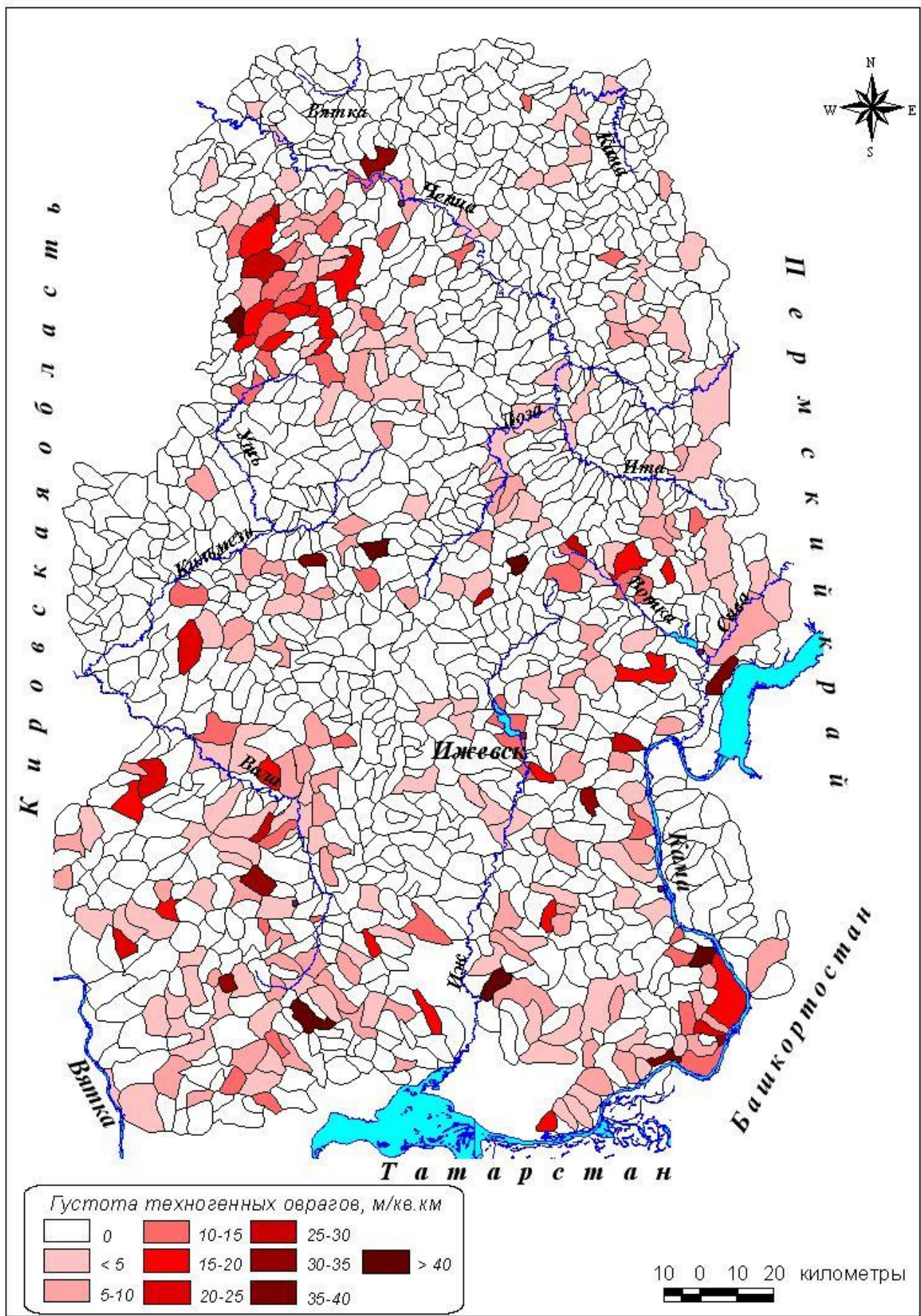


Рис. 2.13 Карта-схема густоты техногенных оврагов на территории УР

Наиболее высокие значения густоты (более 20 м/км<sup>2</sup>) характерны для юго-восточных и северо-западных районов. Максимального значения (57,7 м/км<sup>2</sup>) густота техногенных оврагов достигает в одном из бассейнов на территории Юкаменского района УР. По остальной территории республики густота техногенных оврагов распределяется относительно равномерно, с отдельными экстремальными показателями более 20 м/км<sup>2</sup>. В большинстве элементарных бассейнов густота техногенных оврагов составляет от 0 до 20 м/км<sup>2</sup>, лишь в пределах 27 бассейнов густота оврагов составляет больше 20 м/км<sup>2</sup>.

Плотность техногенных оврагов в республике также в целом невысокая (рис. 2.14). Минимальные значения (до 0,05 ед/км<sup>2</sup>) присутствуют в северо-восточных и центральных и западных районах Удмуртии. Наиболее высокие значения плотности (более 0,1 ед/км<sup>2</sup>) характерны для юго-восточных, юго-западных и северо-западных районов. Максимальное значение плотности техногенных оврагов – 0,29 ед/км<sup>2</sup> - зафиксировано в одном из бассейнов на территории Алнашского района УР, где на 20,5 кв.км площади элементарного бассейна, приходится 6 оврагов. По остальной территории республики плотность техногенных оврагов распределяется относительно равномерно, с отдельными экстремальными показателями более 0,20 ед/км<sup>2</sup>. В большинстве элементарных бассейнов плотность техногенных оврагов составляет от 0,01 до 0,1 ед/км<sup>2</sup>, лишь в пределах 23 бассейнов плотность оврагов составляет больше 0,1 ед/км<sup>2</sup>.

Средняя густота техногенных оврагов на территории Удмуртии составляет 2,0 м/км<sup>2</sup>, соответственно, плотность – 0,01 ед./км<sup>2</sup>.

Аналогичные показатели для агрогенных оврагов составили 50,1 м/км<sup>2</sup> и 0,24 ед./км<sup>2</sup> [Рысин, 1998]. Столь существенное различие связано с тем, что техногенные овраги распространены более локально (населенные пункты, автодороги, промышленные площадки) и количество их в целом гораздо меньше сельскохозяйственных.

При сравнении карт густоты и плотности техногенных оврагов выявляется их сходство, о чем свидетельствует полученный коэффициент корреляции ( $r = 0,79$ ) и график зависимости (рис. 2.15).

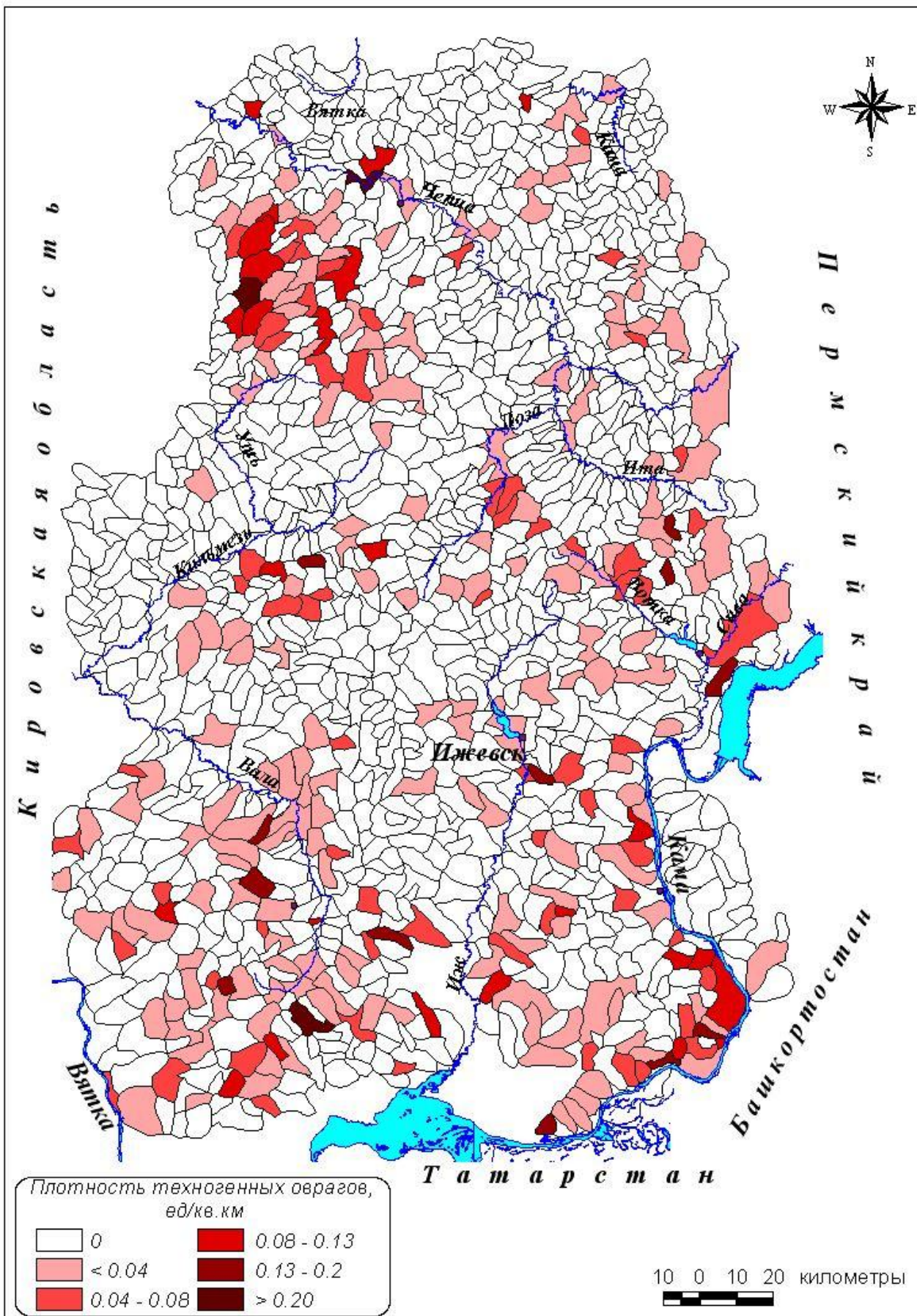


Рис. 2.14. Карта-схема плотности техногенных оврагов на территории УР

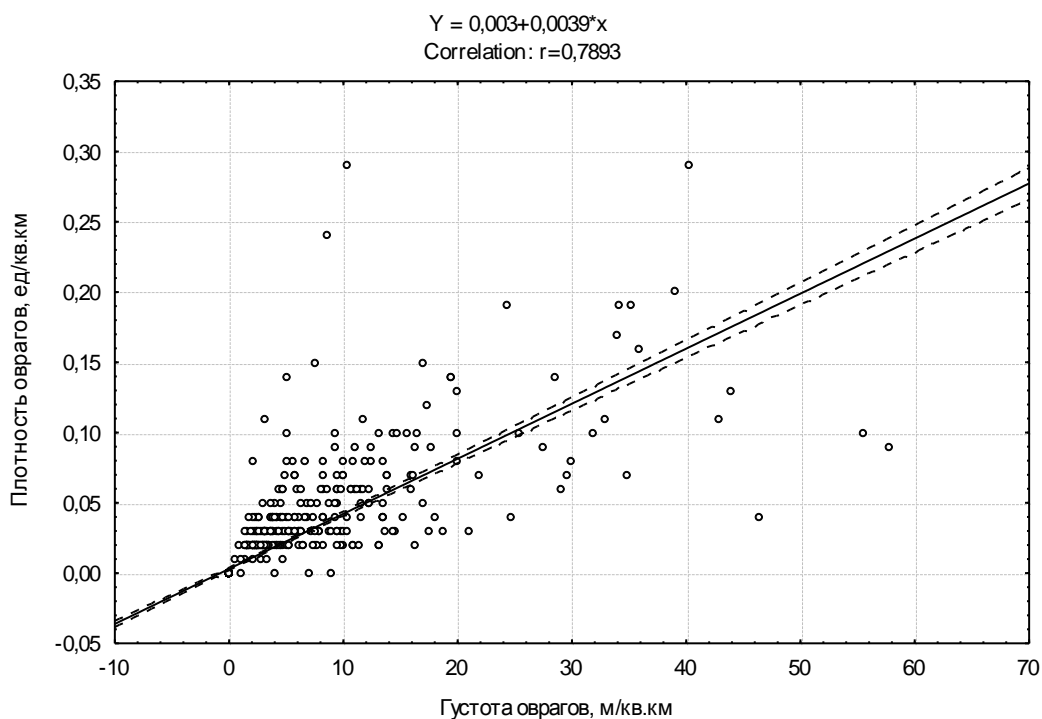


Рис. 2.15 Зависимость густоты сети техногенных оврагов от их плотности на территории Удмуртии

Связь между показателями прямолинейна, довольно высокий коэффициент корреляции показывает, что общая длина оврагов связана с количеством вершин в элементарном бассейне.

Поскольку техногенные овраги большей частью довольно короткие, то, несмотря на их большое количество в пределах бассейна, показатель густоты, в отличие от показателя плотности, будет значительно ниже. Так, например, густота техногенных оврагов в пределах одного из бассейнов в Вавожском районе УР составляет почти  $25 \text{ м/км}^2$ , что является одним из самых больших значений по республике. Но плотность оврагов в данном бассейне составила всего  $0,04 \text{ ед/км}^2$ . Связано это с тем, что там всего 2 оврага на  $56 \text{ км}^2$ , но их длина вместе превышает 1400 м. И подобных примеров можно привести несколько десятков. В целом, плотность меняется по всем элементарным бассейнам аналогично показателю густоты.

Распределение показателей густоты техногенных оврагов по морфогенетическим типам также имеет свои особенности.

Средний показатель густоты промышленно-стоковых оврагов по всей исследуемой территории ниже остальных типов –  $0,2 \text{ м/км}^2$ . По

заовраженным бассейнам густота возрастает до 8,9 м/км<sup>2</sup>. Связано это с небольшим количеством элементарных бассейнов, в которых присутствуют овраги данного типа, меньшей длиной самих оврагов и концентрацией их на относительно небольших участках.

Встречаются данные овраги по всей исследуемой территории, но резко выделяется правобережье р. Кама в Каракулинском и Сарапульском районах (нефтедобыча и связанные с ней производственные площадки) и окрестности г. Ижевска (промышленные предприятия).

Селитебные овраги имеют средний показатель густоты по Удмуртии несколько выше – 0,7 м/км<sup>2</sup>, а среди заовраженных бассейнов – 7,0 м/км<sup>2</sup>. Длина оврагов данного типа в среднем выше. Встречаются они на территории Удмуртии повсеместно, но особенно выделяются районы старого земледельческого освоения с большим количеством населенных пунктов – Юкаменский район на северо-западе, юг Селтинского и Завьяловский районы в центральной части, почти все южные районы.

Придорожных оврагов среди техногенных на территории Удмуртии больше всего. Средний показатель густоты их также наибольший по всем элементарным бассейнам – 1,1 м/км<sup>2</sup>. Но среди заовраженных бассейнов – 8,4 м/км<sup>2</sup>, что несколько ниже показателя промышленно-стоковых оврагов. Распределены овраги данного типа по территории Удмуртии относительно равномерно, поскольку сеть дорог охватывает почти все районы республики. В качестве исключения можно отметить северо-восточные районы и крайний север республики – наименее обжитые и максимально залесенные.

## **2.4. Использование овражно-эрозионной геоинформационной системы (ОЭГИС) для пространственно-временного анализа техногенного оврагообразования**

### ***2.4.1. Функциональная структура ОЭГИС***

Структура созданной нами овражно-эрозионной геоинформационной системы (ОЭГИС), ориентирована на анализ пространственных закономерностей овражной эрозии, схематично представлена на рисунке 2.16.

В качестве источников наполнения базы данных (БД) использовались самые разнообразные информационные материалы, подробно рассмотренные выше. Для пространственной реализации имеющейся информации был создан базовый слой, состоящий из элементарных речных бассейнов, выступающих в качестве ОТЕ. Каждый бассейн имеет ряд характерных признаков: порядковый номер, географическую привязку, идентификатор. Все показатели, характеризующие техногенное оврагообразование, были также привязаны к бассейнам. Общегеографический электронный слой включает гидрографическую сеть и границу республики.

Наиболее важной частью геоинформационных систем (ГИС) являются базы данных (БД), в которых содержится тематическая информация. БД - это упорядоченные массивы данных по какой-либо теме, представленные в цифровой форме. БД можно определить как совокупность взаимосвязанных, хранящихся вместе данных при наличии такой минимальной избыточности, которая допускает их использование оптимальным образом для одного или нескольких приложений; данные запоминаются так, чтобы они были независимы от программ, использующих эти данные; для добавления новых и модификации существующих данных, а также для поиска данных в БД применяется общий управляемый способ. Данные структурируются таким образом, чтобы была обеспечена возможность дальнейшего наращивания приложений.

Таким образом, язык БД предоставляет в распоряжение пользователя следующие возможности:

- мощные средства работы с файлами, позволяющие выбирать, модифицировать, объединять, отыскивать данные и выполнять сложные запросы;

- возможность пользоваться собственными критериями выбора и автоматически назначаемыми ключами выборки. Любая БД должна обладать возможностями поиска. Его быстрота зависит от организации данных.

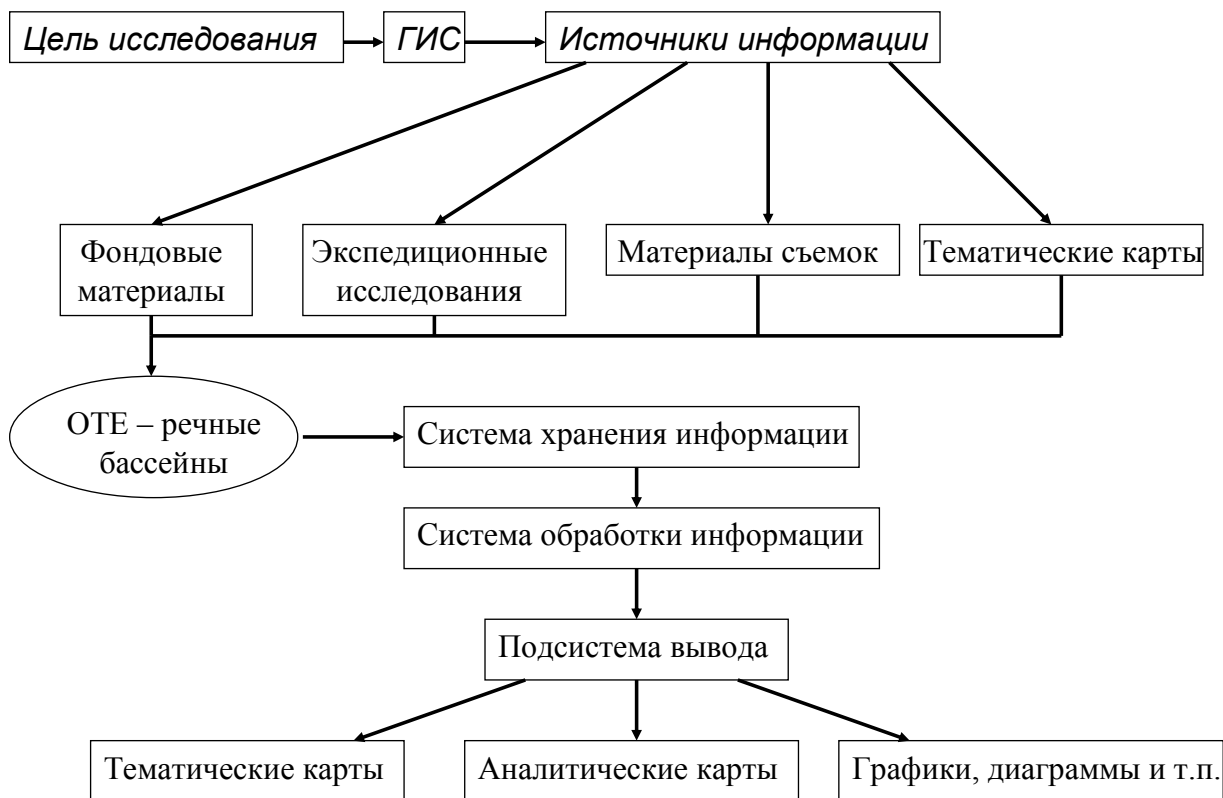


Рис. 2.16. Функциональная структура овражно-эрозионной геоинформационной системы (ОЭГИС)

В ОЭГИС база данных тематически разбита на три блока. Первый блок - «техногенное оврагообразование» - состоит из характеризующих его показателей. Этот блок включает данные по длине, густоте овражной сети, содержит показатели об изменении длины и скорости роста техногенных оврагов. Данные получены из многолетних экспедиций и при дешифрировании аэрофото- и космических снимков. Второй блок «факторы» - раскрывает показатели, обуславливающие развитие техногенных оврагов. Включает обширный перечень показателей, в той или иной степени определяющих эрозионные процессы (площадь бассейнов, лесистость, средняя крутизна, состав коренных пород и др.). Третий блок «прогноз» включает определенным образом проанализированные показатели, дающие прогноз развития овражной эрозии на территории Удмуртии.



#### 2.4.2. Создание тематических карт

Геоинформационный подход является одним из основных для количественных оценок эрозионных процессов, в том числе и на территории Удмуртской Республики, поэтому необходимо кратко пояснить понятие «геоинформационная система» (ГИС).

Точное определение данного термина до сих пор не стандартизировано. Однако большая часть определений ГИС сходится на том, что ГИС – это система или база данных, предназначенная для сбора, систематизации, хранения, анализа и отображения пространственных данных [Линник, 1990; Трифонова и др., 2005; Геоинформатика, 2008]. В нашем понимании, овражно-эрозионная геоинформационная система (ОЭГИС) на территорию Удмуртской Республики является интерактивной системой, способной реализовать сбор, систематизацию, хранение, обработку, анализ и отображение данных по овражной эрозии с целью получения на ее основе новой информации и новых знаний о пространственно-временных явлениях.

Для четкого пространственного восприятия расположения объектов наблюдения на территории Удмуртской Республики обязательно необходимо иметь разномасштабный картографический материал, созданием и использованием которого занимаются геоинформационные системы. Помимо простого определения положения какого-либо оврага на карте Удмуртии, необходим разносторонний анализ всей овражной сети, включающий множество морфометрических и морфодинамических показателей.

В данной работе использовались следующие источники:

1) *Картографические* – топографические карты масштаба 1:100 000, обзорно-топографические карты масштаба 1:200 000, а также обзорные карты разных масштабов – это надежные и достоверные источники, которые создают по государственным инструкциям, в стандартной системе условных знаков, с определенными строго фиксированными требованиями к точности. Топографическая карта масштаба 1:200 000 была использована как первичная картографическая основа, которая и была полностью оцифрована.

2) *Экспедиционные.* В основу работы положены результаты многолетних экспедиционных и полустационарных исследований эрозионных процессов на территории Удмуртии. Фактической основой для исследования эрозионной расчлененности территории Удмуртии послужили фондовые материалы Государственного комитета по землеустройству и земельным ресурсам Удмуртской республики и фондовые материалы кафедры физической географии и ландшафтной экологии Удмуртского государственного университета.

3) *Информационная база* – это комплекс приборов и программных средств (ГИС MapInfo и ArcView), обеспечивающих создание, использование и анализ карт.

Значительная часть географических данных быстро меняется с течением времени и, поэтому, постепенно традиционные бумажные карты дополняются географическими информационными системами (ГИС), гарантирующими быстроту, современность и актуальность получаемой информации.

Наиболее общим и универсальным является цифрование картографической информации. Классическое цифрование - это ступенчатый процесс, включающий несколько этапов:

- 1) подготовка исходной карты к цифрованию;
- 2) выделение слоев и объектов;
- 3) непосредственное цифрование.

Цифрование (дигитализация) - это перевод пространственной информации в цифровую форму. Точки, линии и площади представляются в виде последовательности пар координат X и Y, причем точки наносятся одной парой координат, линии - строкой координат, а полигоны формируются из линий и должны быть замкнуты.

Получаемая цифровая карта - это модель элементов картографического изображения, созданная путем цифрования картографических источников, топографо-геодезических съемок или иным способом с соблюдением нормативов, определяющих геометрическую точность, нормы генерализации, дизайн и допускающих ее реализацию в виде компьютерных и электронных карт.

Придать цифровой карте большую наглядность помогает программа - графикатор. В ней можно присваивать закодированным площадным

объектам - цвет, линейным - цвет и толщину линий, компактным - соответствующий немасштабный условный знак. Графикатор - программа, завершающая формирование электронной карты.

Электронная карта - один из видов продуктов автоматизированной картографии, получаемый в результате визуализации цифровой карты в автоматизированной картографической системе или цифровых представлений пространственных объектов в ГИС на видео экране ЭВМ.

Для просмотра карты или ряда карт предназначена программа Viewer. Компьютерная карта - один из видов продукции автоматизированной картографии, картографическое изображение, получаемое при помощи специализированных устройств отображения ЭВМ на бумажном или ином «твердом» носителе или с помощью неспециализированных устройств отображения, обеспечивающих достаточно грубую имитацию традиционных средств картографической выразительности.

Геоморфологическая ГИС может быть создана на основе коммерческой ГИС общего пользования путем адаптации с привлечением встроенных языков программирования (например, Mapinfo и Map Basic). При создании таких ГИС специалисты обычно ориентируются на коммерческие программы. Поскольку в коммерческих пакетах часто недостает некоторых программ, то необходимо предусмотреть возможность дополнения пользователем набора специализированных функций, а также обмена информацией с другими программами путем ее передачи в виде широко распространенных в обменных форматах файлов. Программирование проводится на BASIC и LISP, а также на подобных языках. Вся информация в ГИС хранится в виде отдельных массивов данных, к которым пользователь может обращаться по мере необходимости. Если сильно упростить действительно проходящую в ГИС работу, то можно представить ее таким образом, как будто бы пользователь создает обширную таблицу, в которой строчками являются объекты (наиболее просто устроенные и далее неделимые контуры, к которым отнесена вся последующая информация). Каждая строка этой таблицы пересекается столбцами. Порядок столбцов, установленный в начале создания системы, далее не изменяется на всем протяжении работы

системы. На пересечении строки и столбца образуется ячейка, в которую заносится определенная информация о контуре данного типа.

Результатом векторизации бумажных карт являлись файлы формата \*.shp – обменного формата системы ArcView. В качестве картографической основы для дальнейшего создания тематических карт нами были оцифрованы границы Удмуртии, административных районов, основных рек и водохранилищ в масштабе 1:200000. Затем, на основе данной карты, нами была создана карта элементарных речных бассейнов, выбранных в качестве основных ОТЕ.

Несомненным достоинством созданной ОЭГИС является база данных по всем элементарным бассейнам, включающая как факторы, влияющие на оврагообразование, так и показатели, характеризующие непосредственно техногенные овраги. Построена база данных как таблица, включающая 1285 строк по числу элементарных бассейнов и множество столбцов с различными показателями (их количество может постоянно увеличиваться). Таким образом, для каждого элементарного бассейна можно посмотреть все показатели, характеризующие его с точки зрения техногенного оврагообразования. При желании есть возможность создать картографические тематические произведения по всем имеющимся в базе данных показателям, что и было сделано.

На основе имеющейся базы данных создано множество тематических карт, представленных в Приложении 9 и подробно описанных нами в некоторых работах [Григорьев, 2008; Григорьев, Рысин, 2009].

Таким образом, современные вычислительные средства позволяют не только хранить и обрабатывать полученный ранее геоморфологический и другой, необходимый для поставленных целей материал, но и проводить само исследование, что подтверждает выводы многих ученых. Использование информационных систем стало возможным и в эрозионном анализе территории Удмуртии.

Практически полностью создана эрозионная геоинформационная система, включающая в свой состав цифровую карту УР масштаба 1:200000, цифровую карту речных бассейнов, созданные на их основе тематические карты эрозионных процессов и факторов, способствующих их развитию. Сформирована база данных, содержащая в себе

количественные и качественные характеристики эрозионных процессов и факторов оврагообразования.

### ***2.4.3. Крупномасштабные планы и схемы техногенных оврагов***

Нами ведется геодезическое наблюдение за развитием некоторых техногенных оврагов. С помощью создаваемых крупномасштабных планов и схем, наглядно представляется картина развития оврага не только в длину, но и в ширину и глубину. Включение этих планов в ЭГИС вполне естественно, поскольку их создание является начальным этапом наблюдения за техногенными оврагами.

Для создания топографических планов исследуемых ежегодно объектов используется программный комплекс «CREDO». В настоящее время комплекс CREDO состоит из нескольких крупных систем и ряда дополнительных задач, объединенных в технологическую линию обработки информации в процессе создания различных объектов от производства изысканий до ведения мониторинга. Каждая из систем комплекса позволяет не только автоматизировать обработку информации в различных областях (инженерно-геодезические, инженерно-геологические и инженерно-геоморфологические изыскания), но и сформировать единое информационное пространство, описывающее исходное состояние территории (модели рельефа, ситуации и геологического строения).

Работы по созданию топографических планов вершин оврагов на кафедре физической географии и ландшафтной экологии Удмуртского государственного университета начались в 2000 году. С тех пор на 12 активно растущих оврагах ежегодно проводятся работы по тахеометрической съемке. Среди этих оврагов, 6 относятся к техногенным и 6 – к агрогенным. С 2002 года, в связи с приобретением электронного тахеометра "ELTA ZEISS 3305", представляющего измерения в электронном виде, обработка ведется автоматическими методами с использованием программного комплекса «CREDO» (рис. 2.17).

Методика проведения исследований включает в себя несколько этапов: 1) подготовительный; 2) полевой; 3) камеральный.

На первом этапе происходит сбор картографической и топографической информации по каждому интересующему нас объекту (аэрофотоснимки, карты и топографические планы).

На втором этапе осуществляются полевые геодезические работы непосредственно на объекте. Основным методом оценки динамики является линейный, то есть измерение расстояний от вершины оврага до предварительно установленного репера (расположенные по линии роста оврага деревья, столбы, строения и т.п.) или в редких случаях от вершины оврага до специально заложеной "т"-образной марки, обращенной длинной стороной к вершине [Рысин, 1998]. Изменения ширины и глубины оврагов также фиксируются с помощью рулетки. При геодезической тахеометрической съемке объекта в любом удобном месте, но с учетом того, чтобы даже в случае аномального роста он не был разрушен, закладывается грунтовый репер (металлический штырь диаметром 1,5-2,0 см и длиной 1,0-1,5 м), с которого ежегодно проводятся геодезические наблюдения. При этом необходимо отметить, что дальность измерений для тахеометра составляет до 2 км (для теодолита - до 100 м). Особенность съемки овражных форм заключается в том, что густота пикетов определяется не только и не столько требованиями к съемке данного масштаба (например, для масштаба 1:500 пикеты необходимо брать через 15-20 метров, т.е. 3-4 сантиметра на плане), сколько необходимостью фиксации в плане основных изгибов бровки оврага. Помимо бровки один раз в 2-3 года производится съемка продольного и поперечного профилей оврагов.

С 2007 г. на одном из техногенных оврагов (д. Крымская Слудка в Кизнерском районе УР) ежегодно проводится детальная тахеометрическая съемка, то есть фиксируется плановое и высотное положение всех микронеровностей - всех ребер граней склонов и днища оврага, в том числе его бровки. Все это позволяет определить объем материала, вынесенного из оврага по отношению к предыдущему моменту наблюдений. Получаемые топографические планы разных лет масштабов 1:250 и 1:500 позволяют проследить динамику оврагообразования и получать количественные показатели развития оврагов различных типов.

На третьем, камеральном, этапе происходит обработка данных и вычерчивание топографических планов с использованием программного

комплекса CREDO. Полевые измерения (горизонтальный угол, превышение и горизонтальное проложение) скачиваются с тахеометра на жесткий диск компьютера в виде текстового файла с расширением \*.dat. Для того чтобы измерения за разные годы можно было сравнивать, грунтовым реперам на каждом объекте присваиваются условные прямоугольные координаты (например,  $x = 10000$ ,  $y = 10000$ ). Имея жесткие исходные координаты реперов, можно вычислить координаты каждого пикета на объекте, используя систему CREDO\_DAT. Система CREDO\_DAT позволяет осуществлять импорт данных, полученных с тахеометров различных типов, вводить данные из рукописных журналов, выполнять уравнивание с учетом различных поправок, создавать каталоги и вычерчивать схемы обоснования и пикетажа, экспортировать результаты обработки в открытый обменный формат комплекса CREDO и в формат DXF.

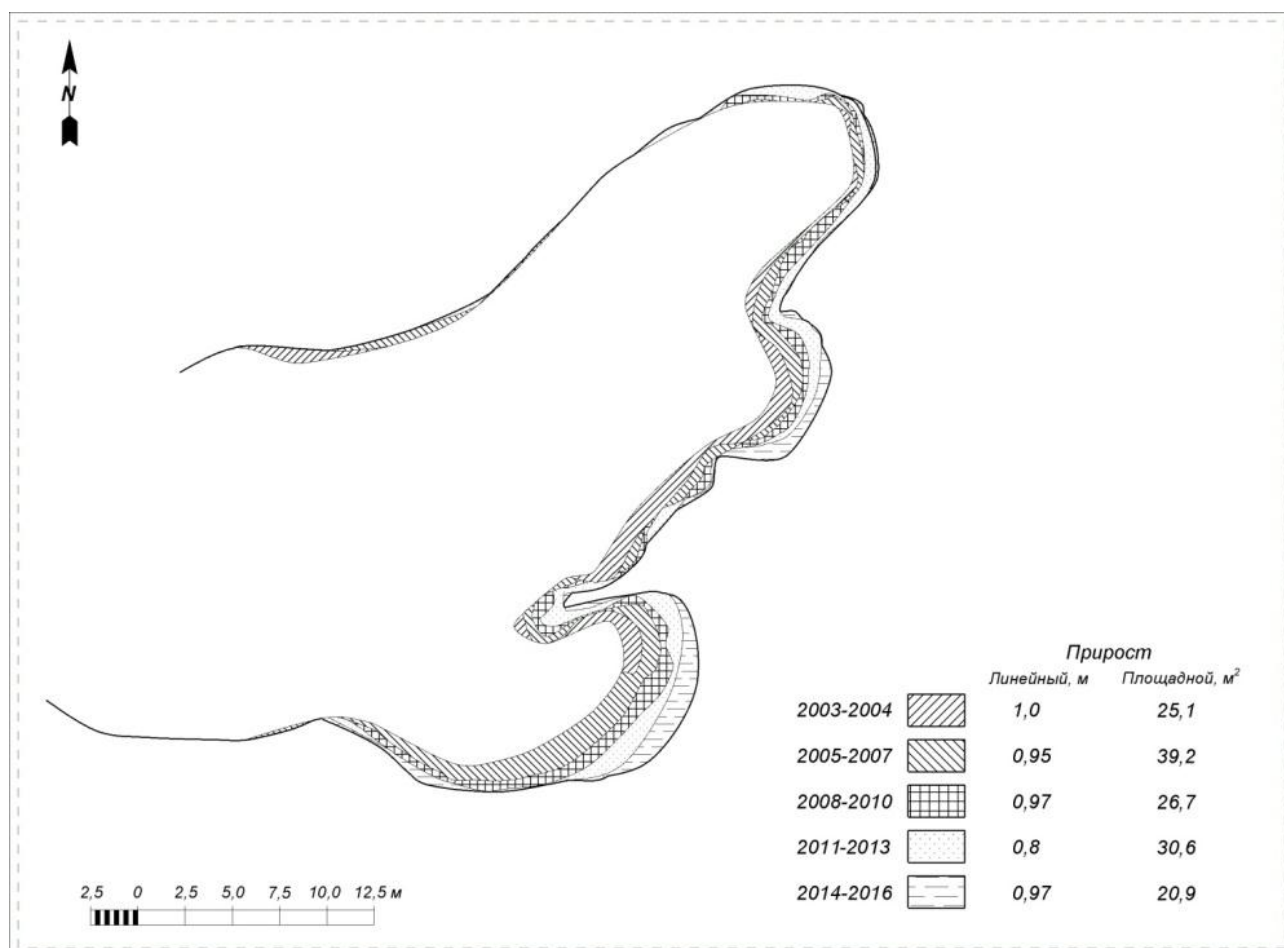


Рис. 2.17 Схема развития техногенного оврага на участке «Кулюшево» в Каракулинском районе УР

Для отрисовки ситуации и построения горизонталей используется система CREDO\_Топоплан 1.0. Данная система позволяет создавать крупномасштабную цифровую модель местности (ЦММ). Исходными данными для создания ЦММ являются материалы обработки тахеометрической съемки в системе CREDO\_DAT. Цифровая модель местности состоит из цифровой модели рельефа (ЦМР) и цифровой модели ситуации (ЦМС). ЦМР представляет собой нерегулярную сетку треугольников с применением структурных линий и выделением участков для моделирования форм с изломами поверхности по границам. Рельеф отображается горизонталями различного вида либо в виде штриховки откоса или обрыва. Высота сечения рельефа, вид отображения горизонталей (дополнительные горизонталы, полугоризонталы) могут определяться как для всей поверхности, так и для ее отдельных участков, состоящих из группы выбранных треугольников. По рельефу может определяться направление и величина уклона.

Технология моделирования поверхности позволяет обрабатывать неограниченное число точек в модели. ЦМС формируется из площадных, линейных, точечных объектов и отображается соответствующими условными знаками и текстовой информацией. Все данные распределяются по слоям, объединенным в иерархическую структуру, отражающую взаимосвязь частей объекта. Поддерживается неограниченное число слоев. Между двумя поверхностями осуществляется подсчет объемов работ в контуре или по сетке квадратов. Особенностью данной программы является специальный набор функций для работы с поверхностями: расчет линий пересечения поверхностей, работа с профилями и разрезами, вычисление объемов земляных масс [Назаров А.С. и др., 2009].

Для вычисления объемов в проекте должны быть построены две поверхности, между которыми и вычисляется объем в контуре или по сетке квадратов [Григорьев, 2009]. За исходную поверхность всегда принимается та, которая построена на основании совокупности точек бровки оврага. То есть гипотетически предполагаем, что оврага не существует, и в данном месте расположен ровный склон. Вторая поверхность – реальный овраг, со всеми микронеровностями на склонах и в днище. Объем грунта, полученный между двумя поверхностями,



составляет объем материала, вынесенного из оврага за время его существования. При каждой повторной съемке объем рассчитывается не по отношению к предыдущему году, а опять же к ровной поверхности, построенной на основании совокупности точек бровки оврага. Объем, вынесенный за год, вычисляется путем нахождения простой разности: объема оврага в текущем году минус объема в предыдущем году. Выходные результаты представляются в виде чертежей (DXF-файлов), ведомостей и таблиц. Распечатка готовых чертежей осуществляется либо в самой программе Топоплан, либо в программе AutoCAD, каталогов - через любой текстовый редактор. Помимо прямой распечатки результатов, программный комплекс CREDO (система CREDO\_Конвертер) позволяет осуществлять конвертирование данных в программу MapInfo - в файлы формата MIF и MID или в программу AutoCAD – файлы формата DXF.

Изучение показателей динамики площади и объема эрозионных форм является одной из важнейших задач в геоморфологии. Так, например, линейный прирост наблюдаемого оврага в д. Крымская Слудка на левом берегу р. Вятка за 2008-2010 г.г. составил 4,7 м, в то время как прирост его площади и объема сопоставим с цифрами периода 2005-2007 г.г., когда линейный прирост превысил 25 м (рис 2.18).

Знание количественных характеристик позволяет, во-первых, оценить рост оврага более полно и масштабно в отличие от традиционных линейных методов, и, во-вторых, дает возможность осуществлять прогнозирование развития оврага не только в виде линейного роста вершины, но и изменений его в глубину и ширину.

Таким образом, использование программного комплекса CREDO для создания полноценной ГИС овражной эрозии является очень важным именно на начальном этапе, когда происходит полевой сбор данных и осуществляется отрисовка объектов исследования в крупном масштабе.

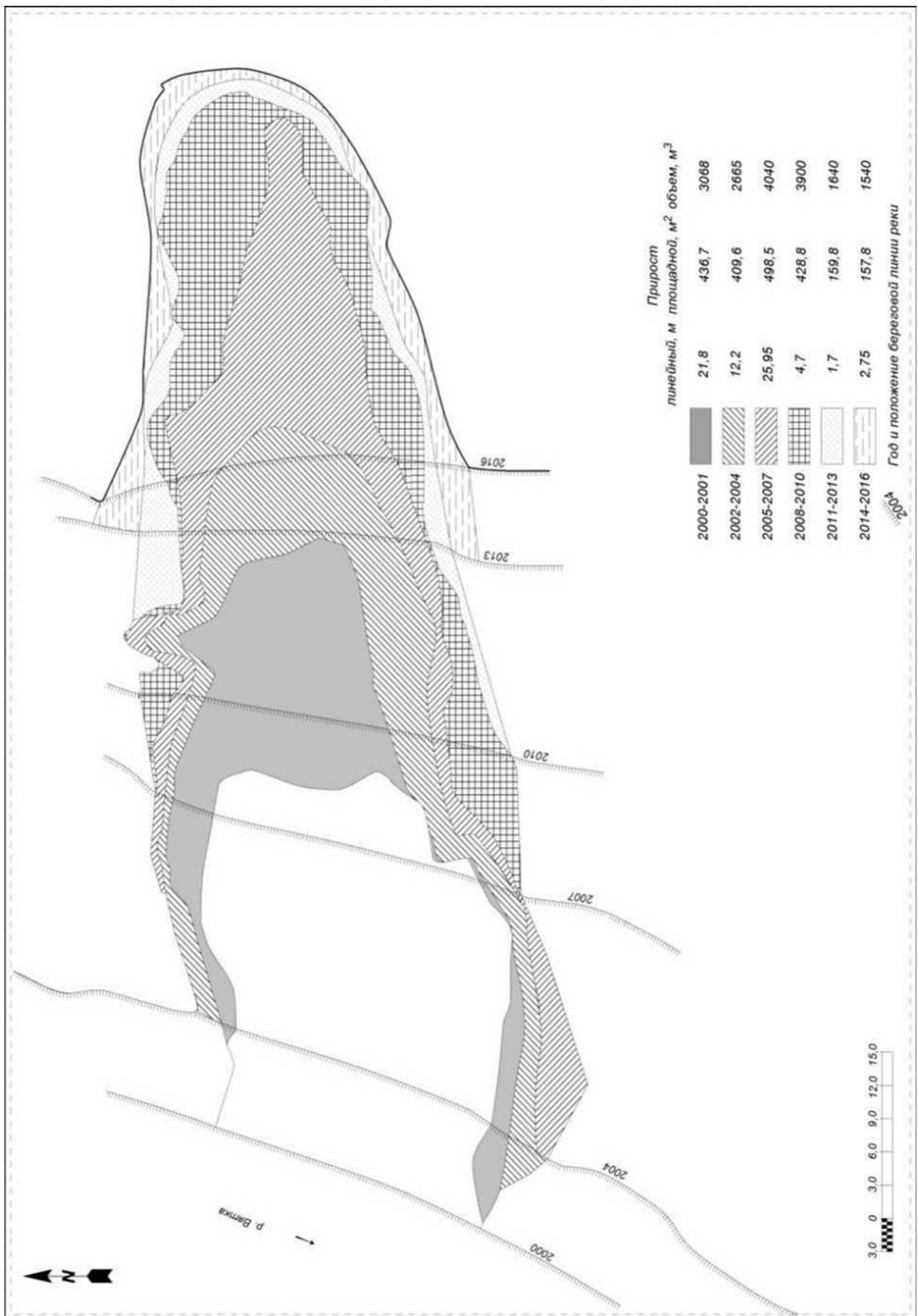


Рис. 2.18 Схема развития техногенного оврага на участке «Крымская Слудка» в Кизнерском районе УР

Карты густоты и плотности техногенных оврагов (и их типов) показывают их локальное распространение на территории Удмуртии. Максимальных значений густота и плотность техногенных оврагов достигают в северо-западных и юго-восточных районах, активно заселенных и осваиваемых с XVII-XVIII веков. На большей части УР техногенные овраги встречаются относительно редко с отдельными повышенными показателями густоты и плотности. Таким образом, подтверждается азональный характер распространения техногенных оврагов и их зависимость от хозяйственной деятельности человека.

### **3. ФАКТОРЫ ТЕРРИТОРИАЛЬНОГО РАСПРОСТРАНЕНИЯ ТЕХНОГЕННЫХ ОВРАГОВ**

#### **3.1. Методика анализа**

Следует выделить 2 группы факторов, влияющих на развитие техногенного оврагообразования на территории Удмуртии: 1) природные – гидроклиматические условия, характер рельефа, состав подстилающих пород и почвенно-растительный покров; 2) антропогенные – протяженность и густота дорожной сети, количество и площадь населенных пунктов, лесистость территории, плотность населения. Необходимо также отметить, что одним из важнейших показателей, влияющих на развитие оврагов как техногенных, так и агрогенных, является площадь пашни. Однако получение подобных данных для всех элементарных бассейнов крайне проблематично как в силу ежегодного изменения севооборотов, так и трудностью получения исходных данных. Показатель степени залесенности бассейна более доступен и связан напрямую с распаханностью земель и, следовательно, с деятельностью человека. Поэтому фактор лесистости нами выбран в качестве одного из основных антропогенных. Также важным фактором, влияющим на появление и развитие техногенных оврагов, является плотность населения на территории Удмуртии. Положительный опыт подобных исследований имеется по Республике Татарстан [Ермолаев О.П., 2002, Курбанова С.Г., 1998 и др.]. Подсчет плотности населения для каждого элементарного бассейна довольно трудоемок, поэтому данные показатели рассмотрены нами лишь для бассейнов с максимальными и минимальными показателями густоты техногенных оврагов. Большая часть из 282 бассейнов с техногенными оврагами сравнивалась с показателями плотности населения административных районов Удмуртии.

Статистический анализ первоначально проводился по всем элементарным бассейнам. Так как в большинстве бассейнов не было выявлено техногенных оврагов, в последующем анализе подобные бассейны исключались из выборки.

Основным анализируемым показателем возможного влияния факторов техногенного оврагообразования в нашем случае

рассматривалась густота техногенных оврагов. Поскольку на каждый тип техногенных оврагов – придорожных, селитебных или промышленно-стоковых – возможно разное воздействие одних и тех же факторов, нами также проводился корреляционный и дисперсионный анализы влияния всех факторов на каждый тип техногенных оврагов отдельно в программе «STATISTICA 6.0» и «Microsoft Excel». Дисперсионный анализ предполагает наличие нормального или близкого к нормальному распределения данных и независимость их между собой. Применение дисперсионного анализа позволяет выявить влияние ряда отдельных факторов на результаты экспериментов. Сущность дисперсионного анализа заключается в расчленении общей дисперсии изучаемого признака на отдельные компоненты, обусловленные влиянием конкретных факторов, и проверке гипотез о значимости влияния этих факторов на исследуемый признак. Результаты проведенного дисперсионного анализа выявили превышение выборочного критерия Фишера над его критическим значением для всех факторов. Таким образом, подтверждается неслучайный характер связей между рассматриваемыми группами значений и с надежностью 0,95 принимается возможность влияния рассматриваемых факторов на показатель густоты техногенных оврагов.

Поскольку в большинстве случаев рассматриваемые зависимости не являются прямолинейными, а они чаще криволинейны, то наряду с обычным коэффициентом корреляции ( $r$ ) для основных факторов рассчитывался еще дополнительный показатель – корреляционное отношение ( $\eta$ ). Корреляционное отношение, в отличие от коэффициента корреляции, измеряет степень криволинейных и прямолинейных связей, оно всегда положительно и изменяется от 0 до 1 [Плохинский, 1970, Архипов и др., 1976].

Корреляционное отношение является универсальным показателем корреляционных связей, поэтому квадрат корреляционного отношения ( $\eta^2$ ) 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 величинами осуществлялась с помощью критерия Блекмана (B), который вычислялся по следующей зависимости [Лакин, 1990]:

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

где:  $N$  – величина выборки;  $\eta^2$  – 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 “ $B$ ” больше 11,37.

Тематические карты природно-геоморфологических факторов составлены нами в ГИС «ArcView 3.2a» по данным, подготовленным И.И. Рысиным [1998].

Данные по протяженности дорог, количеству и площади населенных пунктов для каждого элементарного бассейна получены с помощью ГИС «MapInfo v.7.8» путем наложения соответствующих оцифрованных слоев друг на друга.

## **3.2. Анализ природных факторов**

### ***3.2.1. Гидролого-климатические условия***

Поверхностный сток, определяющий влияние климатических условий на оврагообразование в целом, и, возможно, на техногенное в частности, напрямую зависит от количества осадков, температурного режима и свойств подстилающих почв и грунтов исследуемой территории. Весь объем поверхностного стока разделяется на сток половодный, формирующийся в период интенсивного снеготаяния весной, и паводочный (или ливневый) сток, формирующийся летом. Очевидно, что появление и развитие оврагов часто вызывается экстремальными расходами (например, ливнями разной интенсивности), однако оценка их воздействия на всей территории Удмуртии является очень сложной задачей.

На территории Удмуртии слой половодного стока изменяется от 25-30 мм на юго-востоке до 55-60 мм на севере. Слой паводочного стока в центральных районах Удмуртии составляет 5-6 мм, увеличиваясь на юго-западе до 7-8 мм и на северо-востоке до 9-10 мм. Данные показатели по всем элементарным бассейнам нами проанализированы по отношению к показателям густоты техногенных оврагов. В результате выявлено очень слабое влияние величины как половодного, так и паводочного стока на

густоту техногенных оврагов. Подобные результаты получены и при исключении из выборки безовражных бассейнов, что в принципе является более верным. В этом случае корреляция между густотой оврагов и половодным стоком практически отсутствует ( $r = 0,02$ ) (рис. 3.1), аналогично отсутствие влияния паводочного стока на оврагообразование ( $r = 0,11$ ) (рис. 3.2). Показатель корреляционного отношения несколько выше ( $\eta = 0,19$ ), но также незначителен. Если разделить всю выборку на типы оврагов, то максимальные значения коэффициента корреляции с половодным стоком составляют от  $-0,1$  для промышленно-стоковых оврагов до  $+0,1$  для селитебных. Результаты вполне логичны – дорожное полотно и насыпи часто не только концентрируют и усиливают половодный сток, но и наоборот, ослабляют, а на территории населенных пунктов сток перераспределяется и теряет силу разрушения. Связь паводочного стока со всеми типами техногенных оврагов также не выявлена.

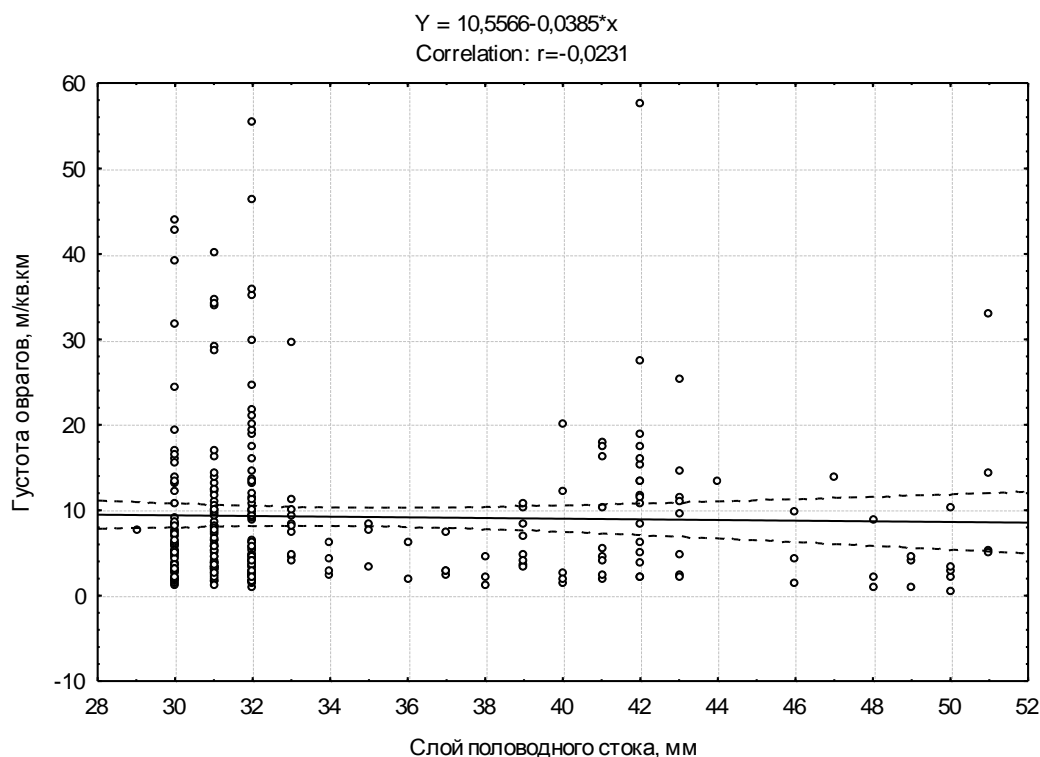


Рис. 3.1 Зависимость густоты сети техногенных оврагов от величины среднего слоя половодного стока

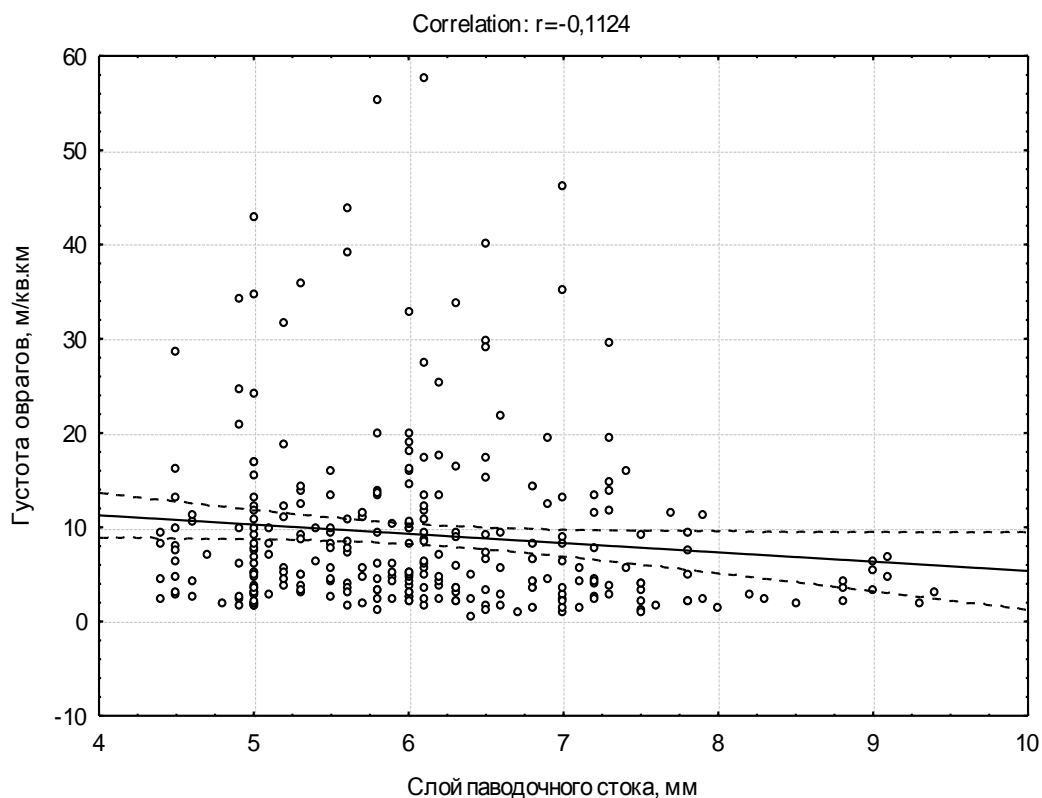


Рис. 3.2 Зависимость густоты сети техногенных оврагов от величины слоя паводочного стока

Уменьшение связи показателей стока с густотой отдельных типов техногенных оврагов по сравнению с общим показателем густоты свидетельствует, по нашему мнению, о некоторой условности деления техногенных оврагов по типам. Например, сложно выделить тип оврага, когда он находится в пределах населенного пункта, растет вдоль дорожной насыпи, в том числе и в результате сбросов промышленных вод с каких-либо предприятий. Также очевидно, что на рост оврагов, несомненно, некоторое влияние оказывают экстремальные ливни в летний период, что фактически подтверждается личными полевыми наблюдениями и многочисленными источниками. Полученные нами результаты в целом подтверждают полученный ранее И.И. Рысиным [1998] вывод о слабой связи рассматриваемых гидрометеорологических показателей, особенно показателей паводочного стока, с густотой овражной сети на территории Удмуртии. Образование и развитие как техногенных, так и агрогенных оврагов связано чаще всего с экстремальными проявлениями поверхностного стока в виде техногенных



аварий на трубопроводах, интенсивных ливней и максимальных расходов весеннего половодья.

В целом, руководствуясь данными проведенного статистического анализа, можно сделать вывод об очень слабом влиянии на распространение техногенных оврагов гидроклиматических условий. Показатели половодного и паводочного стока изменяются по территории УР зонально, а распространение техногенных оврагов в целом азонально.

### ***3.2.2. Геоморфологические условия***

Фактор рельефа играет немаловажную роль в формировании и развитии техногенного оврагообразования, поскольку непосредственно влияет на распределение поверхностного стока. К основным морфометрическим параметрам рельефа относят длину и крутизну склонов, глубины местных базисов эрозии. Уклоны склонов на исследуемой территории в целом незначительные; большинство склонов имеют уклоны от  $2^\circ$  до  $6^\circ$ .

Вертикальная расчлененность по элементарным бассейнам в целом достигает максимума на юго-востоке и постепенно уменьшается на северо-запад.

В нашей работе данные параметры анализировались по отношению к густоте техногенных оврагов. В результате некоторая связь ( $r = 0,16$ ) относительно других факторов была выявлена только с глубинами местных базисов эрозии при условии вовлечения в анализ и тех бассейнов, в которых отсутствуют техногенные овраги (рис. 3.3). Поскольку рассматриваемая связь имеет криволинейный характер ( $B = 18,1$ ), показатель корреляционного отношения оказался относительно высоким ( $\eta = 0,31$ ). Слабая криволинейная связь ( $B = 16,9$ ) зафиксирована между густотой техногенных оврагов и средними длинами склонов в пределах элементарного бассейна ( $\eta = 0,24$ ). Остальные показатели практически не влияют на густоту техногенных оврагов.

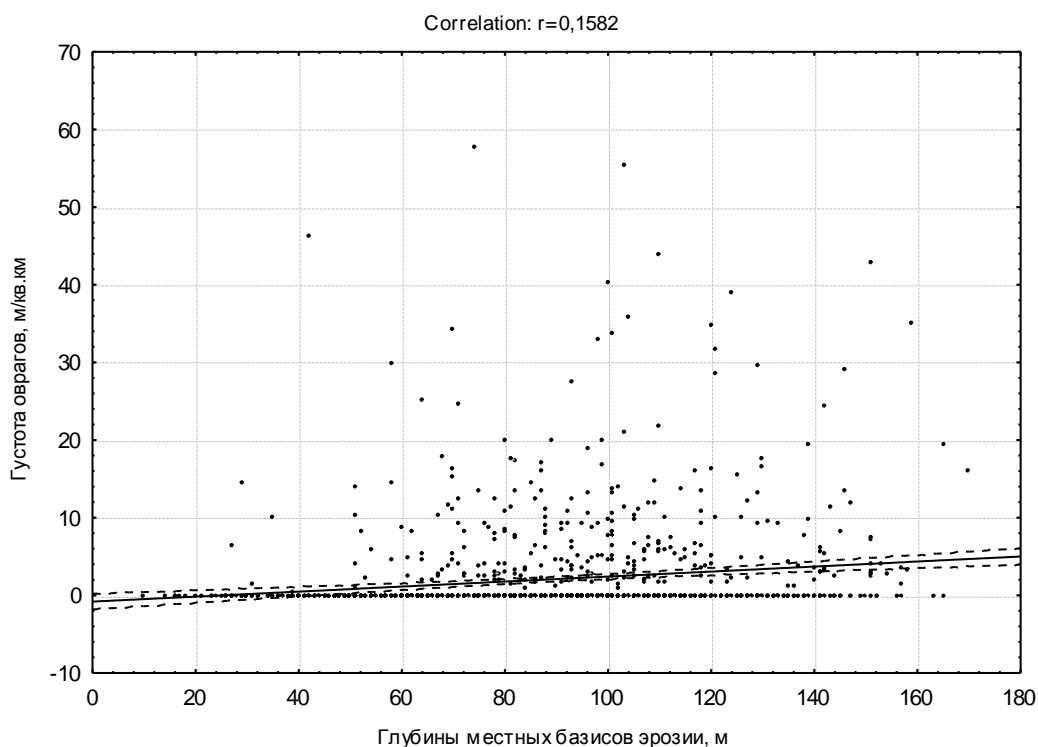


Рис. 3.3 Зависимость густоты сети техногенных оврагов от глубин местных базисов эрозии

Длина и уклоны склонов зависят друг от друга – чем круче склон, тем он короче и наоборот. Поэтому только их совместный учет может оказать некоторое влияние на густоту техногенных оврагов.

При исключении из выборки безовражных бассейнов и анализа по типам оврагов, результаты практически не изменились (рис. 3.4). Таким образом, геоморфологические условия всего элементарного бассейна на распространение техногенных оврагов влияния практически не оказывают. Для выявления связи развития каждого конкретного техногенного оврага с рельефом необходим индивидуальный анализ геоморфологических условий в каждом конкретном водосборном бассейне.

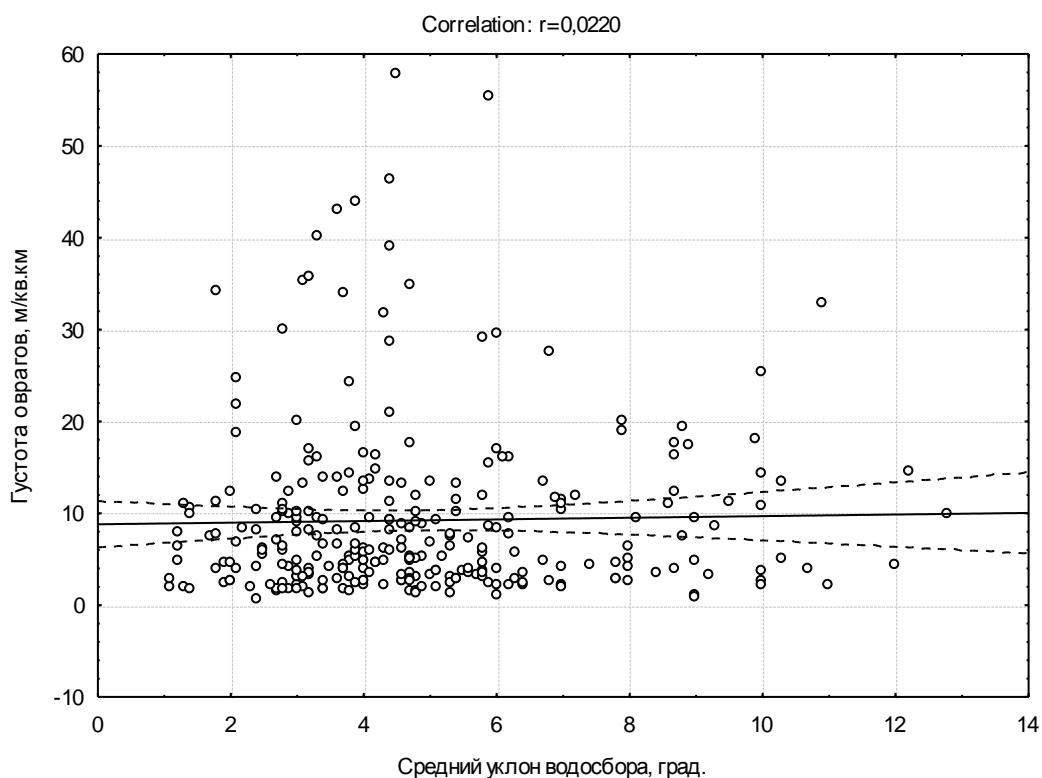


Рис. 3.4 Зависимость густоты сети техногенных оврагов от средних уклонов поверхности

### 3.2.3. Роль состава горных пород и почвенного покрова

Несомненно, способность горных пород и почв противостоять размыву является значительным фактором в процессе развития овражной эрозии, в том числе техногенной. Ранее была количественно подтверждена огромная роль легко размываемых делювиально-солифлюкционных суглинков в процессе оврагообразования на территории Удмуртии [Рысин, 1998]. Мощность делювиально-солифлюкционных суглинков достигает в южных районах 20 м и постепенно уменьшается к северу республики до 2-5 м.

Нами проведен анализ влияния фактора мощности данного типа отложений на густоту техногенных оврагов. В результате анализа выявлена лишь очень слабая корреляция (рис. 3.5), то есть густота техногенных оврагов на территории Удмуртии мало зависит от мощности легко размываемых делювиально-солифлюкционных суглинков. Анализ влияния данного фактора на каждый из типов техногенных оврагов также

крайне незначителен, кроме промышленно-стоковых оврагов ( $r = 0,17$ ). Связано это, на наш взгляд, с тем, что большинство оврагов данного типа находится в промышленно освоенной южной части Удмуртии. Поскольку мощность делювиально-солифлюкционных суглинков также возрастает к югу, то становится очевидной их некоторая связь.

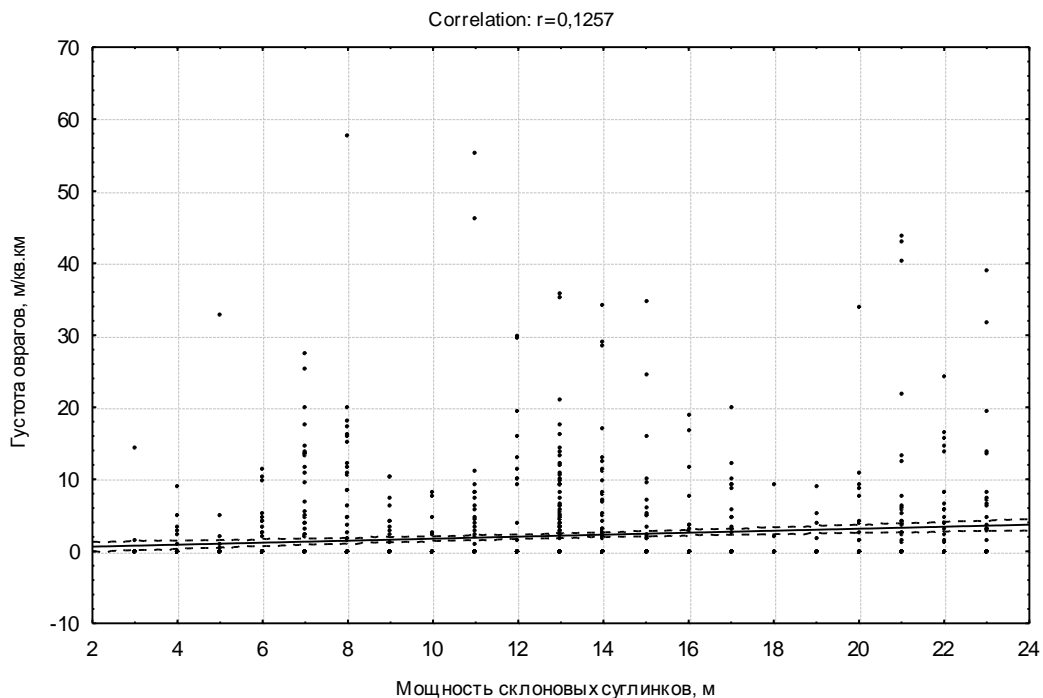


Рис. 3.5 Зависимость густоты сети техногенных оврагов от мощности склоновых делювиально-солифлюкционных суглинков

Исследования И.И. Рысина [1993] противозерозивной устойчивости почв по методике Г.В. Бастркова [1981, 1994] на территории Удмуртии выявили, что наибольшим сопротивлением к размыву обладают серые лесные и дерново-карбонатные почвы. Почвы подзолистого типа менее устойчивы к размыву. Почвы значительной части исследуемых элементарных бассейнов оказались с низкими значениями эрозионной прочности, выражаемой в «ньютонках», - 10-20 Н. Лишь незначительная часть бассейнов имеет данный показатель более 30 Н.

Анализ данного показателя также выявил слабую роль в густоте техногенных оврагов эрозионной прочности почв (рис. 3.6). Влияние этого фактора на различные типы оврагов также незначительна, включая связь с

промышленно-стоковыми оврагами ( $r = 0,14$ ). Причины этого объяснены нами ранее.

Таким образом, значение литологической составляющей в развитии сети техногенных оврагов оказалось довольно низким.

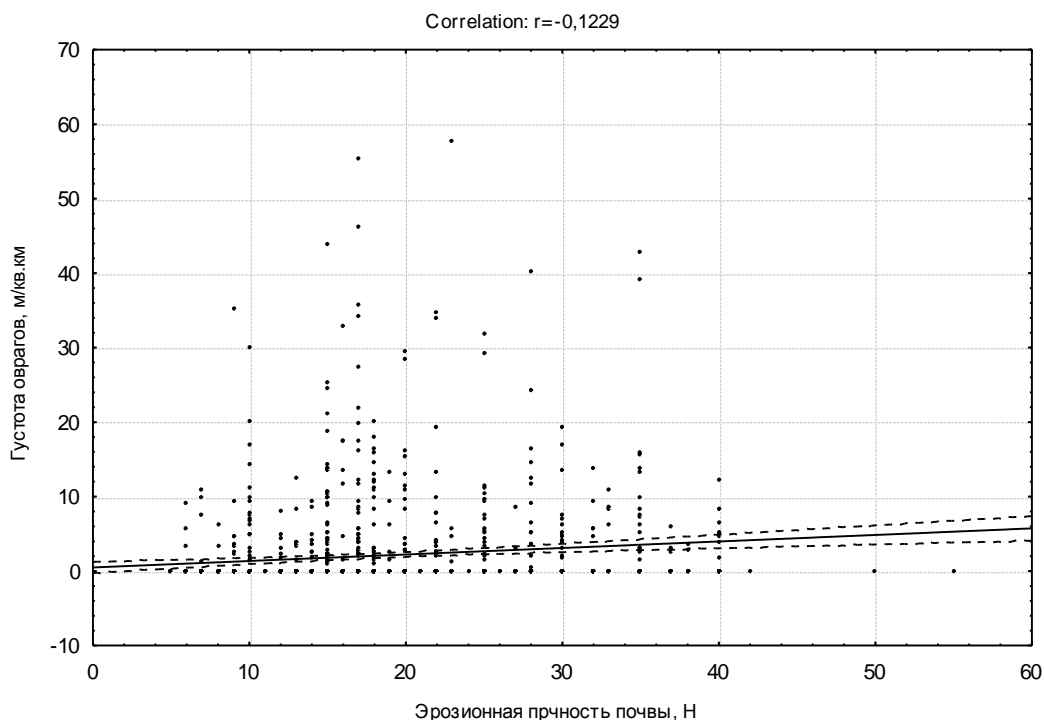


Рис. 3.6 Зависимость густоты сети техногенных оврагов от величины эрозионной прочности почвы

### 3.3. Анализ антропогенных факторов

1. Роль лесистости бассейнов. Общеизвестна роль растительности, особенно древесно-кустарниковой, как основного фактора сдерживания эрозионных процессов. Заключается это в хорошей водопроницаемости и влагоемкости лесной подстилки, уменьшающей разрушающую силу поверхностного стока. Наличие хорошо развитой корневой системы растений также препятствует интенсивному размыву.

Лесистость территории Удмуртской Республики на 2014 год составляет примерно 47% или 2065 тыс. га. Площадь лесов по районам отличается довольно значительно - от 7% в Каракулинском до 73% в Сюмсинском [О состоянии..., 2013]. И.И. Рысиным [1998] выявлена связь

между залесенностью и распаханностью территории, хорошо прослеживаемая по административным районам Удмуртской Республики. Так, по данным на 2013 год наибольшая площадь земель, занятых пашней находится в Сарапульском районе УР – 49%, показатель лесистости же один из самых низких в Удмуртии – 26%.

Напротив, в Сюмсинском районе УР наблюдается наибольший показатель лесистости – 73%, показатель распаханности один из самых низких – 13%. Таким образом, можно рассматривать лесистость территории как важный фактор воздействия на техногенное оврагообразование.

Сопоставление карт лесистости элементарных бассейнов и густоты техногенных оврагов по всем элементарным бассейнам показывает обратную зависимость ( $r = -0,23$ ). Корреляция после исключения безовражных бассейнов оказалась несколько ниже ( $r = -0,14$ ) (рис. 3.7). Корреляция показателя лесистости с различными типами оврагов оказалась незначительной – не более 0,14. Характер связи более прямолинейный ( $B = 8,5$ ). Величина корреляционного отношения также оказалась несущественной ( $\eta = 0,22$ ).

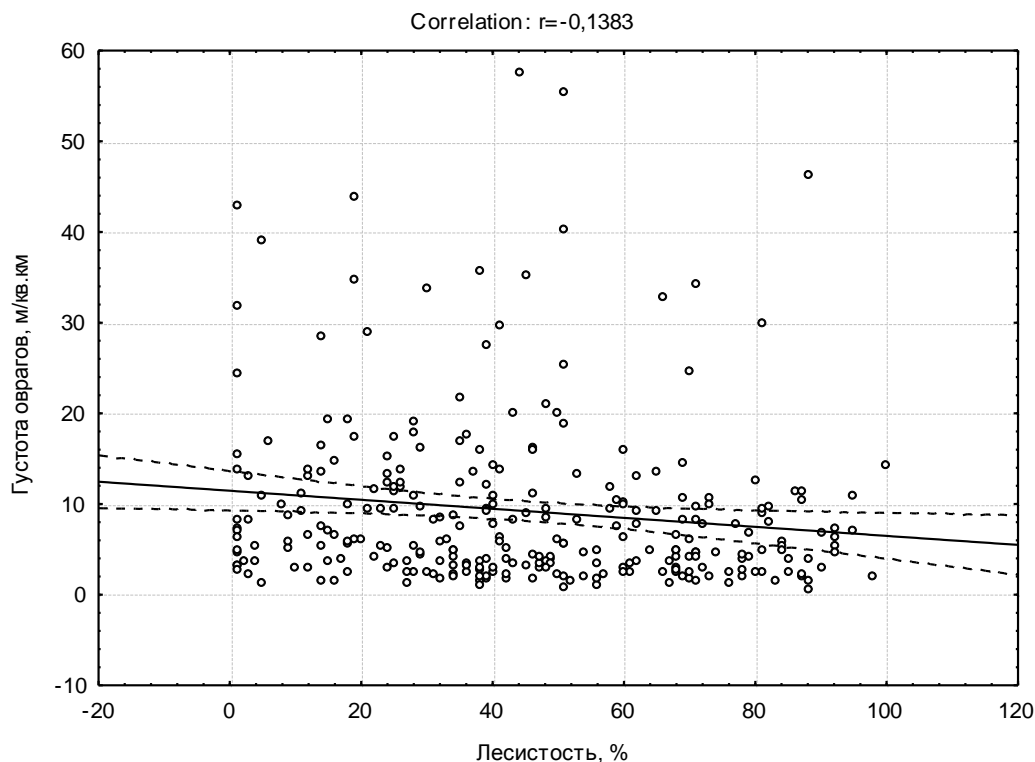


Рис. 3.7 Зависимость густоты сети техногенных оврагов от степени залесенности территории

Влияние данного фактора на густоту техногенных оврагов наибольшее среди рассмотренных нами выше природных факторов. Поскольку показатель современной лесистости в первую очередь зависит от антропогенной нагрузки на местность, то можно предположить, что рассмотренные нами ниже другие антропогенные факторы окажут более существенное влияние на густоту техногенных оврагов.

2. Густота дорог. Поскольку большая часть рассматриваемых нами техногенных оврагов относится к придорожным, очевидно, что густота дорожной сети должна некоторым образом влиять на их развитие. Протяженность автомобильных дорог общего пользования с твердым покрытием на территории Удмуртии на 2014 г. составляет 6226 км. Протяженность автомобильных дорог всех видов, в том числе и грунтовых, в пределах рассматриваемых нами элементарных бассейнов составила 7433 км. Дорожная сеть нами оцифрована по общедоступным топографическим картам Удмуртской Республики масштаба 1:100000. Максимальные значения (около 167 км), естественно, относятся к бассейнам, в состав которых входят города и районные центры. Повышенные значения также характерны для больших по площади бассейнов, включающих в себя, соответственно, и более протяженную дорожную сеть. В 12 небольших бассейнах, расположенных в основном в северной части Удмуртии, дорог не зафиксировано (рис. 3.8).

Тем не менее, несмотря на все видимые предпосылки, отчетливой прямолинейной связи густоты техногенных оврагов с густотой дорожной сети по всем заовраженным бассейнам в результате проведенного корреляционного анализа нами не выявлено. Зависимость получилась прямая –  $r = 0,10$ . Связь техногенных оврагов (с учетом всех элементарных бассейнов) с густотой дорожной сети несколько выше ( $r = 0,13$ ), но также невысока. Корреляция густоты дорог с густотой оврагов заовраженных бассейнов практически отсутствует (рис. 3.9). Критерий Блекмана показал отсутствие криволинейности для данной зависимости. Величина корреляционного отношения оказалась незначительной ( $\eta = 0,16$ ). Другие результаты получаются при анализе связи густоты только придорожных оврагов с густотой дорог. Прямая корреляция становится несколько выше ( $r = 0,20$ ).

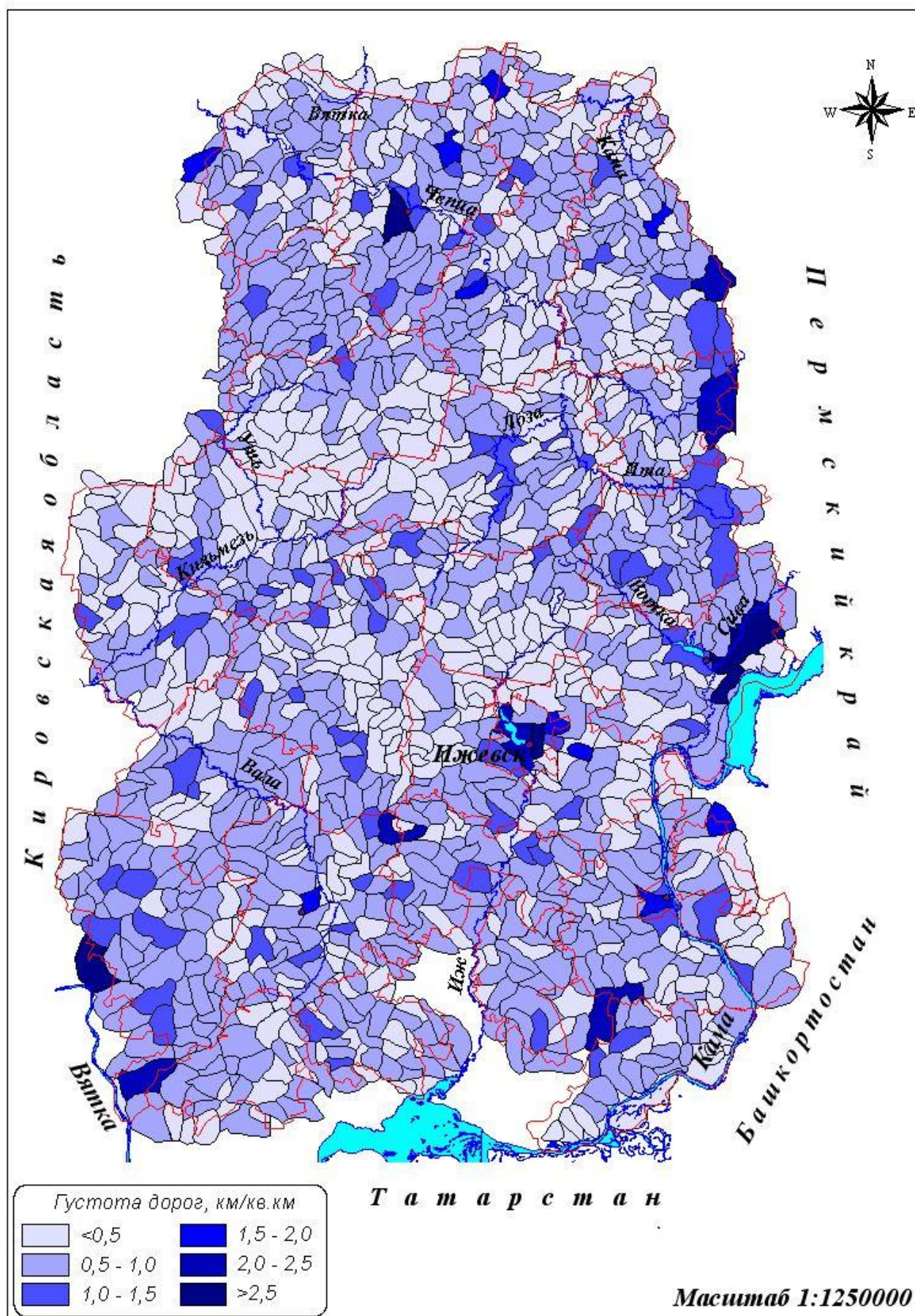


Рис. 3.8 Карта-схема густоты дорожной сети на территории Удмуртии



Зависимость в этом случае носит отчетливый криволинейный характер ( $B = 34,5$ ), что подтверждается и высоким значением корреляционного отношения ( $\eta=0,49$ ). Сила влияния рассматриваемого фактора на густоту придорожных оврагов достигает 24,4%.

Таким образом, явная зависимость распространения техногенных оврагов всех типов от густоты дорожной сети отсутствует. Возможной причиной полученных результатов является то, что не все дороги показываются на картах масштаба 1:200000, данные с которой учитывались в анализе. К таким дорогам относятся полевые грунтовые дороги, временно используемые в хозяйственных целях. Довольно часто техногенные овраги возникают в результате нарушения растительного покрова на крутых склонах по колеям, оставленным тяжелой техникой вдоль нефте- и газопроводов, линий электропередач. Установлена достаточно тесная зависимость густоты придорожных оврагов от густоты дорог, что вполне оправдывает наши предположения.

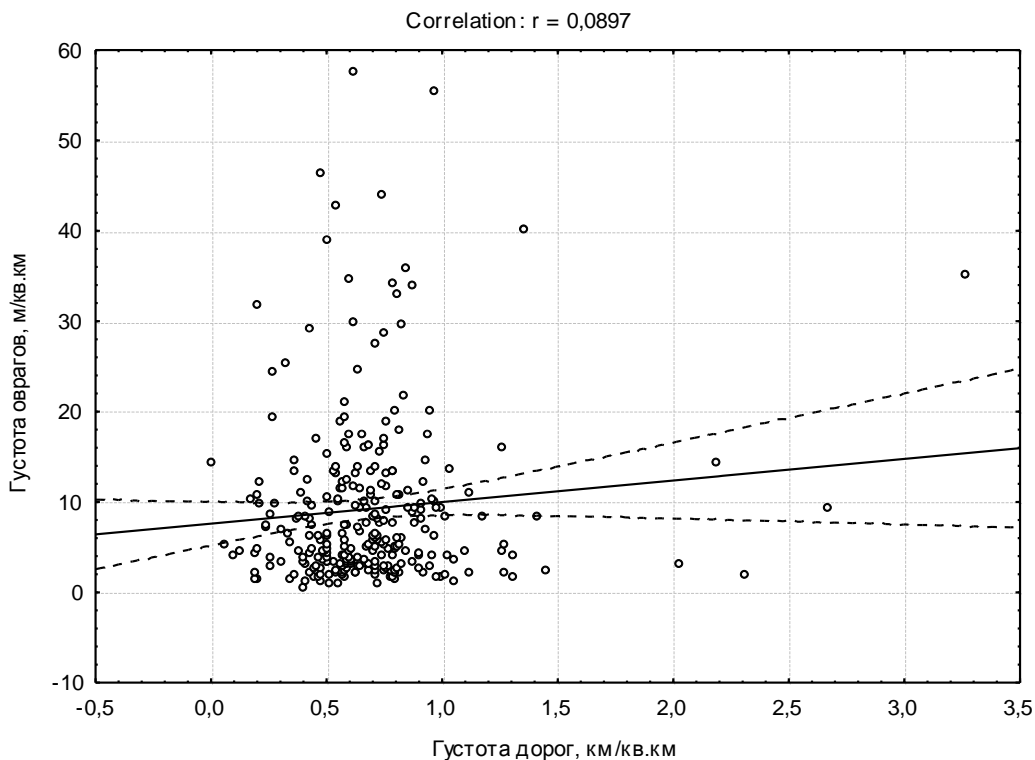


Рис. 3.9 Зависимость густоты техногенных оврагов от густоты дорожной сети

3. Площадь и количество населенных пунктов. Доказано, что с увеличением количества и площадей населенных пунктов увеличивается

площадь нарушенных земель [Ермолаев, 2002]. Соответственно, создаются предпосылки для активизации процессов техногенного оврагообразования. По данным А.Г. Рожкова [1981] имеется тесная связь между количеством оврагов и удаленностью их от населенных пунктов. Максимальное количество оврагов наблюдается в радиусе до 4-х км от населенного пункта. При дальнейшем удалении количество оврагов резко сокращается.

По данным на 2008 г. на территории Удмуртии насчитывалось 6 городов, 5 поселков городского типа и 2119 сельских населенных пунктов. Общая площадь земель населенных пунктов на 2013 г. составляет по данным Государственного доклада [О состоянии..., 2013] почти 203 тысячи га (2030 км<sup>2</sup>) или 4,8% территории республики, что несколько ниже показателя по всему Среднему Поволжью, приведенному О.П. Ермолаевым [2002]. Общая площадь селитебных территорий невелика, но в пределах отдельных элементарных бассейнов этот показатель может существенно возрастать.

Поскольку нами рассматриваются только те населенные пункты, которые были отражены на карте масштаба 1:200000, в силу некоторых искажений при оцифровке, а также не включении в данную категорию пригородных земель, общая площадь населенных пунктов по всем элементарным бассейнам в анализе составила 1301 км<sup>2</sup>. В каждом элементарном бассейне всего 0,4% всей площади в среднем занимают земли населенных пунктов. В 211 бассейнах из 1285 вообще нет населенных пунктов, в 950 доля площади земель поселений менее 1% от общей площади элементарного бассейна и только в 10 данный показатель превышает 5% (рис. 3.10). По заовраженным бассейнам площадь поселений всех типов составила чуть более 440 км<sup>2</sup>. В процентном соотношении на каждый элементарный бассейн приходится в среднем всего 0,8% земель поселений. При этом в 5 бассейнах не зафиксировано земель поселений, менее 1% приходится на 236 бассейнов из рассматриваемых 282 и в 5 бассейнах данный показатель превышает 5%.

Таким образом, на основе представленных цифр уже можно сделать предварительный вывод о возможно низком значении данного фактора для всех элементарных бассейнов.

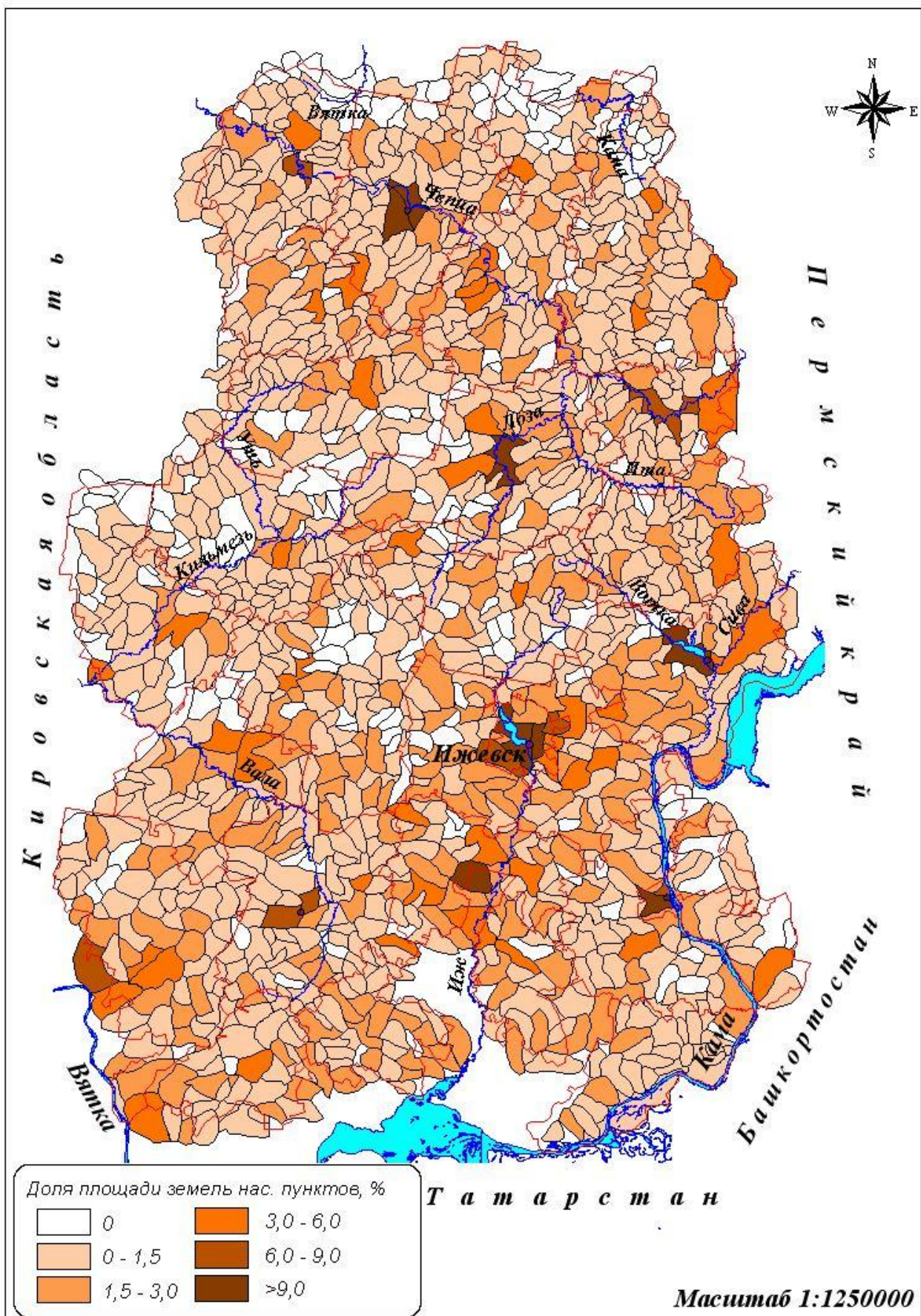


Рис. 3.10 Карта-схема долей площадей земель населенных пунктов в элементарном бассейне на территории Удмуртии

Проведение корреляционного анализа подтвердило верность данного тезиса – прямой связи между долями площадей земель поселений и густотой техногенных оврагов практически нет (рис. 3.11). Величина корреляционного отношения также незначительна ( $\eta = 0,23$ ).

Связано это, по нашему мнению, со значительным преобладанием сельских поселений с малыми площадями и минимальными показателями нарушенности земель. Анализ густоты техногенных оврагов селитебного типа показал их явную криволинейную зависимость от доли площадей населенных пунктов в элементарном бассейне ( $B = 35,2$ ). Корреляционное отношение тоже оказалось значительным ( $\eta = 0,53$ ). Сила влияния рассматриваемого фактора на густоту селитебных оврагов приближается к 30%.

Количество населенных пунктов по всем бассейнам составило 3487, что почти в 1,5 раза превышает количество поселений на территории Удмуртии. Связано это с тем, что один и тот же населенный пункт может быть на стыке нескольких элементарных бассейнов, соответственно он учитывается в статистике каждого из подобных бассейнов. Также причиной такого превышения численности является и то, что элементарные бассейны выходят за пределы административных границ Удмуртии и захватывают поселения сопредельных регионов. Показатель корреляции плотности населенных пунктов с густотой техногенных оврагов также оказался крайне низким ( $r=0,10$ ).

Таким образом, как и в случае с густотой дорожной сети, явная зависимость распространения техногенных оврагов всех типов от доли площади населенных пунктов в элементарном бассейне отсутствует. Однако установлена явная зависимость густоты селитебных оврагов от рассматриваемого фактора.

4. Плотность населения на территории Удмуртии. Средняя плотность населения на 2013 г. составляет 36 чел./км<sup>2</sup>. Более 65% населения проживает в городах. Плотность населения по 5 городам Удмуртии колеблется от 864 чел./км<sup>2</sup> в г.Воткинске до 1963 чел./км<sup>2</sup> в г.Ижевске. Плотность сельского населения по административным районам гораздо ниже – от 6,2 чел./км<sup>2</sup> в Красногорском районе до 28,8 чел./км<sup>2</sup> в Завьяловском районе. При сравнении данных показателей с густотой техногенных оврагов на территории Удмуртии выявляются некоторые

закономерности (рис. 3.12). Во-первых, в районах, с минимальной плотностью населения (до 10 чел./км<sup>2</sup>) наблюдается минимальная густота техногенных оврагов. Во-вторых, большая часть бассейнов с максимальными показателями густоты техногенных оврагов находится на территории районов со средними показателями плотности населения (от 10 до 20 чел./км<sup>2</sup>), а районы с максимальной плотностью населения не отличаются максимальными показателями густоты техногенных оврагов.

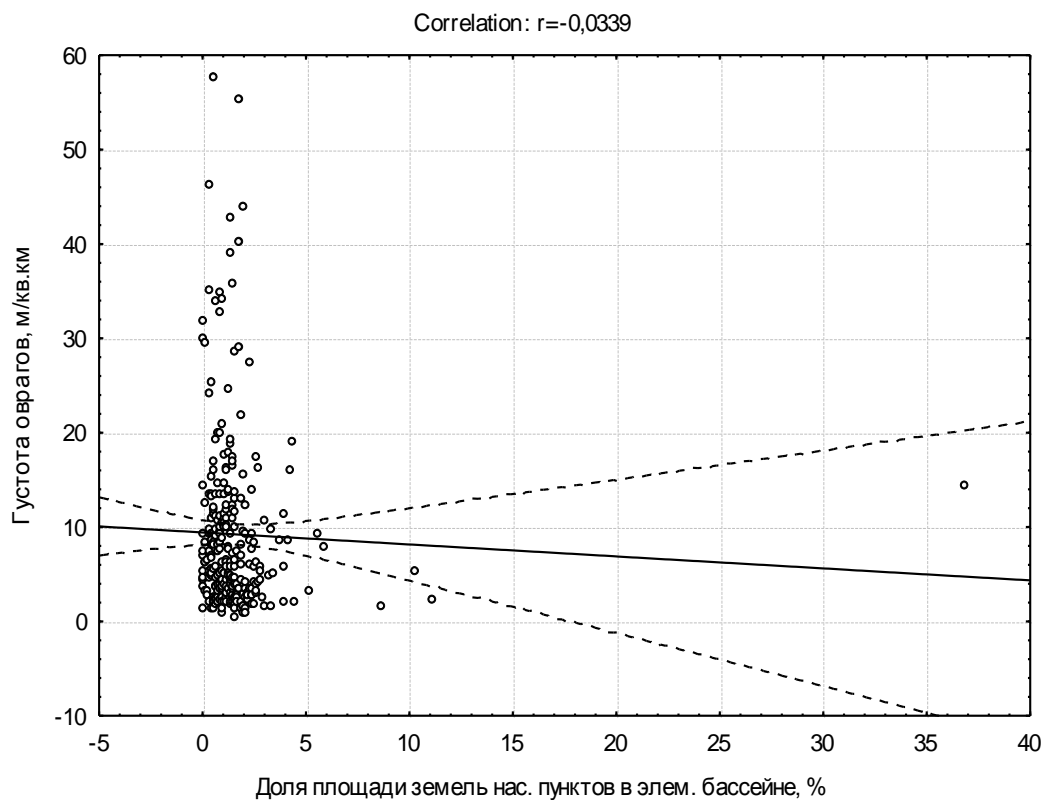


Рис. 3.11 Зависимость густоты сети техногенных оврагов от доли площади земель населенных пунктов в элементарном бассейне

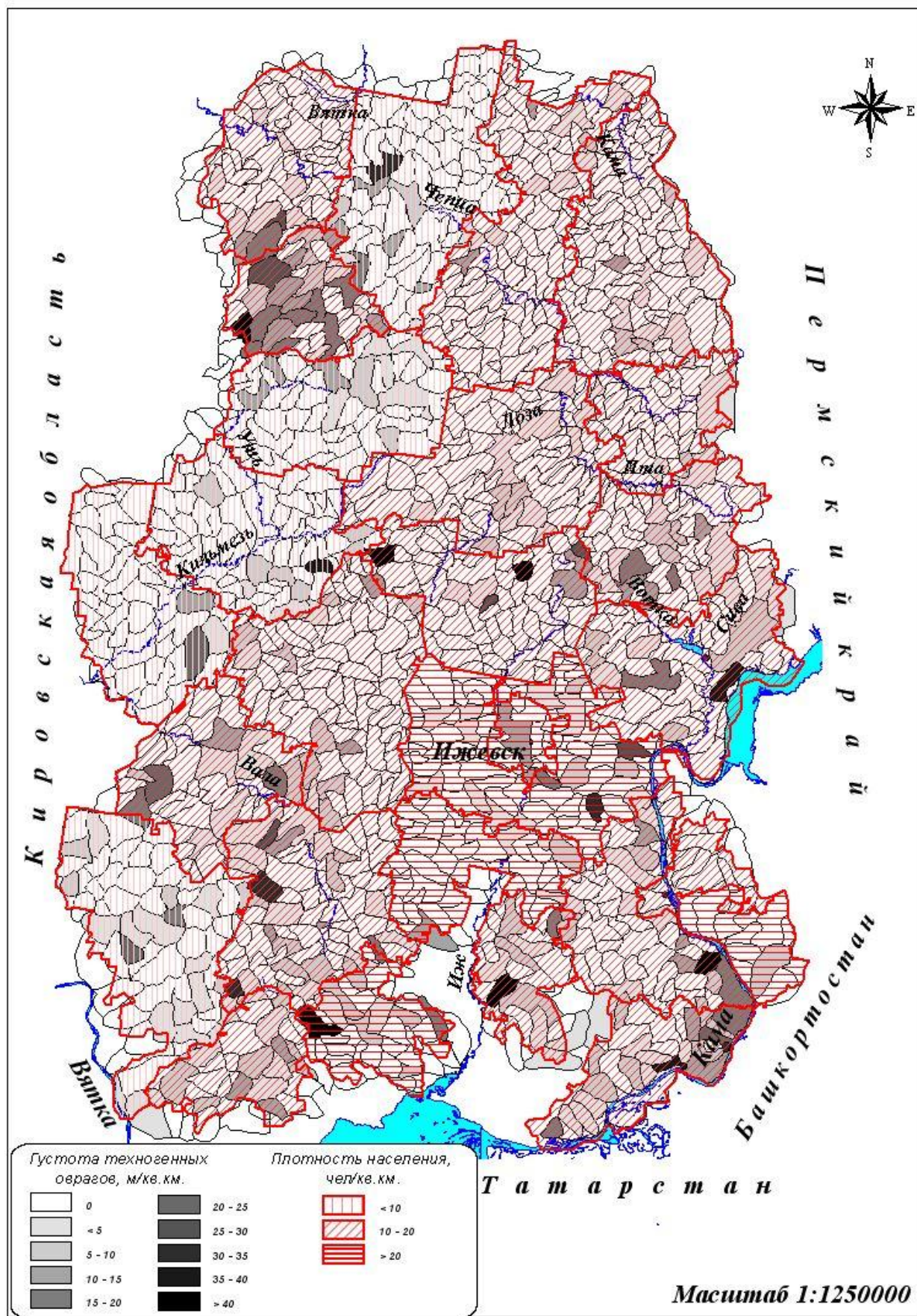


Рис.3.12 Карта-схема густоты техногенных оврагов и плотности населения (по административным районам) на территории УР

Полученные результаты характеризуют зависимость густоты техногенных оврагов от плотности населения довольно приблизительно. Проведение корреляционного анализа также не выявило тесной взаимосвязи между показателями ( $r = 0,16$ ). Это возможно связано с осредненными показателями плотности населения, взятыми для больших районов с достаточно условными административными границами, не отражающими природное районирование.

С целью получения более точных результатов для 53 из 287 бассейнов с максимальными (более 20 м/км<sup>2</sup>) и минимальными (менее 2 м/км<sup>2</sup>) показателями густоты техногенных оврагов нами подсчитана плотность проживающего на их территории населения. Средняя плотность населения для данных бассейнов составила 23,5 чел/км<sup>2</sup>, при этом диапазон показателей колеблется от 0,8 до 350 чел/км<sup>2</sup>. Четкой связи с густотой техногенных оврагов при этом также не выявлено ( $r = 0,2$ ).

Максимальная плотность (350 чел/км<sup>2</sup>) представлена в элементарном бассейне №669, охватывающем г. Можга и его пригороды. При этом, густота техногенных оврагов на территории этого бассейна составляет всего 1,7 м/км<sup>2</sup>.

Наоборот, на территории бассейна №447 в западной части Юкаменского района УР с максимальной густотой техногенных оврагов (57,7 м/км<sup>2</sup>) плотность населения довольно низкая – около 5 чел/км<sup>2</sup>. Показатель плотности населения достаточно вариабелен – при незначительной численности населения площадь района или населенного пункта может быть значительной (с развитой промышленностью) и наоборот.

При рассмотрении отдельных бассейнов с максимальными показателями густоты и плотности техногенных оврагов и их типов были выявлены некоторые особенности. Средний показатель залесенности 14 бассейнов, в которых густота техногенных оврагов превышает 30 м/км<sup>2</sup>, ниже среднего по Удмуртии – около 38%, причем в 4-х из них менее 10%. Средняя длина линий стока в данных 14 бассейнах также ниже – 580 м против 710 м в среднем по всем бассейнам. Средний показатель глубины местных базисов эрозии по этим бассейнам 105 м, что несколько выше среднего по республике (88 м). Выше среднего и густота дорожной сети – 0,9 км/км<sup>2</sup> против 0,6 км/км<sup>2</sup>. Несколько отличается картина при

рассмотрении бассейнов с максимальными показателями густоты различных типов техногенных оврагов. Так, в бассейнах, где средний показатель густоты придорожных оврагов более 30 м/км<sup>2</sup>, густота дорожной сети более чем в 2 раза (1,3 км/км<sup>2</sup>) выше аналогичного среднего показателя для всех остальных бассейнов. В бассейнах, где средний показатель густоты промышленно-стоковых оврагов более 20 м/км<sup>2</sup> (их всего 2), показатели залесенности менее 1% и глубины местных базисов эрозии - 135 м, что значительно выше средних значений по остальным бассейнам. Бассейны с максимальными значениями густоты селитебных оврагов не выделяются экстремальными значениями показателей.

Таким образом, техногенные овраги появляются чаще на относительно коротких, лишенных древесной растительности, склонах со значительными глубинами местных базисов эрозии. При этом наличие дороги, населенного пункта или промышленного предприятия на склоне значительно увеличивает возможность появления оврага.

Если рассматривать всю территорию Удмуртии, то между показателями густоты техногенных оврагов и факторами, как природными, так и антропогенными, имеющими некоторое влияние на их развитие, связь практически отсутствует.

Фактическое отсутствие корреляции густоты техногенных оврагов с гидроклиматическими факторами подтверждает аazonальный характер их распространения. Низкая роль влияния антропогенных факторов на всю совокупность техногенных оврагов связана, на наш взгляд, с целым рядом причин, в первую очередь, с их относительно редким распространением по территории. Так, показатель густоты более 20 м/км<sup>2</sup> зафиксирован только в 27 элементарных бассейнах из 1285. Тесная криволинейная связь установлена только для отдельных типов оврагов. Антропогенные факторы создают предпосылки для появления оврага, но появится ли он на этом месте, зависит от всей совокупности рассматриваемых нами факторов. Возможно, имеется связь с процентом нарушенных земель в элементарном бассейне, но получить данный показатель по всем бассейнам очень сложно.



## 4. ОЦЕНКА ДИНАМИКИ ТЕХНОГЕННОГО ОВРАГООБРАЗОВАНИЯ

### 4.1. Методика изучения динамики техногенного оврагообразования

Ощутимый ущерб, вызываемый оврагами, особенно динамично развивающимися, объясняет большой интерес к изучению особенностей развития овражной эрозии в условиях современных ландшафтов Удмуртии. Для правильного учета заовраженности территории, современной интенсивности и тенденции развития овражной сети, надежного прогноза возможного появления, распространения, интенсивности и пределов роста оврагов при том или ином хозяйственном использовании территории, в то же время с наименьшей затратой сил, средств и высокой эффективностью осуществленных мероприятий, необходимо изучать динамику овражной эрозии.

Составленные нами карты густоты и плотности техногенных оврагов показывают только их местоположение и количество по элементарным бассейнам на территории Удмуртии. Для оценки динамики эрозионных процессов и выявления факторов их развития, необходимо определение скоростей роста оврагов. Как известно, рост оврагов можно выразить различными показателями, но чаще всего используется линейный прирост вершины оврага в единицу времени – за год или за сезон. Эти данные можно получить двумя способами: 1) специальными полустационарными наблюдениями за оврагами; 2) сопоставлением разновременных крупномасштабных топографических планов или аэрофотоснимков.

Первый способ – специальные полустационарные наблюдения - используются в целях изучения механизмов оврагообразования и получения количественных характеристик их сезонного и ежегодного приростов. В 1978 году на кафедре географии Удмуртского государственного университета под руководством И.И.Рысина [1981] начались наблюдения за ростом оврагов на территории республики. В настоящее время наблюдениями охвачено 185 оврагов (159 агрогенных и 26 техногенных) на 39 ключевых участках, расположенных в разных районах Удмуртии (рис. 4.1).

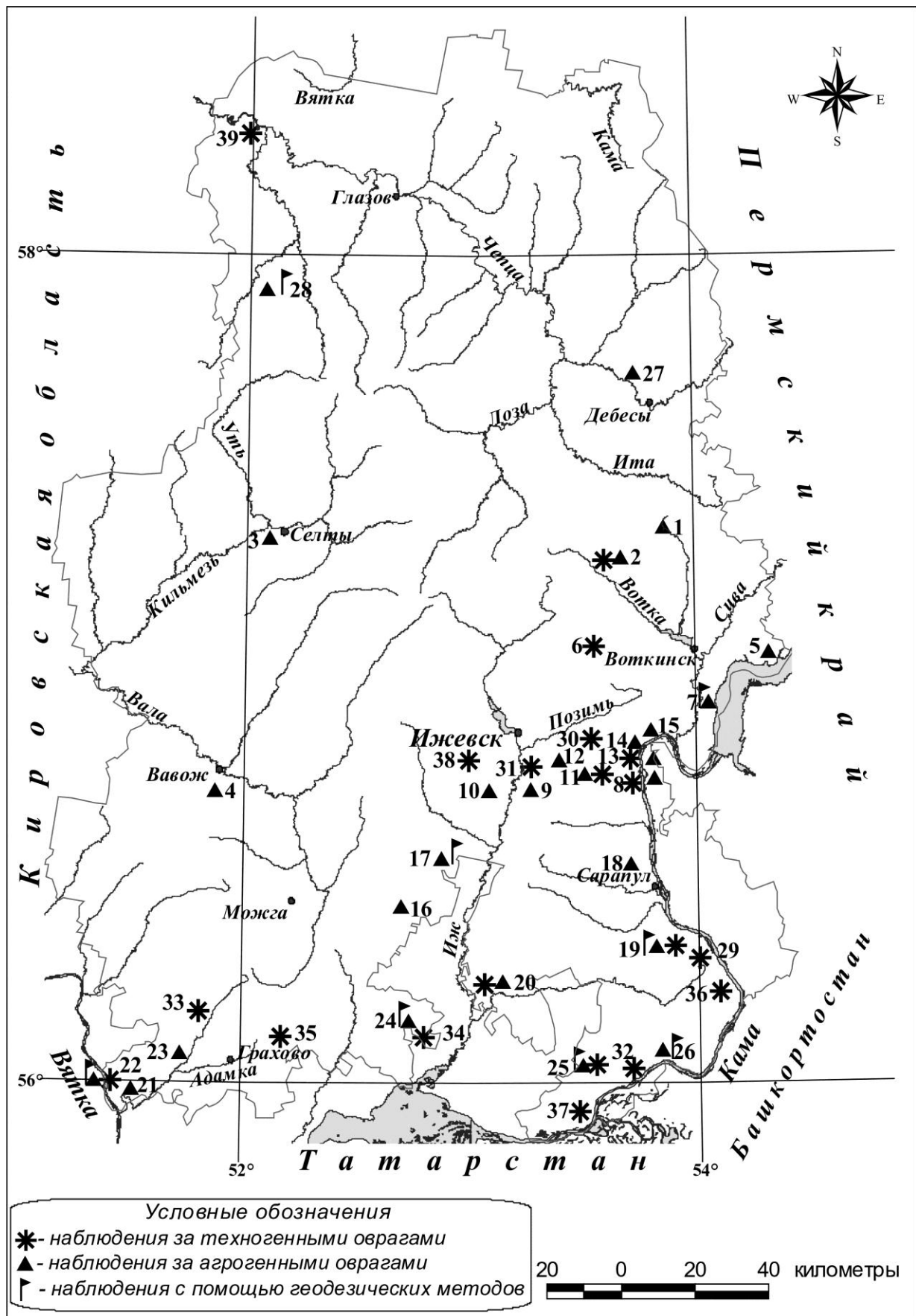


Рис. 4.1 Карта-схема расположения ключевых участков мониторинга техногенных и агрогенных оврагов в Удмуртии

На 7 ключевых участках имеются как агрогенные, так и техногенные овраги, большая часть участков (28 из 39) охватывается наблюдениями агрогенные овраги, на 11 ключевых участках ведутся исследования исключительно за техногенными оврагами. На большинстве ключевых участков (135 оврагов) наблюдения проводятся один раз в год (обычно в июле или августе), а на 14 ключевых участках (65 оврагов) измерения осуществляются дважды в год: в мае, после схода талых вод (до начала ливневых дождей) и в октябре или начале ноября, после окончания сезона летне-осенних ливней. С 1993 по 2001 г.г. на 11 оврагах, расположенных вблизи г. Ижевска проводились дополнительные наблюдения летом, после выпадения сильных ливней. Изучение оставшихся 10 оврагов (на 3-х участках) за указанный период осуществлялось эпизодически, через 1-2 года, после 2001 года наблюдения на них проводятся также ежегодно (рис. 4.2).

Наблюдениями охвачены различные морфологические типы как агрогенных, так и техногенных оврагов. Среди агрогенных оврагов преобладают первичные (58,5%), из них чуть меньше половины приводораздельных. Среди вторичных агрогенных оврагов преобладают вершинные (62,1%) [Рысин, 1998]. Структура типов техногенных оврагов несколько отличается. Доля первичных преобладает (65,4%), из них примерно равны доли придолинных и приводораздельных – 41% и 47%, соответственно (табл. 4.1). Среди вторичных техногенных оврагов преобладают вершинные (78%). Очень низка доля пойменных оврагов – по одному среди агрогенных и техногенных. Количество оврагов на стационарах колеблется от 1 до 16. Среди 26 наблюдаемых на ключевых участках техногенных оврагов преобладают придорожные овраги - 54%. Отличаются доли промышленно-стоковых и селитебных оврагов (табл. 4.2). Доля наблюдаемых на ключевых участках промышленно-стоковых оврагов выше и составляет 31%, а доля селитебных оврагов ниже – 15,0% (табл. 4.2). Связано это со сложностью долговременного наблюдения за оврагами на территории населенных пунктов.

Полевой метод трудоемкий, но он дает наиболее объективную информацию о состоянии оврагов. Основными достоинствами полевого метода являются высокая точность и возможность изучения динамики роста за любое время.

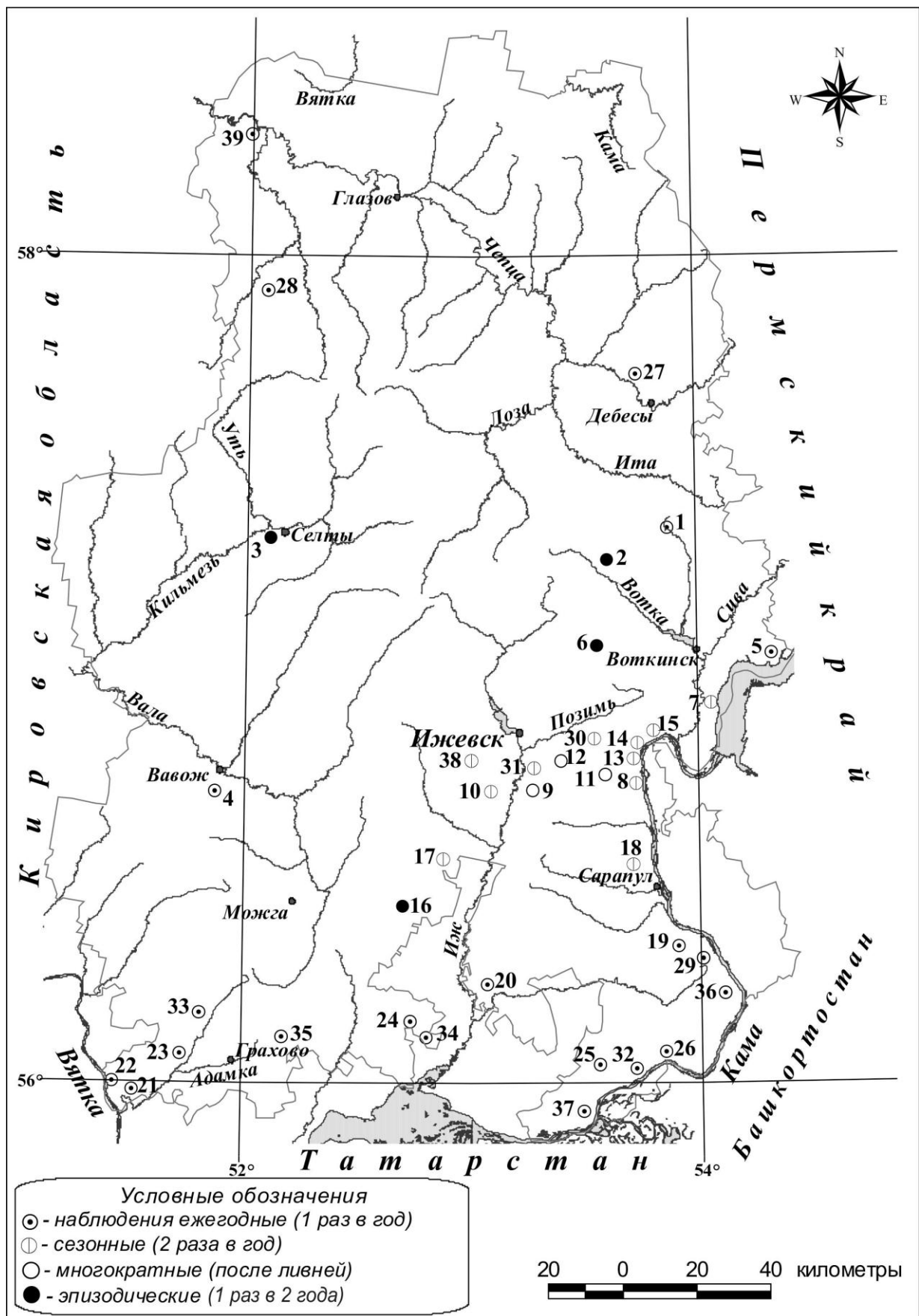


Рис. 4.2 Карта-схема расположения ключевых участков мониторинга оврагообразования в Удмуртии по периодичности наблюдений

Таблица 4.1

Соотношение различных морфологических типов техногенных оврагов по  
стационарам

Стационары	Количество оврагов					
	Первичные			вторичные		
	прибалочные	придолинные	приводо- раздельные	пойменные	донные	вершинные
1. Черная-Светлое	-	-	-	-	1	-
2. Макарово	-	1	-	-	-	-
3. Докша	-	1	-	-	-	-
4. Мазунино	-	-	-	-	-	1
5. Мушак	-	-	1	-	-	-
6. Крымская Слудка	-	-	3	-	-	-
7. Кулюшево	-	-	-	-	-	1
8. Соколовка	-	4	-	-	-	-
9. Гремиха	-	-	-	-	-	1
10. Забегалово	-	-	-	-	-	1
11. Быги	-	-	1	-	-	-
12. Медведево	2	-	-	-	-	-
13. Каракулино	-	1	-	-	-	-
14. Бемьж	-	-	1	-	-	-
15. Юмьяшур	-	-	-	1	-	-
16. Новогорское	-	-	1	-	-	-
17. Тарасово	-	-	-	-	-	1
18. Колесниково	-	-	1	-	-	-
19. Лудорвай	-	-	-	-	-	1
20. Бачумово	-	-	-	-	-	1
Итого:	2	7	8	1	1	7

Определение скорости роста оврагов производится путем измерения расстояния от вершины оврага до предварительно установленного репера. В качестве реперов используются специально маркированные деревья, растущие по линии роста оврагов или в его днище; железные стержни, длиной 0,8-1,2 м, диаметром 7-10 мм, вбитые в грунт выше вершины оврага на расстоянии 20-30 м; искусственные объекты (столбы различного назначения, строения и др.), реже – земляные маркеры, выкопанные в

плотной дернине в виде буквы «Г», длинной стороной показывающие направление на вершину оврага. Последние применяются на вновь появившихся отвершках, где нет естественных объектов, на следующий год земляные маркеры заменяются на железные стержни.

Рассчитывается среднегодовой прирост оврагов, который определяется как отношение суммарного прироста всех его растущих вершин с отвершками к количеству этих вершин [Рысин, 1988]. Скорость роста оврагов выражается в м/год с точностью до 0,01 метра. Результаты записываются в таблицу, и по этим данным рассчитывается среднее значение скорости роста оврагов для ключевого участка за год и за многолетний период (в данной работе, как указывалось выше, за все годы наблюдений, начиная с 1978 по 2016 год).

Таблица 4.2

Соотношение различных типов техногенных оврагов по происхождению

Стационары	Количество оврагов		
	придорожные	промышленно-стоковые	селитебные
1. Черная-Светлое	1	-	-
2. Макарово	1	-	-
3. Докша	1	-	-
4. Мазунино	1	-	-
5. Мушак	1	-	-
6. Крымская Слудка	-	-	3
7. Кулюшево	-	1	-
8. Соколовка	1	3	-
9. Гремиха	-	1	-
10. Забегалово	1	-	-
11. Быги	-	1	-
12. Медведево	1	1	-
13. Каракулино	-	1	-
14. Бемыж	1	-	-
15. Юмьяшур	1	-	-
16. Новогорское	1	-	-
17. Тарасово	1	-	-
18. Колесниково	-	-	1
19. Лудорвай	1	-	-
20. Бачумово	1	-	-
Итого:	14	8	4

В качестве наглядности слежения за экзогенными процессами, иногда проводится плановая тахеометрическая съемка привершинной части активно растущих оврагов, где отмечается ее ежегодный прирост.

Но средние показатели прироста оврагов в год дают слишком обобщенную характеристику интенсивности эрозионного процесса, они не позволяют вскрыть динамику процесса, рассмотреть его внутригодовые вариации. Поэтому в некоторых случаях нами проводятся сезонные наблюдения.

Зачастую, с момента образования до выработки профиля «равновесия» и залужения оврага проходит время, намного превышающее жизнь человека, и на каждой стадии своего развития рост оврага носит неравномерный, пульсационный характер [Бутаков Г.П. и др., 1987]. Для выявления характера развития оврага необходимо изучение его среднегодового прироста за интервал времени. Эти данные можно получить вторым способом – сопоставлением разновременных аэрофотоснимков. Для этого используются аэрофотоснимки масштабов 1:10000-30000 залетов 1959-1970 годов, а также аэрофототопопланшеты масштаба 1:10000 различных лет аэросъемок на территорию Удмуртии [Рысин, 1999]. Имеющиеся ряды наблюдений за оврагами, показывают, что основной прирост оврагов в длину и глубину происходит в первые 5 % времени и достигают 90% своего размера и 35% всего объема, при этом 70-80% годового прироста оврагов приходится на весенний период. И если за 100% принять весь период развития оврагов до выработки профиля «равновесия», то за 60% этого времени все параметры роста оврага почти полностью прекращаются, наступает стадия переотложения материала в самом овраге и его выполаживание [Эрозионные процессы, 1984].

Но средние показатели прироста оврагов в год дают слишком обобщенную характеристику интенсивности эрозионного процесса, они не позволяют вскрыть динамику процесса, рассмотреть его внутригодовые вариации. Поэтому в некоторых случаях нами проводятся сезонные наблюдения.

Зачастую, с момента образования до выработки профиля «равновесия» и залужения оврага проходит время, намного превышающее жизнь человека, и на каждой стадии своего развития рост оврага носит

неравномерный, пульсационный характер [Бутаков Г.П. и др., 1987]. Для выявления характера развития оврага необходимо изучение его среднегодового прироста за интервал времени. Эти данные можно получить вторым способом – сопоставлением разновременных аэрофотоснимков. Для этого используются аэрофотоснимки масштабов 1:10000-30000 залетов 1959-1970 годов, а также аэрофототопопланшеты масштаба 1:10000 различных лет аэросъемок на территорию Удмуртии [Рысин, 1999]. Имеющиеся ряды наблюдений за оврагами, показывают, что основной прирост оврагов в длину и глубину происходит в первые 5 % времени и достигают 90% своего размера и 35% всего объема, при этом 70-80% годового прироста оврагов приходится на весенний период. И если за 100% принять весь период развития оврагов до выработки профиля «равновесия», то за 60% этого времени все параметры роста оврага почти полностью прекращаются, наступает стадия переотложения материала в самом овраге и его выполаживание [Эрозионные процессы, 1984].

Неравномерный рост оврагов объясняется взаимообусловленными изменениями интенсивности эрозионного и склоновых процессов в ходе оврагообразования, связанные с неоднородностью первичной поверхности водосбора и ее изменениями самим растущим оврагом. Также, активизацию овражной эрозии может вызвать экстремальное воздействие тех факторов, которые оказывают на нее наибольшее воздействие. Хозяйственная деятельность человека многократно усиливает действие многочисленных факторов оврагообразования. Особенно ярко подобная неравномерность развития наблюдается среди техногенных оврагов.

#### **4.2. Территориальный анализ скоростей роста техногенных оврагов**

На территориальные особенности интенсивности роста оврагов влияют многие факторы – состав пород, климат, почвенно-растительный покров, но в первую очередь, геоморфологические и антропогенные условия (как указывалось выше). Исходя из сочетаний вышеперечисленных факторов, можно наблюдать и различные величины прироста оврагов, как агрогенных, так и техногенных (табл. 4.3).



Максимальные среднегодовые скорости роста наблюдаются у придорожных оврагов – 11,2 м/год. Существенная разница с показателями среднегодовых скоростей промышленно-стоковых и селитебных оврагов имеется, даже если не учитывать катастрофичный средний прирост оврага у нефтебазы с. Тарасово – 85,0 м/год (максимальный прирост в 2011 г. – 204 м). Без учета среднегодовой скорости роста этого оврага скорость роста придорожных оврагов уменьшится до 4,5 м/год.

По скорости роста овраги можно подразделить на 4 основные группы:

1. Слабо растущие (<0,5 м/год);
2. Умеренно растущие (0,5-2,0 м/год);
3. Интенсивно растущие (2,0-10 м/год);
4. Катастрофично растущие (>10 м/год).

Среди наблюдаемых техногенных оврагов к группе слаборастущих относятся овраги ключевых участков «Забегалово», «Быги», «Мазунино» и «Соколовка». Расположены они в районах с высокой эрозионной устойчивостью (правобережье р. Камы) и находятся на 3 стадии развития, чем и объясняется их незначительный среднегодовой прирост. Овраг на ключевом участке «Быги» несколько лет назад оказался засыпан и прекратил активный рост. Часть оврагов на ключевом участке «Соколовка» имеет противоэрозионное укрепление в виде бетонных лотков, препятствующих размыванию (рис. 4.3). Тем не менее, сила стока поверхностных вод разрушает даже бетонные лотки.

Ко второй группе – умеренно растущие - относится большинство анализируемых техногенных оврагов в Удмуртии. Это овраги ключевых участков «Черная-Светлое», «Макарово», «Докша», «Крымская Слудка», «Кулюшево», «Гремиха», «Каракулино» и «Колесниково». Относительно невысокой скорости их роста способствует наличие трудно размываемых пород («Кулюшево», «Забегалово», «Каракулино» и «Колесниково»). Большое значение имеет и строительство противоэрозионных сооружений, способствующее регулированию стока («Крымская Слудка» и «Гремиха»). К тому же, в отличие от сельскохозяйственных оврагов, при относительно небольших скоростях роста, относящиеся к данной группе техногенные овраги находятся на различных стадиях развития, что подтверждает высказанный нами выше тезис о возможном преобладании

влияния на прирост рассматриваемых оврагов технических мероприятий и промышленных сооружений. Так, например, среднегодовой прирост промышленно-стокового оврага на ключевом участке «Каракулино» за последние 7 лет составил 1,25 м, что довольно значительно для развития в трудноразмываемых глинистых породах с прослоями еще более плотных известняков и мергелей (рис. 4.4).

Таблица 4.3

Средние скорости роста генетических типов техногенных оврагов по данным полустационарных наблюдений за многолетний период

Ключевые участки	Период наблюдений, годы	Кол-во оврагов	Средние скорости роста, м/год			
			придорожные	промышленно-стоковые	селитеб-ные	по всем
1. Черная-Светлое	1978-2016	1	0,78	-	-	0,78
2. Макарово	1983-2016	1	1,97	-	-	1,97
3. Докша	1978-2016	1	0,6	-	-	0,6
4. Мазунино	1978-2016	1	0,48	-	-	0,48
5. Мушак	1978-2016	1	17,75	-	-	17,75
6. Крым. Слудка	1978-2016	3	-	-	0,89	0,89
7. Кулюшево	1978-2016	1	-	0,91	-	0,91
8. Соколовка	2003-2016	4	0,66	0,17	-	0,29
9. Гремиха	2004-2016	1	-	1,38	-	1,38
10. Забегалово	2004-2016	1	0,48	-	-	0,48
11. Быги	2004-2016	1	-	0,11	-	0,11
12. Медведево	2004-2016	2	1,98	2,92	-	2,45
13. Каракулино	2007-2016	1	-	0,98	-	0,98
14. Бемыж	2008-2016	1	3,51	-	-	3,51
15. Юмьяшур	2008-2016	1	10,06	-	-	10,06
16. Новогорское	2009-2016	1	3,68	-	-	3,68
17. Тарасово	2011-2016	1	47,6	-	-	47,6
18. Колесниково	2014-2016	1	-	-	1,7	1,7
19. Лудорвай	2014-2016	1	3,27	-	-	3,27
20. Бачумово	2014-2016	1	28,8	-	-	28,8
Итого:		26	8,69	0,85	1,1	5,11

Среди техногенных оврагов, к группе интенсивно растущих относятся овраги ключевых участков «Медведево», «Бемыж», «Новогорское» и «Лудорвай».



Рис. 4.3 Разрушение бетонного лотка придорожным оврагом ниже водопропуска на ключевом участке «Соколовка»



Рис. 4.4 Умеренно растущий овраг ключевого участка «Каракулино»

Среднегодовым приростом в 3,51 метра за 8 лет наблюдений придорожный кюветный овраг, развивающийся в легко размываемых делювиально-солифлюкционных суглинках у с. Бемыж Кизнерского района, обязан, помимо влияния фактора горных пород также и расположению в кювете вдоль автомобильной дороги, концентрирующей сток поверхностных вод. Расположенный в аналогичных условиях придорожный кюветный овраг у с. Новогорское Граховского района Удмуртской Республики показал среднегодовой прирост 5,3 м за 5 лет наблюдений. Средняя скорость роста придорожного оврага ниже водопропуска у д. Лудорвай Завьяловского района составила за 3 года наблюдений 3,27 м/год, что связано, в первую очередь, с концентрацией стока водопропускным устройством на объездной автомагистрали.

Промышленно-стоковый овраг на стационаре «Медведево» за 10 лет наблюдений трижды засыпался – в 2009, 2012 и 2015 г.г. в связи с тем, что он начал угрожать функционированию проходящих рядом трубопроводов, площадке нефтедобычи и автомобильной дороге (рис. 4.5). Средний многолетний прирост его между тем составил 2,9 м (рис. 4.6).



Рис. 4.5 Ликвидация активно растущего оврага путем засыпания грунтом на ключевом участке «Медведево» в 2009 г.



Рис. 4.6 Промыленно-стоковый овраг на ключевом участке «Медведево» в мае 2017 года

Все техногенные овраги, относящиеся к третьей группе, развиваются в легкоразмываемых горных породах. Однако основной причиной столь интенсивного роста является наличие техногенных объектов в непосредственной близости от оврагов.

Катастрофичными темпами роста в разное время отличились овраги на ключевых участках «Мушак», «Тарасово», «Юмьяшур» и «Бачумово».

Рекордсменом в данной группе являлся до последнего времени приводораздельный овраг, развивающийся в делювивиально-солифлюкционных лессовидных суглинках в 0,5 км восточнее с. Мушак Киясовского района. Его средняя скорость за 39-летний период развития составила 17,7 м/год.

Столь катастрофичный рост вызван, прежде всего, строительством автомобильной дороги, изменившей направление стока талых и дождевых вод. Развиваясь, овраг вскрыл водоносный горизонт и на его дне образовался постоянный водоток. В настоящее время рост его вершины сдерживает корневая система древесно-кустарниковой растительности придорожной лесополосы и поэтому прироста не наблюдалось до 2012 г., когда был зафиксирован резкий прирост 9,9 м. Поэтому наблюдение за оврагом продолжается, поскольку его развитие продолжается за счет роста вершины вдоль дорожной насыпи и появления новых отвершков.

Столь катастрофичный рост вызван, прежде всего, строительством автомобильной дороги, изменившей направление стока талых и дождевых вод. Развиваясь, овраг вскрыл водоносный горизонт и на его дне образовался постоянный водоток. В настоящее время рост его вершины сдерживает корневая система древесно-кустарниковой растительности придорожной лесополосы и поэтому прироста не наблюдалось до 2012 г., когда был зафиксирован резкий прирост 9,9 м. Поэтому наблюдение за оврагом продолжается, поскольку его развитие продолжается за счет роста вершины вдоль дорожной насыпи и появления новых отвершков.

В настоящее время наиболее интенсивный прирост показал придорожный овраг ниже водопропускного сооружения, расположенный вблизи с. Тарасово у нефтебазы в Сарапульском районе УР. Наблюдения за ним начались в 2011 году, когда на месте обычной лощины весной вырос овраг длиной 204 м, ширина его в устьевой части изменялась в пределах от 5-6 до 10-12 м, а глубина достигала 3-4 м. Вершина оврага заканчивалась у бетонного водопропуска, сооруженного на асфальтированном шоссе Сарапул – Каракулино. Насыпь автодороги высотой около 2 м создает искусственно созданный водосбор площадью около 100 га. В пределах водосбора находились и добывающие нефть скважины и буровые, окруженные пахотными угодьями. Вероятнее всего, весной 2011 года произошла залповая утечка закачиваемых в скважины вод и нефти, которые вместе с талыми водами обеспечили возникновение оврага. Возможно, что утечка нефти произошла вследствие порыва трубопроводов, вскрытых оврагом (рис.4.7). Следы нефти отчетливо сохранялись в днище и на стенках оврага вплоть до лета 2012 года, а в июле 2013 года следов нефти в овраге обнаружено не было. В настоящее время развитие оврага продолжается за счет размывания вновь насыпаемых грунтов при его вершине. Средняя многолетняя скорость ее роста за 2011 - 2016 годы составила 47,6 м/год.



Рис. 4.7 Последствия катастрофического роста придорожного оврага ниже водопропуска весной 2011 г. на ключевом участке «Тарасово»

Огромный прирост показал и пойменный овраг, развивающийся в пойме р. Варзинка около д. Юмьяшур Алнашского района. За 2008 год его прирост составил 38 метров. Связано это с постройкой выше по склону дамбы грунтовой дороги, перекрывшей поверхностный сток (рис. 4.8).

После весеннего снеготаяния и ливневых дождей происходило накопление водной массы, которая, переливаясь периодически через дамбу или прорывая ее, способствовала быстрому росту нижележащего оврага, развивающегося в легкоразмываемом пойменном аллювии. В 2009 году под дорогой была проложена труба, препятствующая неконтролируемому стоку дождевых и талых вод, но способствующая в свою очередь концентрации стока, что вызвало прирост оврага в 2010 г. «всего лишь» на 13,5 м. В 2011 г. вершина оврага была завалена коммунальными бытовыми отходами (КБО), что несколько притормозило его рост. Среднегодовой прирост за последние 8 лет наблюдений составил 10,1 м.



Рис. 4.8. Перекрытие насыпью грунтовой дороги поверхностного стока из лощины - причина возникновения пойменного оврага у д. Юмьяшур Алнашского района УР

Некоторые различия в скоростях прироста имеются как среди первичных (прибалочных, придолинных и приводораздельных), так и среди вторичных (донных, вершинных и пойменных) техногенных оврагов. Абсолютные цифры прироста техногенных оврагов на порядок выше аналогичных агрогенных. Разброс средних многолетних скоростей огромен как среди первичных, так и среди вторичных техногенных оврагов (табл. 4.4).

Так, минимальный прирост среди первичных техногенных оврагов на ключевом участке «Соколовка» в Сарапульском районе составил 0,29 м/год, а максимальный прирост на ключевом участке «Мушак» в Киясовском районе составил 17,75 м/год. Минимальный прирост среди вторичных техногенных оврагов зафиксирован на ключевых участках «Забегалово» в Завьяловском районе и «Мазунино» в Сарапульском районе - 0,48 м/год, максимальный прирост на ключевом участке «Тарасово» в Сарапульском районе составил 47,6 м/год. Среднегодовые показатели прироста вторичных техногенных оврагов (14,6 м/год) выше, чем у первичных (2,7 м/год), что аналогично показателям прироста



первичных и вторичных агрогенных оврагов. Главной причиной столь значительных приростов техногенных оврагов является совокупное влияние многих факторов – состава размываемых горных пород, гидрометеорологических, геоморфологических и, что наиболее существенно, антропогенного фактора в виде технических сооружений, напрямую влияющих на перераспределение поверхностного стока.

Таблица 4.4

Средние скорости роста морфологических типов техногенных оврагов по данным стационарных наблюдений за многолетний период

Ключевые участки	Период наблюдений, годы	Кол-во оврагов	Сред. скорости роста, м/год		
			первичные	вторичные	по всем
1. Черная-Светлое	1978-2016	1	-	0,78	0,78
2. Макарово	1983-2016	1	1,97	-	1,97
3. Докша	1978-2016	1	0,6	-	0,6
4. Мазунино	1978-2016	1	-	0,48	0,48
5. Мушак	1978-2016	1	17,75	-	17,75
6. Крымская Слудка	1978-2016	3	0,89	-	0,89
7. Кулюшево	1978-2016	1	-	0,91	0,91
8. Соколовка	2003-2016	4	0,29	-	0,29
9. Гремиха	2004-2016	1	-	1,38	1,38
10. Забегалово	2004-2016	1	-	0,48	0,48
11. Быги	2004-2016	1	0,11	-	0,11
12. Медведево	2004-2016	2	2,45	-	2,45
13. Каракулино	2007-2016	1	0,98	-	0,98
14. Бемыж	2008-2016	1	3,51	-	3,51
15. Юмьяшур	2008-2016	1	-	10,06	10,06
16. Новогорское	2009-2016	1	3,68	-	3,68
17. Тарасово	2011-2016	1	-	47,6	47,6
18. Колесниково	2014-2016	1	1,7	-	1,7
19. Лудорвай	2014-2016	1	-	3,27	3,27
20. Бачумово	2014-2016	1	-	28,8	28,8
Итого:		26	2,3	10,4	5,11

Необходимо отметить, что в 2016 году на 6 техногенных оврагах из 26 прироста вообще не наблюдалось. И эта цифра каждый год меняется. В годы с экстремальными условиями поверхностного стока даже ныне

зарастающие овраги могут возобновить свой рост, поэтому за ними продолжается наблюдение.

В целом, 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 среднегодового прироста.

### **4.3. Временной анализ интенсивности техногенного оврагообразования**

#### ***4.3.1. Стадийность развития оврагов***

Стадии развития оврагов впервые 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]. Выделение дополнительной стадии, по мнению И.И. Рысина [1998], следует применять лишь для южных регионов Восточно-европейской равнины, где продолжительность существования оврагов превышает 150-200 и более лет [Овражная эрозия..., 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.

Техногенные овраги обычно сразу достигают второй стадии развития, поскольку образование их чаще всего происходит в экстремальных условиях на нарушенных деятельностью человека землях (рис. 4.9).



Рис. 4.9. Овраг в стадии активного роста у д. Юмьяшур Алнашского района УР

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 оврага в средней и нижней части начинают закрепляться травянистой растительностью, на днище в зонах аккумуляции появляются кустарники и деревья (рис. 4.10). Это наиболее длительный период спокойного развития, занимающий около 60-70% общего времени оврагообразования.



Рис. 4.10 Овраг в стадии стабилизации у с. Соколовка Сарапульского района УР

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. Участки размыва обычно встречаются на склонах, где продолжают 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 для техногенных оврагов часто искусственно укорачивается проведением различных мероприятий на водосборе растущего оврага (противоэрозионные, сооружения дорожной насыпи, засыпание 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, а овраг переходит в другой генетический тип – современный лог или логовину.

Рассмотренные формы эрозионного рельефа создавались работой временных водотоков в процессе их длительной эволюции на общем фоне изменений климато-ландшафтных условий и деятельности человека. Стадии развития, в целом, являются общими для всех оврагов, но для каждого генетического типа имеются свои отличия. Эти особенности усиливают или ослабляют интенсивность роста оврагов на каждой стадии. Антропогенный фактор в появлении и развитии оврагов в последние годы приобретает все большее значение. Развитие овражной эрозии на сельскохозяйственных и техногенных ландшафтах отличается от развития оврагов в сугубо естественных условиях. Вместе с тем имеются несомненные отличия в происхождении и развитии агрогенных и техногенных оврагов.

#### ***4.3.2. Закономерности развития техногенных оврагов во времени***

Средние показатели прироста оврагов за год дают слишком обобщенную характеристику интенсивности эрозионного процесса (как указывалось выше), они не позволяют вскрыть динамику процесса, рассмотреть его во времени, так как зачастую с момента образования оврага до выработки профиля равновесия проходит время, намного превышающее жизнь человека. К настоящему времени для территории Удмуртской Республики имеется 39-летний ряд непрерывных полустационарных наблюдений, как за агрогенными, так и техногенными оврагами.

Анализ данных показывает, что в росте оврагов обоих типов за исследуемый период имеется ряд общих закономерностей. Первое, что

отмечается - это отчетливый неравномерный и пульсационный характер роста. Так, скорость роста вершины год от года может изменяться от десятков и сотен метров в год вплоть до полного затухания. Возобновление роста оврага может вызвать экстремальное воздействие какого-либо фактора. Что касается прироста агрогенных оврагов, то в большинстве случаев это связано с влиянием гидрометеорологических условий - интенсивностью снеготаяния, максимальным количеством осадков в сутки и, в некоторой мере, с влиянием хозяйственной деятельности человека. В экстремальном приросте техногенных оврагов значительную роль играет антропогенный фактор в виде технических сооружений, аккумулирующих и перераспределяющих поверхностный сток. На антропогенный фактор накладывается влияние геоморфологических факторов и состава размываемых горных пород.

Вторая закономерность, выявленная в ходе анализа скоростей прироста оврагов, помимо их пульсационного развития, заключается в постепенном затухании процессов развития агрогенных оврагов и высокой активности прироста техногенных оврагов. Особенно отчетливой данная тенденция становится при дополнении данных стационарных наблюдений средними скоростями, полученными за предыдущий период по аэрофотоматериалам. По результатам измерений 120 оврагов в Удмуртии в 1959-1970 гг. их средняя скорость прироста составила 2,4 м/год, а в 1970-1980 гг. уменьшилась до 1,9 м/год [Рысин, 1998]. В последующие годы скорость прироста агрогенных оврагов уже по данным полустационарных наблюдений неуклонно падала и составила в 1981-1990 гг. - 1,0 м/год, в 1991-2000 гг. - 0,9 м/год и в 2001-2016 г.г. - 0,3 м/год (рис. 4.11). Таким образом, для агрогенных оврагов отчетливо фиксируется нисходящий тренд средних скоростей прироста. Совершенно иная динамика скоростей прироста по данным полустационарных наблюдений характерна для техногенных оврагов, первые исследования которых начались в 1978 году. Так, за период 1978-1990 гг. средняя скорость роста составила 5,8 м/год, за период 1991-2000 гг. - 3,3 м/год и за период 2001- 2016 гг. - 2,4 м/год. При этом необходимо отметить, что до 2003 г. наблюдалось только 9 техногенных оврагов, а в настоящее время их количество достигло 26. Если рассмотреть динамику развития техногенных оврагов с 2003 г., то не вызывает сомнений активизация их

ежегодного прироста (рис.4.12). В любой момент картина развития техногенных оврагов может измениться, поскольку деятельность человека не зависит ни от природных условий местности, ни от времени года. Так, например, описаны случаи образования оврагов зимой в результате слива теплых вод ТЭЦ [Любимов, 1998].

О затухании техногенного эрозионного процесса можно говорить только в случае прямого воздействия на его рост (например, засыпание), достижении его вершиной источника временного водотока (например, сточная труба) или водораздельных пространств.

Так как рост оврагов во времени носит неравномерный пульсационный характер, что особенно характерно для техногенных, то из его анализа можно выделить и отдельно рассматривать годовые и многолетние циклы [Голосов, 1996].

В годовом цикле, рост оврагов происходит в два основных сезона – весной и летом, при этом, на долю каждого из сезонов приходится различная величина прироста. Так, наибольший рост оврагов, за многолетний период наблюдения, приходится на весну (80% от годового прироста) и зависит от стока талых вод. Но эта величина варьирует из года в год. Максимальный весенний прирост (98%) пришелся на 1979 год, когда наблюдалась максимальная интенсивность снеготаяния 15,2 мм/сут., доля летнего периода намного меньше (10-20%), хотя могут наблюдаться и довольно высокие показатели (наиболее аномальным считается 1984 год, когда на летний период пришлось 96% прироста) [Рысин, Григорьев, 2009].

В 2011 г. нами были проведены сезонные наблюдения за ростом нескольких оврагов. Замеры проводились в мае после окончания половодья и таяния снежного покрова и в ноябре после окончания летне-осенних дождей. Так, например, прирост промышленно-стокового оврага на стационаре «Гремиха» за летне-осенний период составил 0,3 м. В 2012 г. общий прирост за календарный год составил 2,8 м, то есть рост оврага за весенний период в 2012 году составил 2,5 м, что почти на порядок выше летне-осеннего прироста.

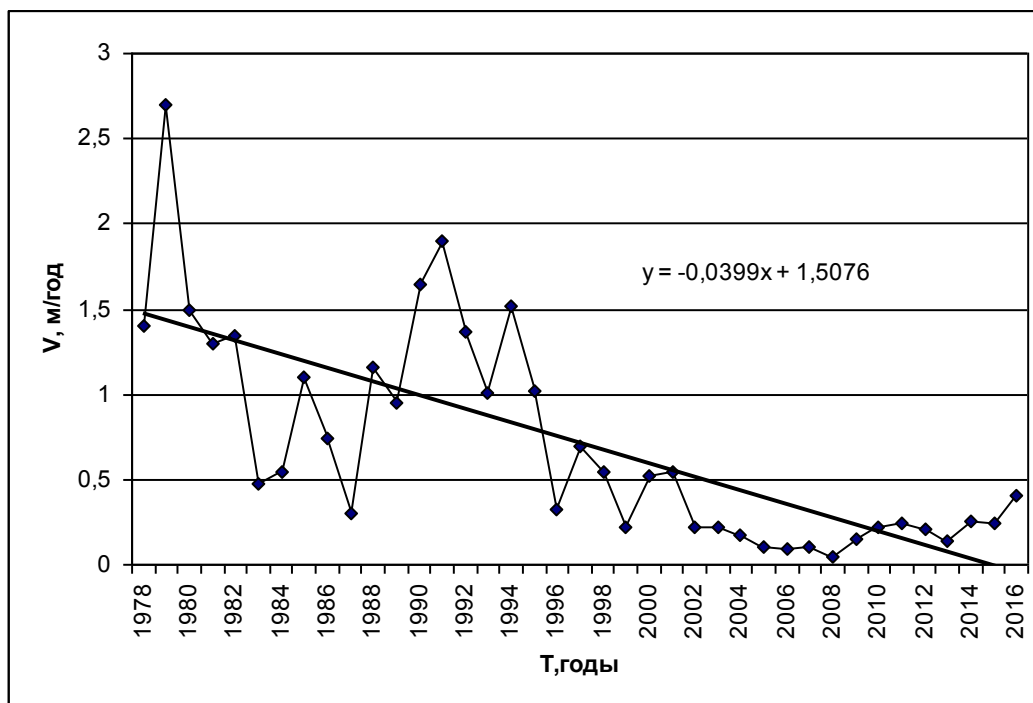


Рис. 4.11 График роста агрогенных оврагов с линией тренда на территории УР за 1978-2016 г.г.

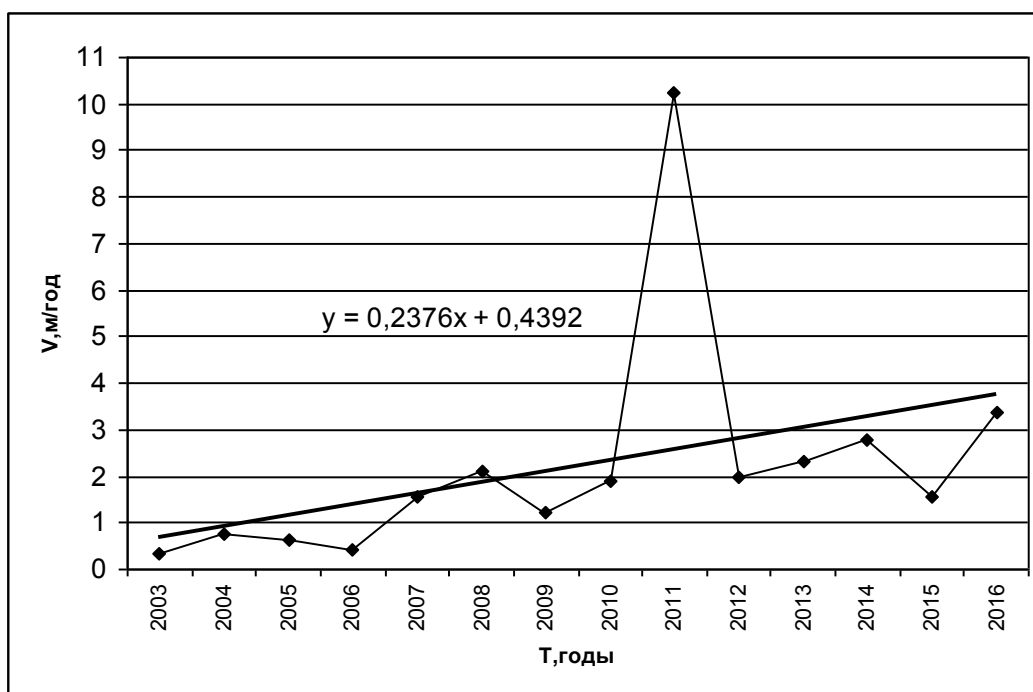


Рис. 4.12 График роста техногенных оврагов с линией тренда на территории УР за 2003-2016 г.г.



Аналогичной ситуация оказалась с измерениями сезонного прироста придорожного оврага на стационаре «Забегалово»: лето-осень – 0,1 м, весна следующего года – 1,1 м. Полученные результаты позволяют сделать вывод о возможном преобладании в большинстве случаев влияния на рост техногенных оврагов стока талых вод, что подтверждает ранее сделанные выводы.

Анализ многолетних натуральных наблюдений также выявляет большой диапазон средних скоростей роста оврагов. За 36 лет наблюдений можно выделить несколько этапов развития оврагов. Этапы не связаны со стадийностью развития оврагов, поскольку наблюдениями были охвачены овраги разного возраста. Выделение этапов скорее способствует более полному анализу средних скоростей роста во временном разрезе.

**Первый этап 1978 – 1982 гг.** В этот период происходит интенсивный рост оврагов. В 1979 году рост агрогенных оврагов оказался самым высоким за весь период наблюдений (2,7 м/год), что связано с аномальными климатическими условиями того года, например, интенсивным снеготаянием - 15,2 мм/сут. В остальные годы, характеризующиеся низким уровнем поверхностного стока, совпадающем с малоснежными зимами, величина прироста колебалась от 1,3 м/год в 1981 году, до 1,5 м/год в 1982 году. Распаханность территории Удмуртии на данном этапе достигла максимальной величины за весь исследуемый период - 37% от всей площади сельскохозяйственных угодий. Прирост техногенных оврагов оказался еще выше - 4,8 м/год в 1982 году, хотя в 1981 году прирост составил только 0,6 м/год. В 1978, 1980-81 г.г. прирост техногенных оврагов оказался ниже прироста агрогенных оврагов. Данный факт еще раз подтверждает высказанную нами выше мысль о наложении факторов, как природных, так и техногенных, влияющих на рост оврагов с разной степенью интенсивности. Отсюда столь значительная амплитуда показателей прироста техногенных оврагов.

**Второй этап 1983 – 1989 гг.** Наблюдается значительное уменьшение роста оврагов до 0,3 м/год в 1987 году, когда наблюдались небольшие запасы воды в снеге и, как следствие, очень слабый поверхностный сток. Хотя на этом этапе и отмечались аномальные летние приросты (до 96% и 34% в 1984 и 1989 г.г.) связанные с экстремальными ливнями, все же рост оврагов в целом был несущественным, и максимум пришелся на 1985 и

1988 годы - 1,1 и 1,2 м/год, соответственно. Это подтверждает тот факт, что влияние летних гидроклиматических характеристик в развитии оврагов существенно меньше по сравнению с весенними. В то же время средний ежегодный прирост техногенных оврагов достиг максимума за весь период наблюдения – 15,0 м/год. Для этого периода характерна следующая закономерность - в то время как скорости роста агрогенных оврагов уменьшаются, скорости прироста техногенных оврагов увеличиваются или остаются на прежнем уровне. Отсюда можно сделать вывод о том, что на развитие техногенных оврагов влияние природных, в первую очередь гидрометеорологических факторов, второстепенно.

**Третий этап 1990 – 1995 гг.** С 1990 года активность оврагообразования вновь существенно возрастает, но средние скорости прироста не достигают соответствующих показателей первого периода. Это можно объяснить экономическими причинами – кризис в сельском хозяйстве и промышленности, резкое уменьшение финансирования противоэрозионной деятельности и т.п. Максимальный прирост, за этот период отмечен в 1991 году – 1,9 м/год. При этом 1989-1991 годы характеризуются наибольшими запасами воды в снеге, обеспечивающими высокий уровень поверхностного стока, что, возможно, и способствовало активизации эрозии. Прирост техногенных оврагов в эти годы также существенно вырос и достиг максимума в 1991 году – 8,8 м/год. Периоды увеличения и уменьшения величин прироста техногенных и агрогенных оврагов на данном этапе практически полностью совпадают. Отличие только в самих величинах – скорости прироста техногенных оврагов на порядок выше.

**Четвертый этап 1996 – 2003 г.г.** На этом этапе наблюдается значительное уменьшение роста агрогенных оврагов. На многих ключевых участках наблюдается затухание оврагообразования, так в 1999 году из 159 агрогенных оврагов на 58 вообще не было прироста. Способствует прекращению роста оврагов ряд факторов, в первую очередь это стадийность развития эрозионных процессов. Большинство исследуемых агрогенных оврагов достигли пределов своего развития и прекратили рост. Во вторую очередь, неблагоприятное воздействие на активность развития овражной сети оказывает ряд различных факторов – гидрометеорологических (интенсивность снеготаяния и т.п.),

геоморфологических (приближение вершин оврагов к водоразделам) и состава размываемых горных пород. В 1997-98 и 2001-02 годах отмечается некоторая активизация роста агрогенных оврагов, связанная в первую очередь с гидрометеорологическими факторами - большой величиной снежного покрова и интенсивностью снеготаяния, и как следствие значительной величиной стока. На этом этапе смена периодов увеличения и уменьшения прироста как техногенных, так и агрогенных оврагов в целом совпадала, достигнув минимума в 2003 году – 0,22 м/год для агрогенных и 0,32 м/год для техногенных. При этом для техногенных оврагов присущи довольно значительные амплитуды показателей, что не характерно для агрогенных оврагов. В 1999 году прирост техногенных оврагов оказался ниже прироста агрогенных оврагов, что также подтверждает скачкообразное и неравномерное развитие техногенных оврагов, обусловленное преимущественно спецификой хозяйственной деятельности человека.

**Пятый этап 2004 – 2013 г.г.** Этот этап характеризуется наименьшей площадью распаханых земель (минимальное значение - 31% от площади всех сельскохозяйственных земель в 2008 году). Соответственно, для этого этапа характерной особенностью является самое значительное число агрогенных оврагов без прироста за весь период наблюдений. В 2009 году количество подобных оврагов составило уже 91 из 159. Скорость прироста в 2008 году составила минимальное значение за весь период наблюдений – 0,05 м. Скорости роста техногенных оврагов на этом этапе отличаются значительными амплитудами – от 0,41 м/год в 2006 году до 10,2 м/год в 2011 году. Связано это с активизацией среднегодовых приростов некоторых оврагов. Вследствие этого, с 2006 года для техногенных оврагов характерен восходящий тренд с некоторой цикличностью показателей ежегодного прироста, в отличие от агрогенных оврагов, показатели прироста которых варьируют в небольшой амплитуде в пределах 0,1 м/год.

**Шестой этап 2014 – 2016 г.** На этом этапе наблюдается некоторое увеличение интенсивности оврагообразования. В 2016 г. средняя скорость прироста агрогенных оврагов достигла 0,4 м/год, что является максимумом с 2002 г. Линия графика ежегодного прироста техногенных

оврагов отличается неравномерностью. Значения прироста колеблются от 1,5 м/год в 2015 г. до 3,4 м/год в 2016 г.

Таким образом, динамика скоростей роста техногенных и агрогенных оврагов на территории Удмуртии имеет существенные различия. Для агрогенных оврагов характерна тенденция к постепенному затуханию их активности с редкими всплесками. Техногенные овраги отличаются большей активностью и пульсацией в развитии, что наглядно прослеживается на соответствующих графиках.

Особенно отчетливо тенденция к затуханию роста агрогенных оврагов становится видна при дополнении многолетних данных стационарных наблюдений средними скоростями, полученных путем анализа аэрофотопланшетов за предыдущий период [Рысин, 1996]. По результатам этих данных продолжительность активного развития оврага оценивают в 15-20 лет на юге Удмуртии и около 10 лет в северных районах. Сокращается в северном направлении и продолжительность стадии развития оврагов вследствие активизации склоновых процессов и их быстрого зарастания. Немаловажной причиной является массовое уменьшение пахотных земель и их зарастание лесной и кустарниковой растительностью, препятствующей активному оврагообразованию. Отсюда становится понятным описанный нами факт того, что большинство агрогенных оврагов в настоящее время имеют нулевой прирост.

Среди наблюдаемых на территории Удмуртии трех типов техногенных оврагов, по которым проводятся исследования динамики, большая часть относится к промышленно-стоковым и придорожным, и только 3 оврага можно отнести к селитебным.

Основная часть промышленно-стоковых оврагов находится на территории нефтяных месторождений и развитие их вызвано действием дождевых и талых вод, стекающих через организованный слив с территории площадок нефтедобычи. Подобные овраги обнаружены на территории Ельниковского месторождения нефти у пос. Соколовка Сарапульского района УР. За 14 лет наблюдений средний рост их составил от 0,1 до 0,4 м/год, за исключением прироста 1,4 м в 2012 г., связанного с обрушением бетонных плит в вершинной части одного из оврагов. Столь незначительный прирост, несмотря на расположение на

крутом склоне, объясняется небольшой водосборной площадью, ограниченной дорожной насыпью и трудно размываемыми коренными породами.

По одному оврагу взято под наблюдение на Гремихинском, Медведевском, Быгинском нефтяных месторождениях летом 2003 года. Особенно активное развитие получил овраг на Медведевском месторождении – средний прирост его составил 3,2 м/год, а максимальный – 20 м/год. Летом 2006 года под наблюдение взят еще один овраг на территории Каракулинского нефтяного месторождения. Средняя скорость его роста за 10 лет составила около 1 м/год. Четко выделяются 2 максимума в 2009 и 2012 гг. В остальные года прирост был около 0,5 м/год. Вероятной причиной пиковых показателей можно считать сброс сточных промышленных вод с площадки нефтедобычи, поскольку площадь водосбора данного оврага минимальна (менее 1 га) и сам овраг размывает плотные глинистые породы с прослоями мергелей.

По скоростям прироста различия между придорожными оврагами довольно существенны. Придорожный овраг у с. Мушак Киясовского района УР, описанный нами ранее, является своего рода лидером по скорости роста среди всех наблюдаемых оврагов на территории Удмуртии. Средняя скорость его роста за весь период наблюдений составила 17,8 м/год. При анализе графика видно, что развитие его происходило сильными скачками с максимумами в 1984, 1987, 1991, 1994, 1998 и 2012 годах и минимумами в 1986, 1989, 1993 и 1996 годах (рис. 4.13). С 2001 по 2011 гг. активного роста не наблюдалось (не более 0,1 м/год), что связано с тем, что вершина оврага достигла густых зарослей ивы и березы, растущих вдоль дорожной насыпи и существенно уменьшилась водосборная площадь привершинной части оврага. В 2012 г. овраг резко активизировался за счет появления и роста новых отвершков вдоль дорожной насыпи.

Среди оврагов с более чем 30-летним периодом наблюдений выделяется придорожный овраг стационара «Макарово». На графике сразу отмечается его скачкообразное развитие с максимумами в 1979, 1984, 1993, 1997, 2002, 2004 и 2007 годах (рис. 4.14). Причем пики роста в 1984, 1993, 1997 и 2007 годах совпадают с общим спадом в развитии других придорожных оврагов, что говорит о более сильном влиянии на

рост этого оврага фактора постройки и эксплуатации дороги, в отличие от остальных оврагов. Средняя скорость роста для него составила за 34 год наблюдений 1,97 м/год, что связано, помимо постройки дорожной насыпи, концентрирующей сток, во-первых, с имеющимся большим местным базисом эрозии, во-вторых, с малой прочностью размываемых пород (делювиально-солифлюкционные суглинки).

Что касается других придорожных оврагов, наблюдаемых с 1978 г., скорости их роста отличаются друг от друга незначительно, а периоды роста и спада развития в целом совпадают. В последние годы развитие оврагов в целом стабилизировалось.

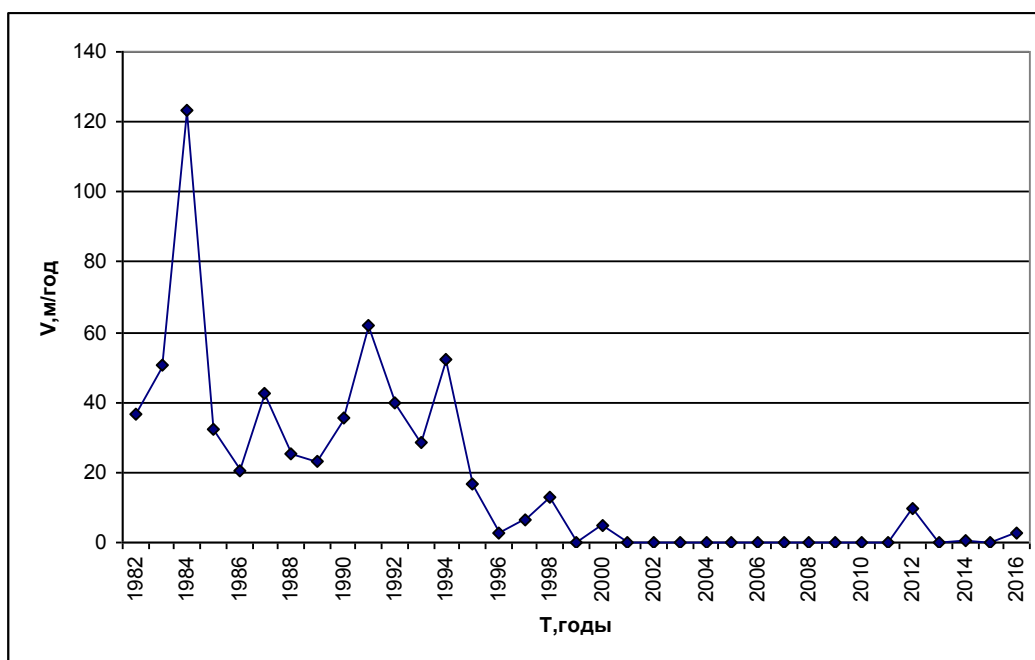


Рис. 4.13 График прироста придорожного оврага у с. Мушак Киясовского района Удмуртской Республики

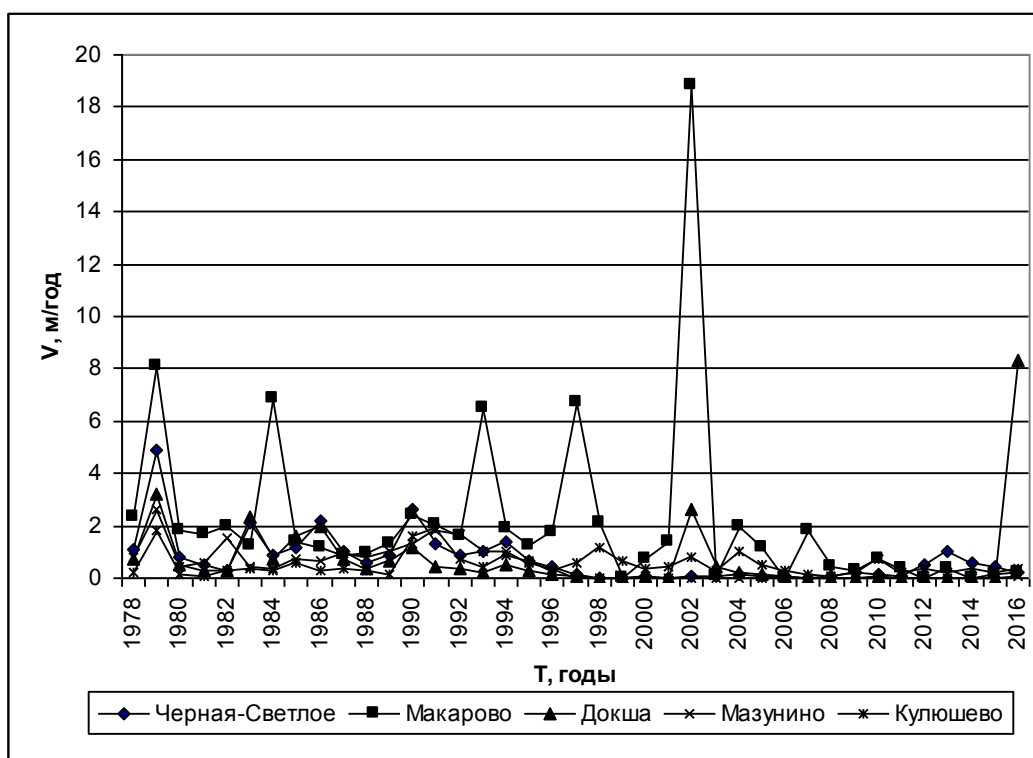


Рис. 4.14 Графики ежегодного прироста придорожных оврагов по ключевым участкам на территории Удмуртии

С 2003 года наблюдениями охвачены еще 5 придорожных оврагов – у д. Забегалово (Завьяловский район), на территории Медведевского нефтяного месторождения (Завьяловский р-он), у с. Бемыж (Кизнерский район), у д. Юмьяшур (Алнашский район) и у с. Новогорское (Граховский район). Средняя скорость прироста оврага у д. Забегалово за 13 наблюдаемых лет составила 0,5 м/год. Необходимо отметить, что данный овраг обладает большим потенциалом роста. Связано это, во-первых, с расположением его на относительно крутом склоне, невыработанным профилем равновесия и составом размываемых пород, представленных элювием верхнепермских глинистых отложений. Во-вторых, со стоком используемой в хозяйственных целях воды с вышележащего по склону садовгородного массива. И, в-третьих, что наиболее существенно, с концентрацией талых и дождевых вод близлежащей дорожной насыпью.

Придорожный овраг на территории Медведевского нефтяного месторождения за первый год наблюдений вырос на 1,9 м. Активизация эрозионного процесса началась после строительства нефтяниками дороги с водоотводной трубой, концентрирующей естественный сток. Вершина

нового оврага находится всего в нескольких метрах от насыпи, и в самое ближайшее время следовало ожидать размыва насыпи, а также глубинного и бокового расширения данного оврага. Понимая опасность данного процесса, эксплуатирующая дорогу организация провела ряд противоэрозионных мероприятий – засыпку активно растущей вершины и организацию стока путем прокладки трубы и укрепления дорожной насыпи бетонными блоками. Однако уже через 2 года наблюдений, в 2010 году, овраг опять активизировался и его прирост составил 4,7 м. В последние годы прирост данного оврага характеризуется довольно высокими значениями – в среднем порядка 1,5 м/год. Оставшиеся придорожные овраги были рассмотрены нами выше.

Отдельно следует упомянуть о трех оврагах селитебного типа, развивающихся на крутом левом берегу р. Вятки на территории с. Крымская Слудка Кизнерского района УР. Берег в данном районе сильно подмывается рекой, что провоцирует возникновение оползней и оврагов. На рост оврагов, помимо природных факторов (крутой незадернованный берег, большая глубина местного базиса эрозии, легко размываемые плейстоценовые перигляциальные суглинки), большое влияние оказывает и человеческий фактор. Овраги растут вдоль улиц села перпендикулярно берегу. По улицам проходят дренажные каналы, концентрирующие сток с территории населенного пункта и способствующие усиленному росту оврагов, среднегодовой прирост которых составил за 36 лет наблюдений от 0,72 до 2,86 м. Для всех оврагов четко выделяется 3 максимума в 1979, 1991 и 2001 годах (рис. 4.15). После 2003 года синхронность в развитии оврагов значительно ослабла. Так, один из оврагов (№2) в 2004 году исчез, потому что подмываемый берег р. Вятка отступал быстрее роста вершины оврага. Вершина оврага №3 достигла фундаментов расположенных раньше здесь построек, что вызвало некоторое замедление скорости его роста. Максимальный прирост был зафиксирован в 2001 году у оврага №1 - 21,8 м. В 2007 году скачок в его годовом приросте вновь повторился – 20,35 м. Подобный рост близок к катастрофическому, что вызывает серьезные опасения сельской администрации, поскольку овраг вплотную приблизился к жилому дому. Сооружаемые местными жителями привершинные земляные валы постоянно размываются. В 2010 году на линии стока силами сельской администрации появился земляной вал с



водопрпускной трубой, рассеивающий сток поверхностных вод. Вершину оврага завалили бытовым мусором. Вследствие этих действий активность оврага значительно ослабла и не превышает 0,5 м/год. Следуя предложенной выше классификации, данные овраги можно отнести к сельским, то есть развивающимся в пределах жилой застройки сельского населенного пункта и вследствие прямого вмешательства человека в эрозионный процесс.

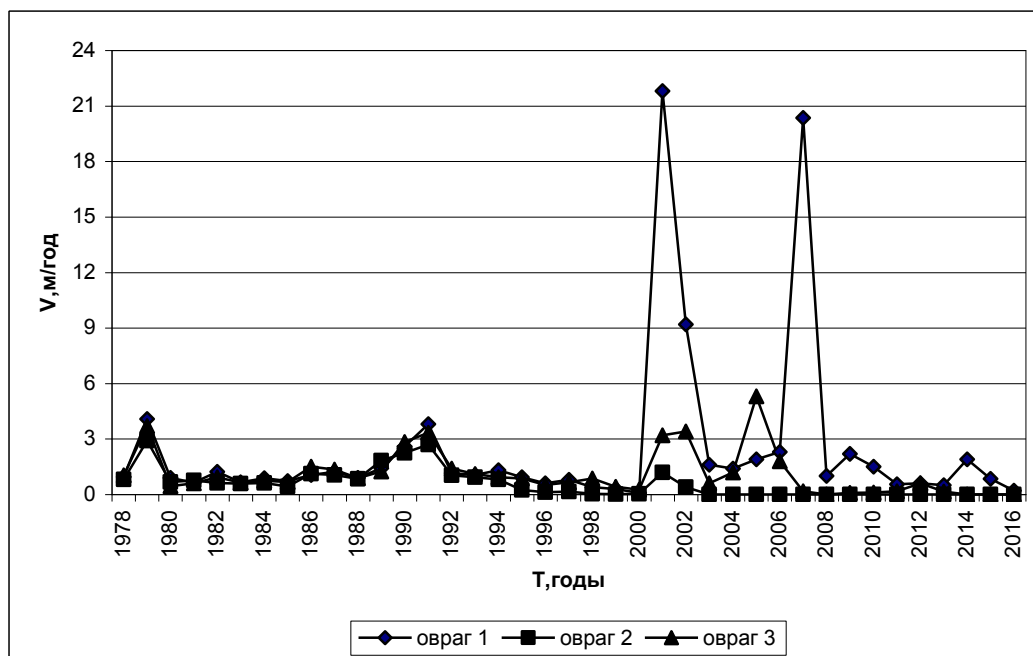


Рис. 4.15. Графики ежегодного прироста оврагов сельского типа на ключевом участке «Крымская Слудка» за 1978-2016 годы

Таким образом, изучение развития техногенных оврагов во времени позволяет нам подтвердить некоторые закономерности. Во-первых, пульсационный характер развития всех оврагов, причем амплитуды скоростей роста техногенных оврагов на порядок выше скоростей роста агрогенных оврагов. Во вторых, для большинства техногенных оврагов, в отличие от агрогенных оврагов, нехарактерно затухание скоростей роста с течением времени. Техногенное оврагообразование, в отличие от агрогенного, отличается способностью показывать высокие значения скоростей прироста в течение длительного срока и возможностью резко активизировать развитие при изменении техногенных условий. О затухании техногенного эрозионного процесса можно говорить только в

случае прямого воздействия на его рост (например, засыпание), достижении его вершиной источника временного водотока (например, сточная труба) или водораздельных пространств.

#### **4.4. Оценка факторов современного роста техногенных оврагов**

##### ***4.4.1 Общая характеристика развития техногенных оврагов***

Оврагообразование – это очень сложный, многофакторный процесс, причем на разных стадиях развития роль этих факторов может существенно меняться.

Известно, что средние скорости 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. По подсчетам И.И. Рысина [1998] 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 противозерозионной 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, но встречается и в коренных породах. Во всех случаях склон или днище ложбины выше имеют дернину, часто она образует нависающий карниз. Дерновый слой резко увеличивает противозерозионную 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 ещё 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. 4.16). 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.



Рис. 4.16 Техногенный овраг с водобойным колодцем и эрозионной нишей при вершине

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 [Рысин, 1998].

На промышленных площадках, в отличие от сельскохозяйственных угодий, развитие оврагов выделяется, прежде всего, повышенной среднегодовой скоростью роста, о чем говорилось ранее. Периоды роста техногенных оврагов в целом совпадают с периодами роста агрогенных оврагов, однако имеются свои особенности. Так, овраги, развивающиеся рядом с площадками нефтедобычи, часто растут тогда, когда осуществляется слив технических вод, абсолютно не зависящий от природных факторов. Развитие придорожных оврагов в целом соответствует рассмотренной выше схеме, но имеется ряд особенностей. Чаще всего придорожные кюветные овраги бывают довольно узкими на длительном протяжении, так как рост его в ширину чаще всего ограничивается с одной стороны дорожной насыпью, а с другой – лесополосами. Глубина подобных оврагов часто бывает незначительной. Придорожные овраги ниже водопропусков часто останавливают свое развитие в длину, достигнув непосредственно трубы на переходе через дорожную насыпь, и начинают углублять водобойную нишу в вершинной части. Селитебных оврагов нами наблюдается немного, что связано чаще всего с их ликвидацией жителями населенных пунктов.

Одной из основных задач при изучении овражной эрозии является учет широкого спектра географических условий и факторов оврагообразования, предопределенных как зональными, так и региональными особенностями ландшафтов. Такие важные факторы оврагообразования как климат, почвы, растительность в своем географическом распространении и изменении подчиняются закону зональности, процессы овражной эрозии также отражают зональные закономерности. Исследования оврагов в различных регионах и географических зонах территории России, показали, что, во-первых, овражные формы распространены во всех географических зонах, и, во-вторых, что процесс оврагообразования имеет определенную специфику, учитывающую зональные и аazonальные факторы каждой из этих зон [Косов, 1962].

#### ***4.4.2. Роль состава размываемых пород***

***Геологический фактор*** влияет на все стороны развития процесса линейной эрозии. Вместе с тем, до настоящего времени остается дискуссионным вопрос о комплексе свойств пород, которые следует анализировать при оценке подверженности их размыву. Как правило, эрозионная прочность пород по отношению к размыву характеризуется либо показателем сдвигающей силы, либо размывающей скоростью потока, необходимой для отрыва и перемещения частиц [Зорина, 2006].

Максимальные скорости роста оврагов наблюдаются в неоген-четвертичных суглинках и супесях, обладающих наименьшим сопротивлением размыву (Бастраков, 1993), и имеющими минимальные размывающие скорости водного потока – 0,6-0,8 м/с. Соответственно, с возрастанием противозэрозионной устойчивости пород уменьшаются средние многолетние скорости роста оврагов вплоть до полного затухания эрозионных процессов. Вместе с тем, увеличивается и скорость водного потока, требуемая для размывания пород до 3,7 м/с в известняках и песчаниках (табл. 4.5).

Геологическая характеристика пород не ограничивается их литологическим составом. Значительную роль играют инженерно-геологические, гидрогеологические, мерзлотные условия. Большое

значение имеет трещиноватость, пористость, степень выветрелости, степень сцепления, термическое состояние, влагонасыщенность пород. В настоящее время учесть в количественном выражении влияние на развитие оврагов этих характеристик не представляется возможным.

Наиболее разработанным и используемым в настоящее время методом оценки подверженности литологических комплексов размывающему действию текучих вод является показатель размывающей скорости (табл. 4.5).

Устойчивость грунтов по отношению к размыву является одной из природных характеристик, оказывающих большое влияние на развитие овражной эрозии, распространении оврагов по территории, интенсивность процесса и морфологический облик отдельных оврагов. В легкоразмываемых лессовидных породах в оврагах часто образуются субвертикальные откосы, часто недолговечные, что видно на представленной фотографии (рис. 4.17).



Рис. 4.17. Промоина, образовавшаяся в легкоразмываемых лессовидных суглинках близ д. Головизнин-Язок Селтинского района УР

В зависимости от противоэрозионной устойчивости размываемых оврагами пород средние скорости прироста техногенных и агрогенных

оврагов могут сильно различаться. Вследствие относительно небольшого количества техногенных оврагов показатели скоростей размыва могут отличаться невысокой репрезентативностью, тем не менее, они в целом совпадают с аналогичными показателями агрогенных оврагов, представленных большим количеством.

Наибольшей скоростью размыва отличается вторичный (вершинный) техногенный овраг на ключевом участке «Тарасово», растущий в делювиально-солифлюкционных суглинках – 47,6 м/год (табл. 4.6).

Данный результат подтверждает ранее сделанные выводы о минимальной сопротивляемости размыву данных грунтов [Рысин, 1993]. Большие скорости роста наблюдаются у вторичных техногенных оврагов (7,9 м/год) размывающих современные аллювиальные отложения, представленные переслаивающимися суглинками и суглинисто-супесчаными (реже глинистыми) породами.

Таблица 4.5

Размываемость основных литологических пород [География овражной..., 2006]

Литология пород	Размывающие скорости, м/с	Основные комплексы пород	Средняя размывающая скорость, м/с
Песок мелкозернист.	0,17-0,32	Пески разнозернистые	0,7
Песок среднезернист.	0,27-0,57		
Пески крупнозернист.	0,47-0,75		
Легкие и лессовидные супеси и лессы	0,6-0,8	Легкие и лессовидные супеси и лессы	0,7
Супесь	0,65-0,7		
Легкий суглинок	0,45-0,8		
Глина среднеплотная	0,7-1,0	Глина среднеплотная	1
Глина плотная	1,0-1,3	Глины плотные	1,3
Суглинок тяжелый с валунами	1,3	Суглинки тяжелые с гравием и валунами	1,3
Гравий крупный			
Мел	2,1	Мел, мергель, доломит	2,1
Мел, доломит	2,0-2,1		
Известняк пористый	2,5-3,0	Известняки, песчаники	3,7
Известняк плотный	3,7-4,0		
Песчаник доломитов.	3,7-4,0		
Песчаник известняк.	2,5-3,0		

Связано это с их переувлажненным состоянием вследствие близости грунтовых вод. Частицы пород в этом случае имеют слабое сцепление друг с другом, что способствует их быстрому размыву. Среди первичных, высокими скоростями роста (5,4 м/год) также выделяются те техногенные овраги, которые развиваются в плейстоценовых лессовидных делювиально-солифлюкционных суглинках. В овражно-эрозионной геоинформационной системе (ОЭГИС) нами создана карта мощности делювиально-солифлюкционных суглинков на территории Удмуртии, на которой видно, что районы активного оврагообразования в целом совпадают с районами их максимальной мощности. Скорости роста техногенных оврагов, размывающих перигляциальный аллювий на левобережье р. Вятка, несмотря на последние стадии развития, относительно высока (0,9 м/год), что связано с их нахождением в селитебной зоне, о чем говорилось выше. Средняя многолетняя скорость роста наиболее активного из них составляет 1,9 м/год.

Таблица 4.6

Средние многолетние скорости роста морфологических типов техногенных оврагов в различных литологических комплексах пород

Комплексы пород	Количество оврагов		Скорость роста, м/год	
	Первичные	Вторичные	Первичные	Вторичные
Балочный комплекс (преимущественно суглинистый) (Q)	-	2	-	1,1
Современный аллювий суглинистый (Qiv)	-	1	-	10,1
Перигляциальный супесчано-суглинистый аллювий (QIII-II)	3	-	0,9	-
Делювиально-солифлюкционные суглинки (QIII-II)	5	1	5,4	47,6
Коренные пермские глины и их элювий (P2)	4	3	1,8	10,1
Пермские глины с прослоями более прочных пород (P2)	5	2	0,4	1,9
Итого:	17	9	0,5	7,9

Наименьшие скорости роста имеют техногенные овраги как первичные, так и вторичные, (0,4 и 1,9 м/год, соответственно), размывающие коренные пермские глины с прослоями более прочных



пород. При переслаивании коренных пермских глин с песчаниками, известняками, мергелями и другими прочными породами скорости прироста оврагов уменьшаются. В целом, прирост техногенных оврагов данной группы небольшой, но достаточно стабильный.

Распределение среднегодовых скоростей роста по типам техногенных оврагов, выделяемых по происхождению, в различных комплексах коренных пород, в целом аналогично скоростям морфологических типов техногенных оврагов. Максимальными скоростями роста характеризуются придорожные овраги, развивающиеся в делювиально-солифлюкционных суглинках и аллювиальных отложениях (табл. 4.7). Минимальные скорости наблюдаются у оврагов, развивающихся в пермских глинах с прослоями более прочных пород – известняков, мергелей, песчаников и других.

Таблица 4.7

Средние многолетние скорости роста морфогенетических типов техногенных оврагов в различных литологических комплексах пород

Комплексы пород	Скорость роста, м/год (количество оврагов, шт.)		
	Придорожный	Промышленно-стоковый	Селитебный
Балочный комплекс (преимущественно суглинистый) (Q)	0,8 (1)	1,4 (1)	-
Современный аллювий суглинистый(QIV)	10,1 (1)	-	-
Перигляциальный супесчано-суглинистый аллювий (QIII-II)	-	-	0,9 (3)
Делювиально-солифлюкционные суглинки (QIII-II)	14,9 (5)	0,1 (1)	-
Коренные пермские глины и их элювий (P2)	8,0 (4)	1,9 (2)	1,7 (1)
Пермские глины с прослоями более прочных пород (P2)	1,5 (3)	0,4 (4)	-
Итого:	8,7 (14)	0,8 (8)	1,1 (4)

Результаты, полученные в ходе наших исследований довольно близки к результатам, полученным другими исследователями

[Овражная...,1990; Назаров,1992]. Максимальные скорости роста характерны для оврагов, развивающихся в легкоразмываемых делювиально-солифлюкционных суглинках, а минимальные – в трудноразмываемых коренных пермских глинах с прослоями более прочных пород.

#### ***4.4.3. Влияние морфометрических характеристик рельефа***

***Геоморфологические факторы*** играют одну из ведущих ролей в развитии овражных форм. Их учет очень важен для правильной оценки современных скоростей роста оврагов. Для территории УР установлено, что в наибольшей степени на среднюю скорость роста большинства сельскохозяйственных оврагов влияют величина их водосборной площади и длина линий стока [Рысин,1998]. Ранее подобная зависимость была выведена ряда регионов востока Русской равнины [Овражная..., 1990].

С целью установления зависимости средней многолетней скорости роста техногенных оврагов от их основных морфометрических показателей нами проведен корреляционный анализ.

В естественных науках процедуры корреляционного анализа и множественной регрессии чрезвычайно широко используются в исследованиях. В общем, множественная регрессия, в отличие от простой корреляции, выявляющей только степень зависимости двух показателей, позволяет исследователю задать вопрос (и, вероятно, получить ответ) о том, какой фактор имеет наибольшее влияние на исследуемый процесс, в нашем случае на скорость роста оврагов.

По ходу исследования определялся характер и наличие связи между средней скоростью роста 22 техногенных оврагов и каждым анализируемым фактором – длиной оврагов и склонов (расстояние от устья оврага до водораздела), уклонами оврагов, склонов и линий стока (от вершины оврага до водораздела), местными глубинами базисов эрозии и водосборными площадями оврагов [Приложение 1]. Из анализа нами исключен овраг ключевого участка «Тарасово», имеющий экстремальные значения роста и небольшой период наблюдения.

Результаты корреляционного анализа показали наибольшую зависимость средней многолетней скорости техногенных оврагов от

величины водосборной площади оврагов ( $r = 0,936$ ,  $\eta = 0,881$ ,  $\eta^2 = 0,776$ ) (рис. 4.18).

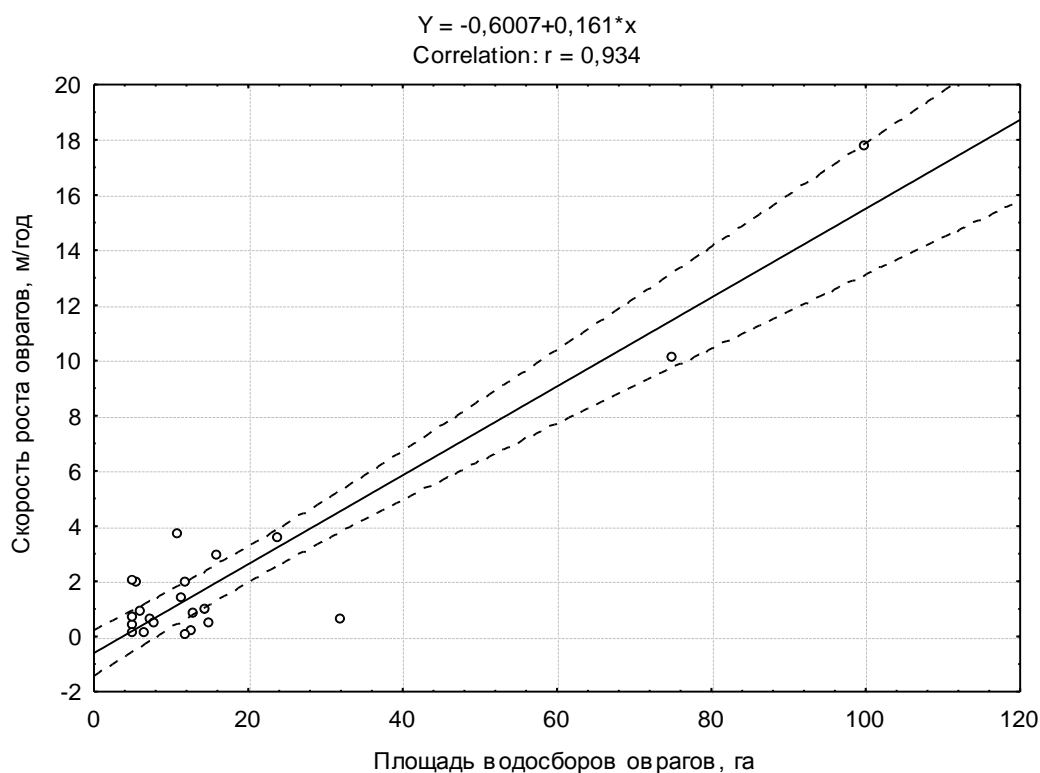


Рис. 4.18 Зависимость средней многолетней скорости роста техногенных оврагов от величины площади их водосборов

Также тесной зависимость скорости роста оказалась с длинами склонов, на которых они развиваются ( $r = 0,776$ ,  $\eta = 0,902$ ,  $\eta^2 = 0,814$ ) (рис. 4.19). Таким образом, подтверждаются ранее выявленные прямые зависимости – чем больше водосбор и длина склона, на котором развивается овраг, тем большую интенсивность скорости роста он показывает.

Зависимость скорости роста оврагов от глубин местных базисов эрозии оказалась менее значительной ( $r = 0,241$ ,  $\eta = 0,669$ ,  $\eta^2 = 0,447$ ) (рис.4.20). Невысокие отрицательные значения корреляции многолетних средних скоростей роста оврагов и с уклонами. Связь скоростей роста с уклонами самих оврагов ( $r = -0,403$ ,  $\eta = 0,487$ ,  $\eta^2 = 0,237$ ) выше остальных показателей корреляции с уклонами линий стока ( $r = -0,277$ ,  $\eta = 0,321$ ,  $\eta^2 = 0,103$ ) и с уклонами склонов ( $r = -0,184$ ,  $\eta = 0,491$ ,  $\eta^2 = 0,241$ ). Объясняется обратная связь тем, что при больших площадях водосборов длины склонов также имеют большую протяженность, но уклоны склонов при

этом обычно уменьшаются. Критерий Блэкмана во всех случаях ниже 11,37.

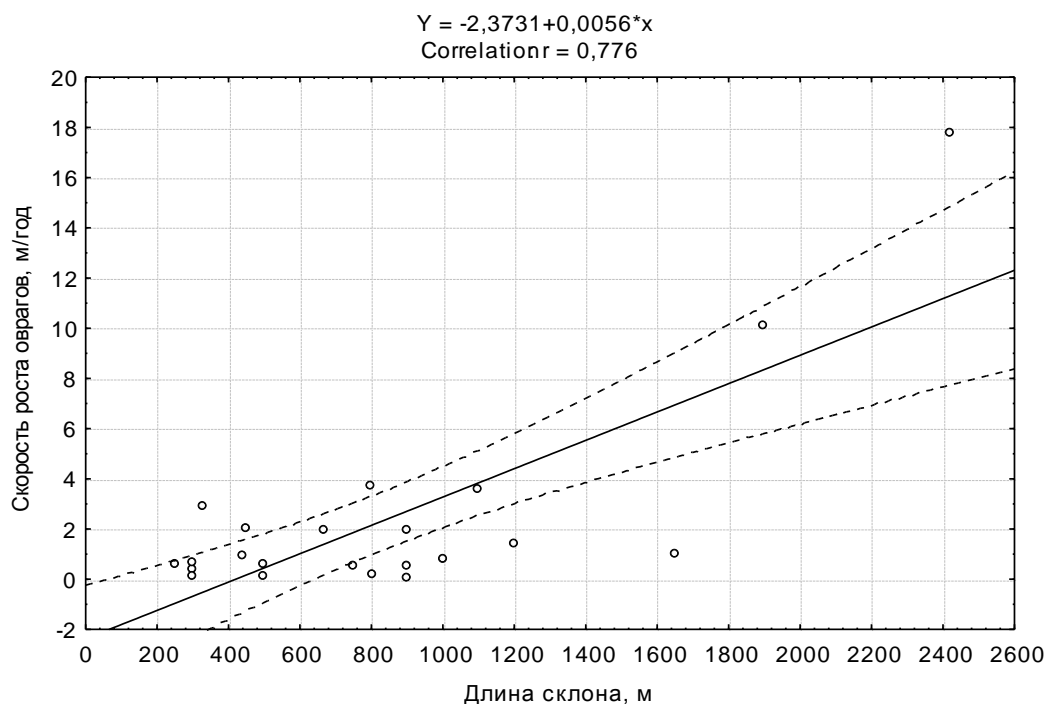


Рис. 4.19 Зависимость средней многолетней скорости роста техногенных оврагов от длины склона

Низкие значения корреляции доказывают нам, что крутизна склонов оказывает влияние только в редких случаях, поскольку, чем круче склон, линия стока или тальвег оврага, тем меньше площадь водосбора и длина склона, имеющих максимальное влияние на показатели скорости роста техногенных оврагов. Нельзя исключать влияния и других факторов, подавляющих роль уклонов и глубин местных базисов эрозии, прежде всего антропогенных.

Полученные нами для некоторых морфометрических показателей высокие коэффициенты корреляции требуют более тщательного анализа.

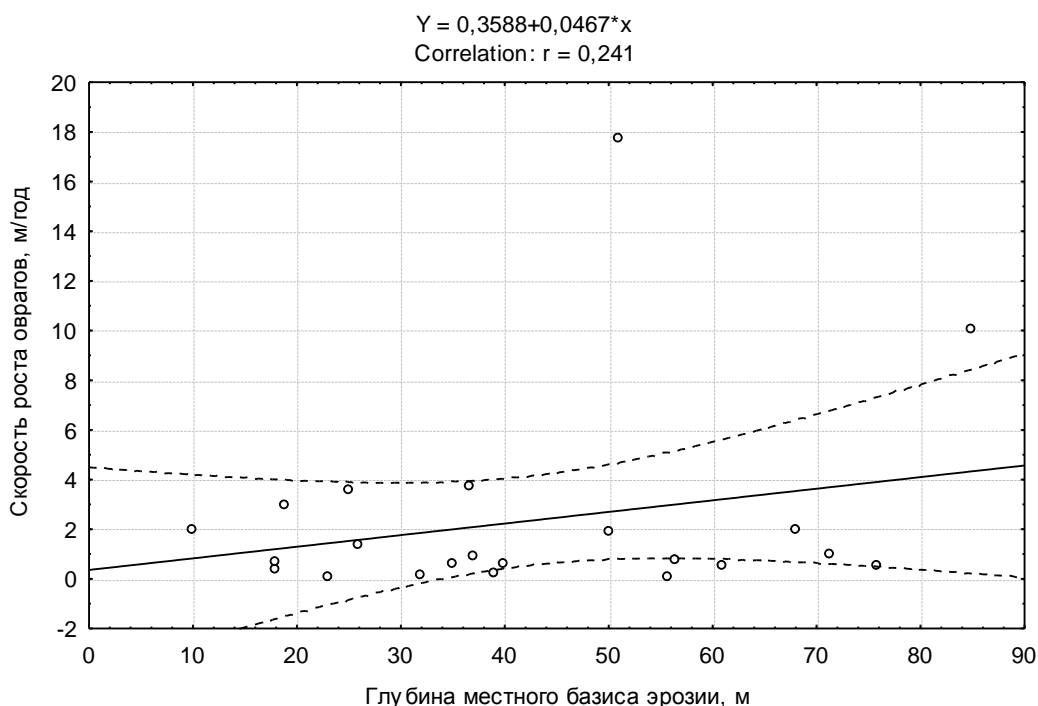


Рис. 4.20 Зависимость средней многолетней скорости роста техногенных оврагов от глубины местного базиса эрозии

Стандартный регрессионный анализ показывает нам, какой из рассматриваемых морфометрических показателей дает больший вклад в предсказание скорости роста техногенных оврагов. Представленная таблица показывает стандартизированные (Beta) и обычные (B) регрессионные коэффициенты. Beta-коэффициенты – это коэффициенты, которые получатся, если предварительно стандартизировать все переменные к среднему «0» и стандартному отклонению «1». Таким образом, величина этих Beta-коэффициентов позволяет сравнивать относительный вклад каждого показателя в предсказание скорости роста оврагов. Как видно из таблицы результатов (табл. 4.8) статистически значимыми (выделены в таблице жирным шрифтом) являются уклоны оврагов, склонов, глубины местных базисов эрозии и площади водосборов оврагов.

Регрессионный коэффициент для площадей водосборов и уклонов склонов положителен, то есть чем больше водосборы и уклоны склонов, на которых развиваются овраги, тем выше их скорости роста. При этом максимальное влияние на скорость роста техногенных оврагов оказывает величина площади их водосборов.

Итоги регрессионного анализа для скорости роста техногенных оврагов

N=22	Итоги регрессии для зависимой переменной <b>скорость роста</b> R= ,97676520 R2= ,95407026 Adjusted R2= ,93569836 F(6,15)=51,931 p<,00000 Std.Error of estimate: 1,0324					
	Beta	Std.Err. of Beta	B	Std.Err. of B	t(15)	p-level
Св. член			-0,920	0,987	-0,932	0,366
Длина склона	0,220	0,127	0,002	0,001	1,732	0,104
Уклон оврага	<b>-0,181</b>	<b>0,075</b>	<b>-0,009</b>	<b>0,004</b>	<b>-2,415</b>	<b>0,029</b>
Уклон линии стока	0,032	0,066	0,007	0,014	0,480	0,638
Базис эрозии	<b>-0,277</b>	<b>0,087</b>	<b>-0,054</b>	<b>0,017</b>	<b>-3,187</b>	<b>0,006</b>
Водосбор оврага	<b>0,888</b>	<b>0,095</b>	<b>0,153</b>	<b>0,016</b>	<b>9,366</b>	<b>0,000</b>
Уклон склона	<b>0,248</b>	<b>0,072</b>	<b>0,055</b>	<b>0,016</b>	<b>3,453</b>	<b>0,004</b>

Другой путь изучения вкладов каждой независимой переменной в предсказание зависимой переменной состоит в вычислении частных и поучастных корреляций (табл. 4.9). Частные корреляции являются корреляциями между соответствующей независимой переменной и зависимой переменной, скорректированными относительно других переменных. Частная корреляция представляет самостоятельный вклад каждого морфометрического показателя в предсказание скорости роста техногенных оврагов. Получастная корреляция является корреляцией соответствующей независимой переменной после корректировки относительно других переменных, и нескорректированными исходными значениями зависимой переменной. Получастная корреляция всегда меньше частной. Если поучастная корреляция очень мала, в то время как частная корреляция относительно велика, то соответствующая переменная может иметь самостоятельную «часть» в объяснении изменчивости зависимой переменной (то есть «часть», которая не объясняется другими переменными). Однако в смысле практической значимости, эта часть может быть мала, и представлять только небольшую долю от общей изменчивости.

В нашем случае, наибольшее влияние среди всех рассматриваемых морфометрических показателей на скорости роста техногенных оврагов имеет размер водосборных площадей оврагов – около 52%. Следующий фактор – уклон склона – имеет долю влияния только около 20%, остальные меньше 15%. Таким образом, максимальное влияние на

скорость роста техногенных оврагов достоверно оказывает только величина водосборов оврагов. Полученный ранее высокий коэффициент корреляции скоростей роста оврагов с длинами склонов в результате проведенного регрессионного анализа оказался менее значимым по силе влияния.

Таблица 4.9

Результаты частной и получастной корреляции в регрессионном анализе

Переменная	Переменные входящие в уравнение; ЗП: скорость роста						
	Бета	Частная Корр.	Получаст. Корр.	Толеран.	R-квадр.	t(15)	p-уров.
Длина склона	0,220	0,408	0,096	0,190	0,810	1,732	0,104
Уклон оврага	<b>-0,181</b>	<b>-0,529</b>	<b>-0,134</b>	<b>0,543</b>	<b>0,457</b>	<b>-2,415</b>	<b>0,029</b>
Уклон линии стока	0,032	0,123	0,027	0,699	0,301	0,480	0,638
Базис эрозии	<b>-0,277</b>	<b>-0,635</b>	<b>-0,176</b>	<b>0,405</b>	<b>0,595</b>	<b>-3,187</b>	<b>0,006</b>
Водосбор оврага	<b>0,888</b>	<b>0,924</b>	<b>0,518</b>	<b>0,341</b>	<b>0,659</b>	<b>9,366</b>	<b>0,000</b>
Уклон склона	<b>0,248</b>	<b>0,666</b>	<b>0,191</b>	<b>0,594</b>	<b>0,406</b>	<b>3,453</b>	<b>0,004</b>

Можно рассмотреть влияние морфометрии оврагов на их рост в зависимости от их морфогенетического типа. В силу относительно малого количества наблюдаемых оврагов, особенно селитебных, нельзя считать полученные результаты достоверными на 100%, но, по крайней мере, они показывают общую тенденцию.

Можно отметить, что показатели корреляции по придорожным оврагам практически полностью совпадают по всем факторам (табл. 4.10). Это вполне объясняется тем, что оврагов данного типа почти половина от всех участвующих в анализе – 10 из 22.

Промышленно-стоковых оврагов меньше – 9 из 22. Их показатели связи имеют свои особенности. Значительное влияние на их рост имеет площадь водосбора, длина склона и глубины местных базисов эрозии, остальные факторы, связанные с уклонами, влияют на скорость роста незначительно. Это указывает нам на очевидное влияние других факторов, прежде всего это сбросы промышленных и технических вод с площадок нефтедобычи.

Результаты корреляции для селитебных оврагов нельзя прямо сравнивать с корреляцией по другим типам, поскольку все 3 оврага находятся на небольшом расстоянии друг от друга в пределах одного населенного пункта. Поэтому уместным будет изучение влияния

морфометрии только на данные скоростей прироста трех оврагов. Тем не менее, из общего ряда выбивается значительная зависимость скорости роста от глубин местных базисов эрозии, и уклона склона, то есть чем круче склон и глубже базис эрозии, тем выше скорость прироста оврага. Крайне низкая связь с длиной склонов.

*Таблица 4.10*

Результаты корреляционного анализа ( $r$ ) между средними многолетними скоростями роста техногенных оврагов и геоморфологическими факторами

Тип оврага	Площадь водосбора, га	Длина склона, м	Уклон оврага, м/км	Уклон линии стока, м/км	Уклон склона, м/км	Местный базис эрозии, м
Придорожный	0,934	0,899	-0,409	-0,494	-0,172	0,016
Промышленно-стоковый	0,978	0,628	-0,435	-0,023	-0,044	0,605
По всем типам (включая селитебные)	0,936	0,776	-0,403	-0,277	-0,184	0,241

Таким образом, на среднюю многолетнюю скорость роста большинства техногенных оврагов влияют в первую очередь площади их водосборных бассейнов и длины склонов. Связь с уклонами и местными базисами эрозии практически не прослеживается. По всем морфогенетическим типам оврагов наибольшее влияние также имеет величина водосборной площади. Для промышленно-стоковых общее влияние геоморфологических факторов несколько ниже, в силу более значительного влияния на их рост антропогенных факторов.

#### ***4.4.4. Влияние гидрометеорологических факторов***

Многочисленные исследования свидетельствуют, что интенсивность роста оврагов в значительной степени определяется гидрометеорологическими условиями [Овражная..., 1989, Овражная..., 1990, Назаров, 1992, Рысин и др., 2017].

Исследования показали, что на востоке Русской равнины 70-80% годового прироста приходится на весенний период, при этом выявлена



ведущая роль таких гидрометеорологических факторов, как интенсивность снеготаяния и запасы воды в снеге, определяющих интенсивность половодного стока. Анализ данных 37-летних стационарных исследований на территории Удмуртии (1978-2014 г.г.), в общем, подтвердил указанные зависимости, но вместе с тем были выявлены и некоторые региональные особенности.

В настоящее время мы имеем 39-летний ряд непрерывных полустационарных наблюдений за ростом оврагов и данные гидрометеорологических условий, полученные на ближайших к ключевым участкам гидрометеостанциях (ГМС) за период 1978-2014 гг. Данные за последние 2 года использовать в исследовании не удалось в связи со сложностью их получения в Удмуртском центре по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды.

Анализировалось развитие 8 оврагов, расположенных у г. Ижевска, 3 селитебных оврагов на ключевом участке «Крымская Слудка» и 7 оврагов ключевых участков, находящихся в юго-восточной части Удмуртии у г. Сарапула.

В анализ гидрометеорологических условий весеннего периода включены следующие показатели:

- 1) максимальные общие запасы воды в снеге в начале весны ( $H_v$ , мм);
- 2) продолжительность снеготаяния ( $T$ , сутки);
- 3) интенсивность снеготаяния ( $H_v/T$ , мм/сут.);
- 4) максимальная глубина промерзания почвы ( $M_p$ , см);
- 5) интенсивность половодного стока как отношение максимального расхода весеннего половодья к норме стока ближайшей малой реки ( $Q_m/Q_n$ ).

Для 7 ключевых участков, находящихся в радиусе 50 км от г. Ижевска, использовались данные метеопоста пос. Первомайский (Ижевск) и гидропоста на р. Позимь [Приложение 2].

Анализ данных показывает, что среднегодовые скорости роста 8 оврагов за 37-летний период изменяются в значительных пределах. Сопоставление показателя активности роста оврагов с гидрометеорологическими характеристиками определяет некоторую взаимосвязь первого только с интенсивностью половодного стока (рис. 4.21). Об этом свидетельствуют данные корреляционного анализа ( $r =$

0,328,  $\eta = 0,363$ ,  $\eta^2 = 0,132$ ). В 1979 г. зафиксирован значительный прирост оврагов (5,4 м/год), вызванный сочетанием экстремальных метеорологических условий и состоянием почвенного покрова. Очень суровая зима 1978/1979 гг. способствовала глубокому промерзанию насыщенных влагой почво-грунтов, 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 2002 г. прирост составил 7,2 м. При этом значения гидрометеорологических показателей оказались относительно незначительными, что подтверждает тезис об их слабом влиянии на рост техногенных оврагов.

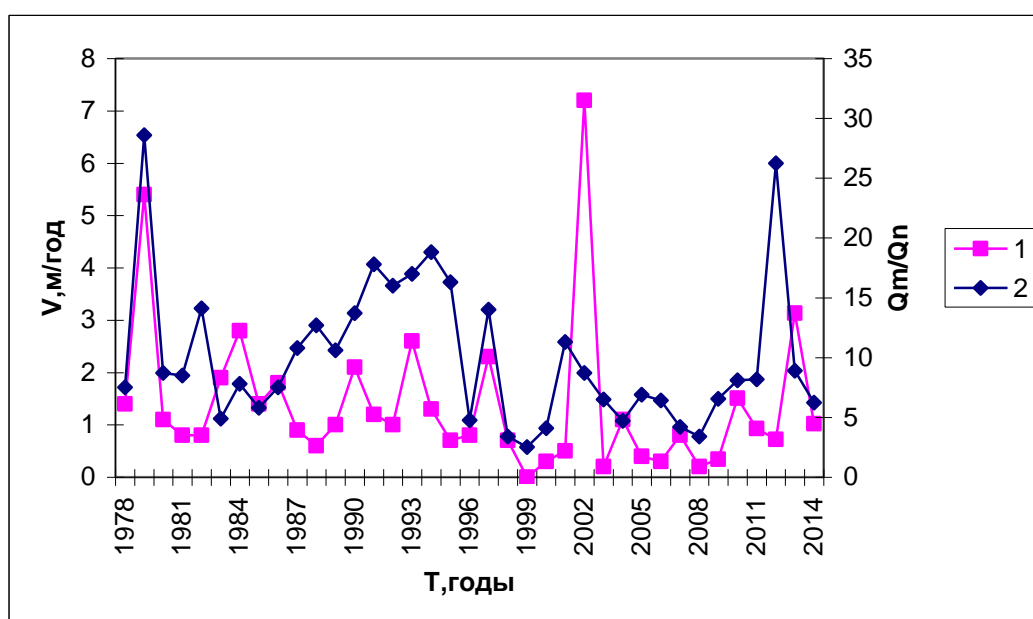


Рис. 4.21. Динамика прироста оврагов и интенсивность половодного стока на ключевых участках у г. Ижевска за 1978-2014 гг., где 1 - среднегодовой прирост оврагов, 2 - интенсивность половодного стока

Продолжительность снеготаяния и интенсивность снеготаяния не всегда обеспечивают высокий поверхностный сток, зависящий от множества факторов. Поэтому связь скорости прироста оврагов с интенсивностью снеготаяния ( $r = 0,257$ ,  $\eta = 0,302$ ,  $\eta^2 = 0,091$ ) и продолжительностью снеготаяния ( $r = - 0,152$ ,  $\eta = 0,364$ ,  $\eta^2 = 0,132$ ) практически отсутствует. На таком же уровне связь скоростей роста

техногенных оврагов с глубиной промерзания почв ( $r = 0,255$ ,  $\eta = 0,383$ ,  $\eta^2 = 0,147$ ) (рис. 4.22). Совершенно никакого влияния не оказали и значения запасов воды в снежном покрове ( $r = 0,028$ ,  $\eta = 0,283$ ,  $\eta^2 = 0,080$ ).

Все овраги ключевого участка у с. Крымская Слудка относятся к селитебному морфогенетическому типу, для их анализа использовались данные ГМС с. Вавож и гидропоста на р. Вала [Приложение 2]. В случае отсутствия показателей в отдельные годы применялись данные близкорасположенной ГМС г. Можги.

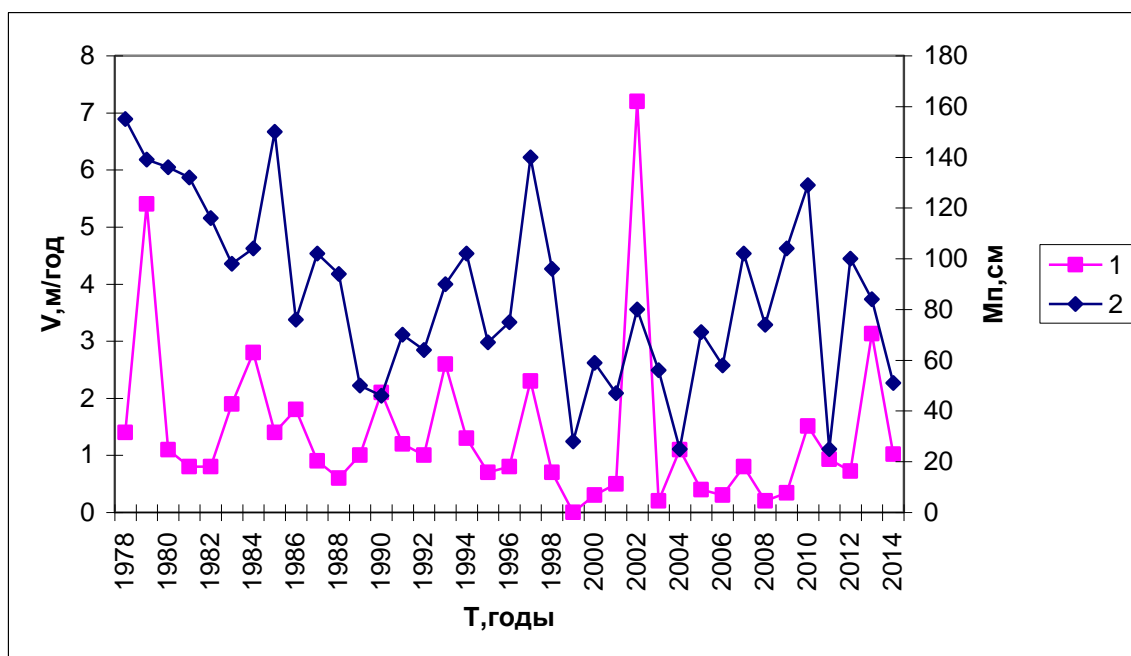


Рис. 4.22. Динамика прироста оврагов и глубина промерзания почв на ключевых участках у г. Ижевска за 1978-2014 гг., где 1 - среднегодовой прирост оврагов, 2 – глубина промерзания почв

Весь период наблюдения за данными оврагами можно разделить на 2 части – до 2001 г. и после. В начале исследования в годы с интенсивным поверхностным стоком средняя скорость роста оврагов на этом стационаре достигала 2,6-3,6 м/год. В годы с низким поверхностным стоком, часто совпадающим с малоснежными зимами (1980-1981 гг.), активность резко снижается (0,6-0,9 м/год). В последующие годы почти все гидрометеорологические показатели были низкими, соответственно, значительного прироста оврагов не наблюдалось. Картина поменялась в 2001 году. Скорость роста оврагов достигла максимального значения – 8,7

м/год, а интенсивность половодного стока минимума (рис. 4.23). В 2007 г. ситуация повторилась. Оставшиеся гидрометеорологические показатели не достигали экстремальных результатов.

В 2001 г. один из оврагов размыл старую уличную ливневую канализацию, которая, концентрируя сток со всей улицы, способствовала его активному росту. Таким образом, подтверждается вывод о слабом влиянии на рост оврагов в данном случае интенсивности половодного стока ( $r = 0,049$ ,  $\eta = 0,296$ ,  $\eta^2 = 0,087$ ).

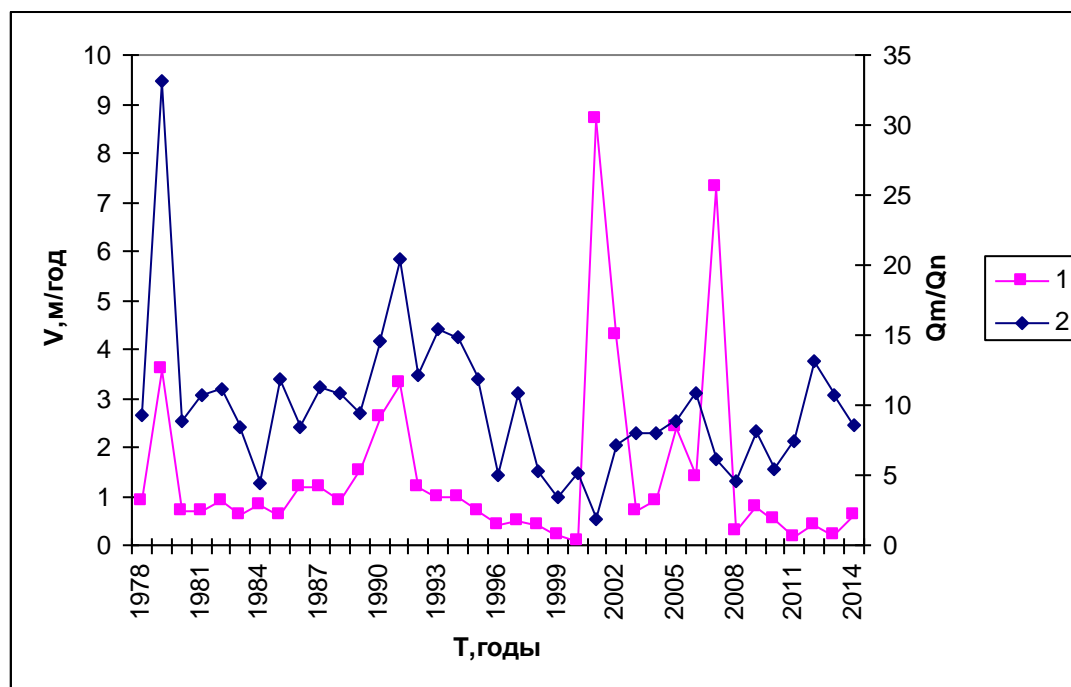


Рис. 4.23. Динамика прироста оврагов и интенсивность половодного стока на ключевом участке «Крымская Слудка» за 1978-2014 гг., где 1 – среднегодовой прирост оврагов, 2 - интенсивность половодного стока

Если рассмотреть показатели только до 2001 г. то их корреляционная связь достигнет 0,84. Поэтому становится очевидным сильнейшее влияние на рост оврагов технических сооружений на территории населенного пункта. Связь между скоростью роста оврагов, интенсивностью снеготаяния также не значительна ( $r = -0,175$ ,  $\eta = 0,169$ ,  $\eta^2 = 0,028$ ) Отличается только значение показателя связи с глубиной промерзания почв ( $r = -0,193$ ,  $\eta = 0,479$ ,  $\eta^2 = 0,229$ ). Коэффициент детерминации, позволяющий судить о силе влияния фактора, оказался несколько

значительнее остальных. Связь с остальными показателями оказалась несущественной. Максимальный коэффициент корреляции не превышает 0,2.

Овраги ключевых участков «Соколовка», «Мазунино», «Кулюшево» и «Каракулино» расположены в Сарапульском и Каракулинском районах. Они в большинстве случаев размывают прочные коренные породы и находятся на второй и третьей стадиях развития. Отмечаются сравнительно медленным ростом. Для анализа их ежегодного прироста использовались данные ГМС г. Сарапула и гидропоста на р. Большая Сарапулка (д. Поркачево). Поскольку гидропост на р. Б.Сарапулка в 1994 г. был закрыт, то с 1995 года использовались данные близко расположенного гидропоста на р. Позимь (Ижевск) [Приложение 2].

«Максимум» активности в приросте оврагов здесь также приходится на 1979 г., второй «максимум» относится к 1991 г., как на предыдущих стационарах (рис. 4.24). В 1991 г., в отличие от предыдущего максимума, накоплено больше воды в снеге, а показатель промерзания почв остался аналогичным 1979 г. Тем не менее, интенсивность снеготаяния в 1991 г. оказалась существенно ниже. В последующие годы рост оврагов несколько замедлился, несмотря на благоприятные для оврагообразования гидрометеорологические условия.

Скорости оврагов на данных ключевых участках, в целом не высокие. В итоге зависимость скорости роста оврагов от глубины промерзания почвы ( $r = 0,076$ ,  $\eta = 0,255$ ,  $\eta^2 = 0,065$ ) и интенсивности снеготаяния ( $r = -0,038$ ,  $\eta = 0,310$ ,  $\eta^2 = 0,096$ ) оказалась несущественной.

Более отчетливо проявляется зависимость среднегодового прироста оврагов лишь от интенсивности половодного стока за период с 1978 по 1994 годы ( $r = 0,557$ ,  $\eta = 0,354$ ,  $\eta^2 = 0,125$ ). К сожалению, данных по интенсивности половодного стока после 1994 года нет вследствие закрытия гидропоста на р. Большая Сарапулка (д. Поркачево). Довольно низкой оказалась связь интенсивности прироста оврагов с продолжительностью снеготаяния ( $r = 0,118$ ,  $\eta = 0,387$ ,  $\eta^2 = 0,150$ ) и с максимальными запасами воды в снеге ( $r = 0,145$ ,  $\eta = 0,426$ ,  $\eta^2 = 0,182$ ) (рис. 4.24).

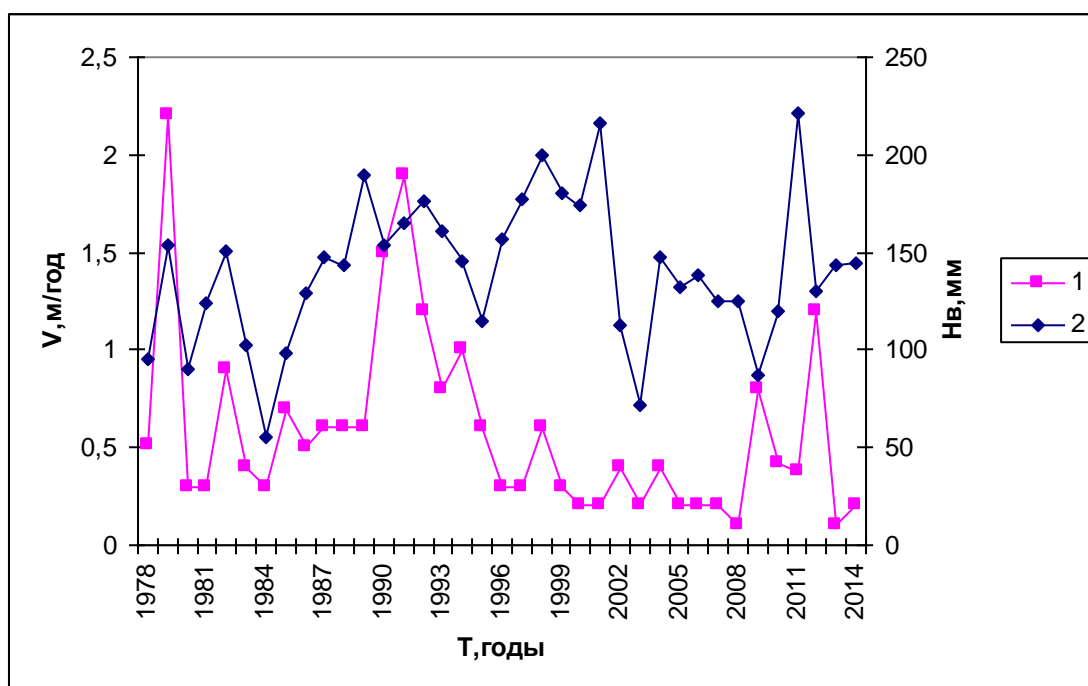


Рис. 4.24. Динамика прироста оврагов и максимальных запасов воды в снеге на ключевых участках в Сарапульском и Каракулинском районах УР за 1978-2014 гг., где 1 – среднегодовой прирост оврагов, 2 – максимальные запасы воды в снеге

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, их влагоемкости и ряда других факторов. Исходя из проведенного корреляционного анализа, связь большинства гидрометеорологических факторов с интенсивностью оврагообразования носит в большей степени неоднородный характер, усугубляемый или нивелируемый местными техногенными факторами.

Влияние на среднегодовой прирост оврагов метеорологических условий летнего периода рассмотрено для ключевых участков, расположенных у г. Ижевска, где проводились сезонные наблюдения. В анализ включены следующие показатели:

- 1) максимальное значение суточного слоя ливневых осадков ( $X_{\max}$ , мм);
- 2) сумма осадков за теплый период ( $\Sigma X_{\text{т.п.}}$ , мм).

Анализ данных свидетельствует о наличии крайне слабой связи между рассматриваемыми метеорологическими факторами летнего периода и интенсивностью прироста оврагов, что подтверждается данными корреляционного анализа [Приложение 3]. Так, связь прямолинейна, но находится на крайне низком уровне, а возможные погрешности при определении генерального параметра столь велики, что вызывают довольно высокие интервалы доверительных границ для получаемых показателей. При этом достоверность их не превышает 30% для коэффициента корреляции. Все это подтверждает крайне низкую связь рассматриваемых факторов с интенсивностью роста оврагов. Как показывают результаты проведенных нами в 2011 году сезонных наблюдений, доля летнего прироста в годовом росте оврагов на рассматриваемых стационарах колеблется в большинстве случаев в пределах лишь 5-20%, что подтверждает выводы, сделанные И.И. Рысиным [1998]. В результате проведенных И.И. Рысиным [1998] исследований выявлено, что критическими (пороговыми) для интенсивного роста оврагов являются значения суточного слоя ливней, близкие к 60 мм.

Подтверждением послужили последствия ливня 19 июня 2012 г., когда за 12 часов выпало 75 мм осадков. В частности, образовался овраг на ул. 3-я Подлесная в Октябрьском районе г. Ижевска протяженностью около 20 м и глубиной до 1,5 м (рис. 4.25).

Поскольку развитие оврага непосредственно угрожало жилым постройкам, он был оперативно, в течение недели, засыпан. Подобных ливней на территории г. Ижевска не наблюдалось с 2004 г. Немало негативных последствий зафиксировано после интенсивных ливней 4 и 5 июля 2014 г., когда сумма выпавших осадков за 2 дня превысила 50 мм (рис. 4.26).



Рис. 4.25. Овраг, возникший после катастрофического ливня 19 июня 2012 г. на ул. 3-я Подлесная в Октябрьском районе г. Ижевска



Рис. 4.26 Последствия интенсивных ливней 4-5 июля 2014 г. на ул. Коммунаров в Индустриальном районе г. Ижевска



В целом, исходя из рассмотренных показателей, можно сделать вывод, что рост оврагов в летне-осенний период в среднегодовом приросте существенно уступает весеннему приросту. Наибольшее воздействие на летний прирост техногенных оврагов из рассмотренных показателей оказывает сумма осадков за теплый период. Показатель максимального значения суточного слоя ливневых осадков имеет меньшее значение, но только до 40-50 мм. Ливни обычно непродолжительны, отличаются нерегулярностью выпадения, что вместе с высокими водопоглощающими и защитными свойствами почвогрунтов определяет незначительный прирост оврагов в летний период.

Таким образом, развитие техногенных оврагов отличается пульсационным характером и очень высокими амплитудами средних скоростей роста – от 0,2 м/год в 1999 г. до 10,2 м/год в 2011 г. Скорости же годового прироста отдельных оврагов могут достигать более двух сотен метров. При этом данные показатели не зависят ни от гидрометеорологических условий, ни от времени года. Наибольшее влияние на динамику техногенного оврагообразования оказывают площадь водосбора оврага и длина склона, на котором идет его развитие.

## **5. ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ОБРАЖНОЙ ЭРОЗИИ И ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ**

### **5.1. Прогнозирование скорости роста оврагов**

Прогнозирование развития техногенного оврагообразования очень сложно осуществлять, поскольку на рост оврагов очень слабое влияние оказывают основные факторы, вызывающие их активность. Гораздо большее влияние имеют индивидуальные локальные особенности местоположения каждого оврага по отношению к техногенным производным, каким-либо образом оказывающим влияние на прирост эрозионной формы. Поэтому, для чистоты анализа отобраны четыре временных ряда среднегодовых скоростей роста оврагов по различным регионам УР за последние 34 года (с 1978 по 2011 гг.), относящихся как к техногенным, так и к агрогенным. При выборе ключевых участков мы учитывали следующие особенности: а) на исследуемых оврагах не применялись противоэрозионные и другие мероприятия, препятствующие их развитию; б) более половины наблюдаемых на участках оврагов характеризуются признаками роста; в) вблизи ключевых участков должны быть гидрометеостанции, чтобы в дальнейшем определить влияние гидрометеорологических условий на рост оврагов.

Целью работы является построение математической модели динамики изменения скоростей оврагообразования, учитывающей периодическую составляющую и позволяющей прогнозировать будущие скорости роста оврагов на ближайшие годы. Математическое моделирование осуществлялось при участии доктора физико-математических наук, профессора А.В. Лётчикова, оказавшего консультационные услуги. Ранее для прогнозирования роста оврагов за 20-летний период (1978 – 1997 гг.) была разработана мультипликативная модель [Лётчиков, Рысин, Чиркова, 1999].

Исходные данные представлены в Приложении 4. Графики представленных временных рядов приведены на рис. 5.1.

Первичный кросс-корреляционный анализ показал сильную зависимость приведенных временных рядов, что дает основания для построения единой математической модели для всех приведенных рядов.

Полученные коэффициенты корреляции Пирсона приведены в таблице 5.1.

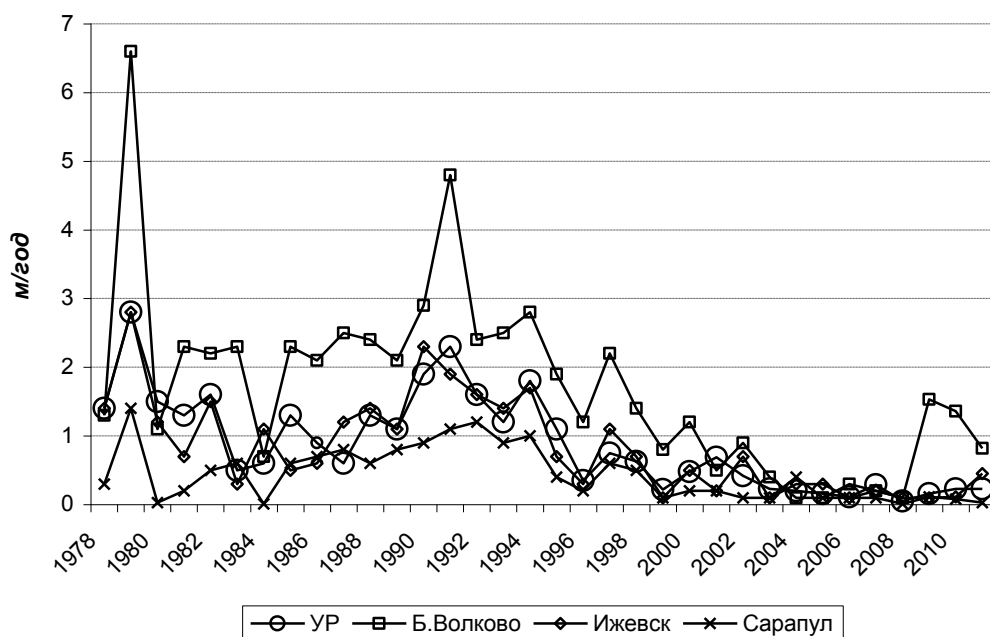


Рис. 5.1 Графики временных рядов по ключевым участкам (Б. Волково, Ижевск, Сарапул) и по всем наблюдаемым оврагам на территории Удмуртии

Таблица 5.1

Корреляционная матрица зависимостей временных рядов

Территории	УР	Б. Волково	Ижевск	Сарапул
УР	1,00	0,85	0,91	0,77
Б. Волково	0,85	1,00	0,81	0,85
Ижевск	0,91	0,81	1,00	0,79
Сарапул	0,77	0,85	0,79	1,00

**Описание математической модели.** В общем случае для каждого исходного временного ряда исследовалась последовательность положительных чисел  $x(t)$  ( $t=1, \dots, 34$ ), характеризующая среднегодовые скорости оврагообразования по территории. При анализе построенных графиков временных рядов наилучшую аппроксимацию дала экспоненциальная функция. Поэтому для дальнейшего анализа рассматривался ряд логарифмов  $y(t) = \ln(x(t))$ , приведенный в таблице 5.2.

Таблица 5.2

## Ряды логарифмов скоростей оврагообразования

Годы	УР	Б. Волково	Ижевск	Сарапул
1978	0,3365	0,2624	0,3365	-1,2040
1979	1,0296	1,8871	1,0296	0,3365
1980	0,4055	0,0953	0,1823	-3,5066
1981	0,2624	0,8329	-0,3567	-1,6094
1982	0,4700	0,7885	0,4055	-0,6931
1983	-0,6931	0,8329	-1,2040	-0,5108
1984	-0,5108	-0,3567	0,0953	-4,6052
1985	0,2624	0,8329	-0,6931	-0,5108
1986	-0,1054	0,7419	-0,5108	-0,3567
1987	-0,5108	0,9163	0,1823	-0,2231
1988	0,2624	0,8755	0,3365	-0,5108
1989	0,0953	0,7419	0,0953	-0,2231
1990	0,6419	1,0647	0,8329	-0,1054
1991	0,8329	1,5686	0,6419	0,0953
1992	0,4700	0,8755	0,4700	0,1823
1993	0,1823	0,9163	0,3365	-0,1054
1994	0,5878	1,0296	0,5306	0,0000
1995	0,0953	0,6419	-0,3567	-0,9163
1996	-1,0498	0,1823	-1,2040	-1,6094
1997	-0,2877	0,7885	0,0953	-0,5108
1998	-0,4620	0,3365	-0,3567	-0,6931
1999	-1,5141	-0,2231	-2,3026	-2,3026
2000	-0,7340	0,1823	-0,6931	-1,6094
2001	-0,3711	-0,6931	-1,6094	-1,6094
2002	-0,8675	-0,1054	-0,3567	-2,3026
2003	-1,4697	-0,9163	-2,3026	-2,3026
2004	-1,6094	-2,3026	-1,2040	-0,9163
2005	-1,8326	-2,3026	-1,2040	-2,3026
2006	-2,2073	-1,2040	-2,3026	-2,3026
2007	-1,2379	-1,6094	-1,6094	-2,3026
2008	-2,9957	-2,3026	-2,3026	-4,6052
2009	-1,8326	0,4253	-2,3026	-2,2073
2010	-1,4697	0,3075	-2,2073	-2,5257
2011	-1,4697	-0,1985	-0,7985	-3,5066

Из полученного ряда был выделен тренд:

$$y(t) = f(t) + z(t),$$

где  $z(t)$  - остатки временного ряда после выделения тренда. В качестве универсального тренда для всех кривых была выбрана следующая функция (рис. 5.2):

$$f(t) = c_0 + c_1 t + c_2 t^2 + c_3 t^{5/2}. \quad (1)$$

Из остатков  $z(t)$  выделялась периодическая (гармоническая) составляющая  $g(t)$  периода  $T$ :  $z(t) = g(t) + e(t)$ . Для выбора периода  $T$  строилась периодограмма  $I(T)$  ( $T = 2, \dots, 14$ ) по следующему алгоритму. Вначале для каждого  $T$  находились следующие величины:

$$A(T) = \sum_{t=1}^{34} z(t) \cdot \cos\left(\frac{2\pi t}{T}\right), B(T) = \sum_{t=1}^{34} z(t) \cdot \sin\left(\frac{2\pi t}{T}\right).$$

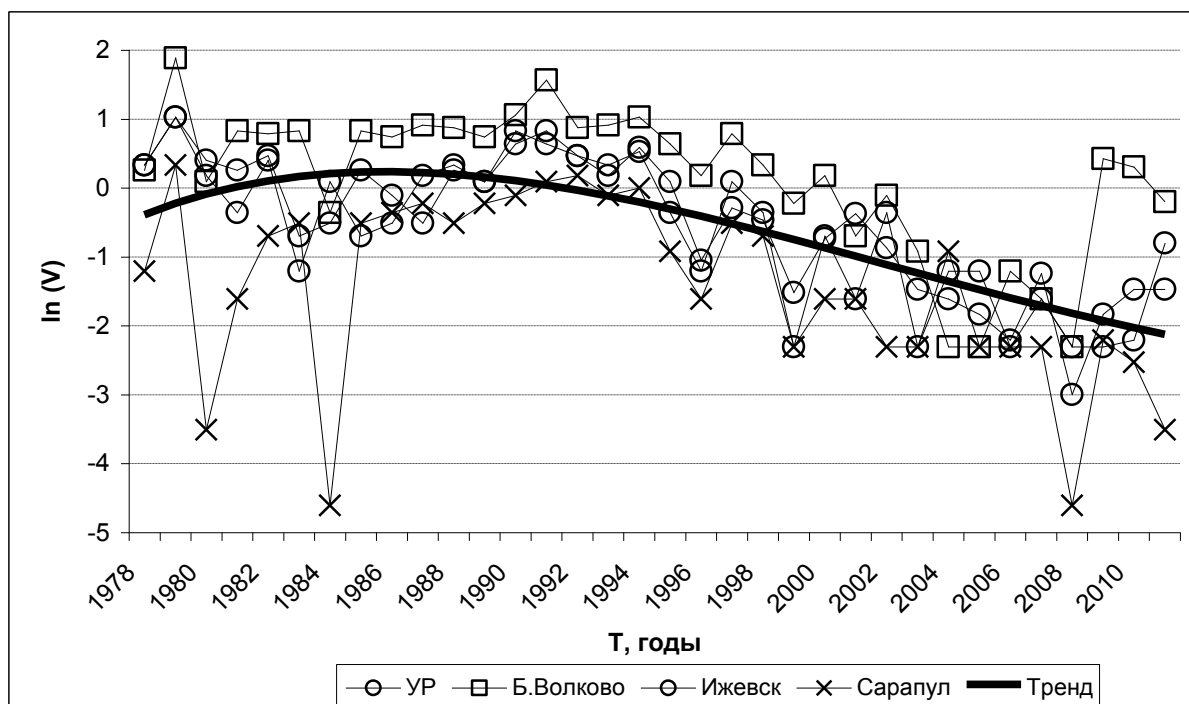


Рис. 5.2. Графики временных рядов логарифмов и выделенного тренда

Из полученных величин находилась периодограмма (рис. 5.3):

$$I(T) = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{1}{34} \cdot (A^2(T) + B^2(T)).$$

Проанализировав все периодограммы, в качестве основного периода выбран  $T = 12$ . Для него построен ряд Фурье:

$$g(t) = \sum_{k=1}^6 a_k \cdot \cos\left(\frac{2\pi kt}{T}\right) + \sum_{k=1}^5 b_k \cdot \sin\left(\frac{2\pi kt}{T}\right). \quad (2)$$

Таким образом, в результате комплексного анализа всех временных рядов была построена общая математическая модель динамики скоростей оврагообразования, описываемая следующим уравнением:

$$y(t) = f(t) + g(t) + e(t), \quad (3)$$

где функции  $f(t)$  и  $g(t)$ , заданные по формулам (1) и (2), определяют детерминированную составляющую модели,  $e(t)$  является стохастической составляющей.

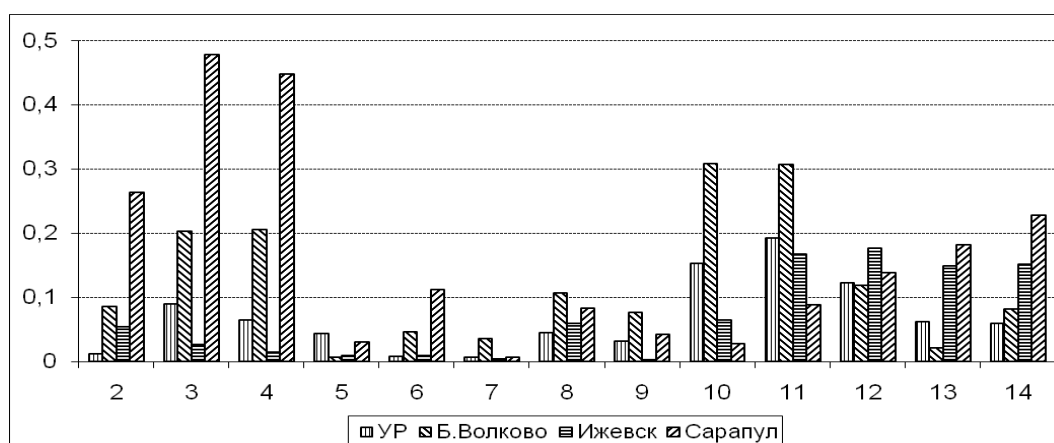


Рис. 5.3 Периодограммы остатков после выделения трендов

Выделение детерминированной составляющей проводилось методом наименьших квадратов с вычислением коэффициентов построенной модели  $a_1, \dots, a_6, b_1, \dots, b_5, c_0, \dots, c_3$  для каждого заданного временного ряда по отдельности. Вычисленные коэффициенты детерминации и значения статистики Фишера показывают о наличии линейной связи компонент детерминированной составляющей и исследуемых временных рядов. Показатели адекватности моделей приведены в таблице 5.3. Графики логарифмов значений анализируемых временных рядов и выделенной детерминированной составляющей представлены на рисунках 5.4 – 5.7.

После выделения детерминированной составляющей анализировалась на автокорреляцию стохастическая составляющая. Для этого строилась периодограмма остатков, и высчитывались

автокорреляция с лагом 1 и статистика Дарбина-Уотсона. Результаты проведенного анализа представлены на рис. 5.8 и в таблице 5.4.

Таблица 5.3

Коэффициенты детерминации и статистика Фишера

Показатели адекватности модели	УР	Б. Волково	Ижевск	Сарапул
Коэффициент детерминации $R^2$	0,82	0,72	0,68	0,71
Статистика Фишера	6,05	3,47	2,93	3,27

Таблица 5.4

Коэффициенты автокорреляции и статистика Дарбина-Уотсона

Показатели	УР	Б. Волково	Ижевск	Сарапул
Коэффициент автокорреляции АКФ(1)	0,34	0,63	-0,08	-0,08
Статистика Дарбина-Уотсона	1,25	0,74	2,06	2,12

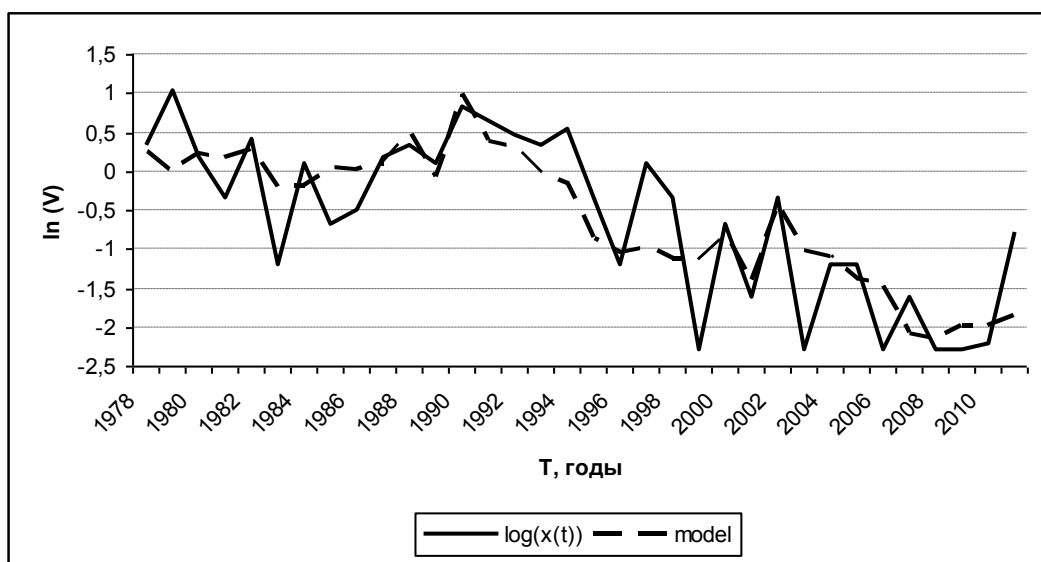


Рис. 5.4 Графики логарифмов значений временного ряда УР и выделенной детерминированной составляющей

Для временных рядов Ижевск и Сарапул проведенный анализ показал слабую автокорреляционную зависимость остатков. Для них дальнейшее моделирование не проводилось. Для рядов УР и Б. Волково, у

которых проведенный анализ не показывал отсутствие автокорреляции остатков временного ряда, была построена авторегрессионная модель первого порядка:

$$e(t) = d_0 + d_1 e(t-1) + \varepsilon_t. \quad (4)$$

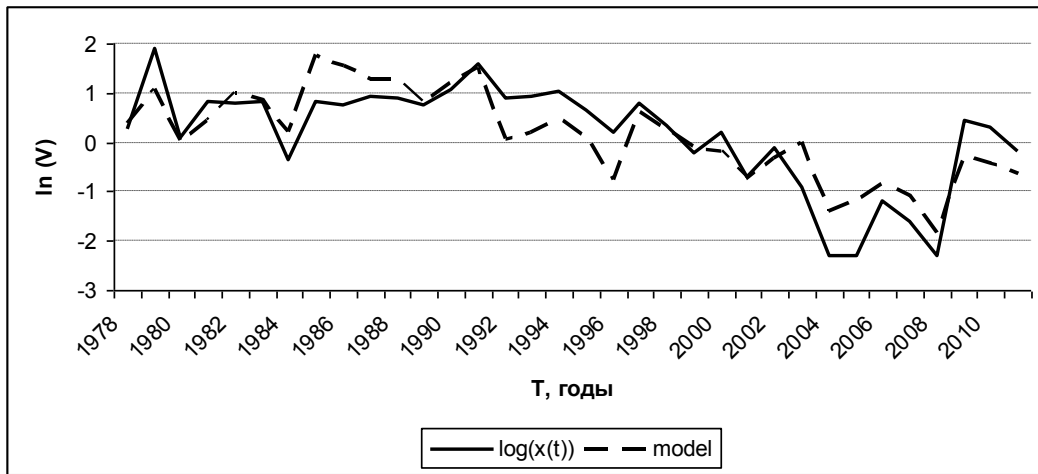


Рис. 5.5 Графики логарифмов значений временного ряда Б. Волково и выделенной детерминированной составляющей

Остатки новой модели снова анализировались на автокорреляцию остатков  $\varepsilon_t$ . Результаты проведенного анализа представлены на рис. 5.9 и в табл. 5.5.

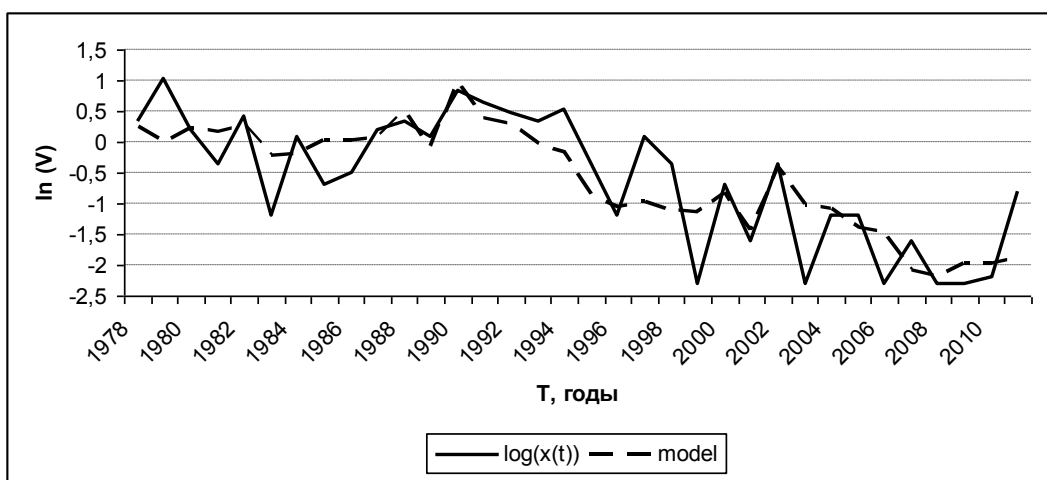


Рис. 5.6 Графики логарифмов значений временного ряда Ижевск и выделенной детерминированной составляющей



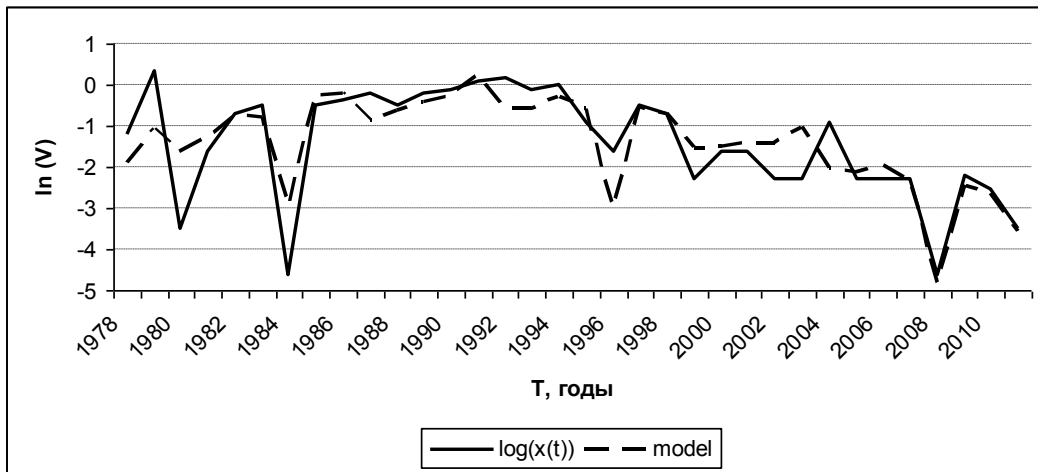


Рис. 5.7 Графики логарифмов значений временного ряда Сарапул и выделенной детерминированной составляющей

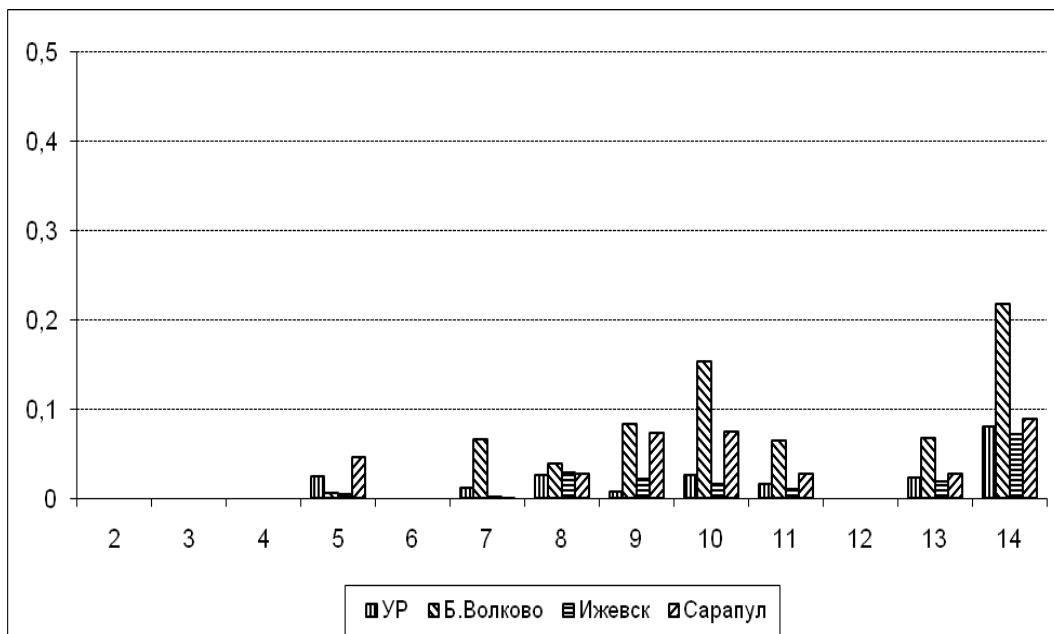


Рис. 5.8 Периодограммы остатков после выделения трендов и гармонической КОМПОНЕНТЫ

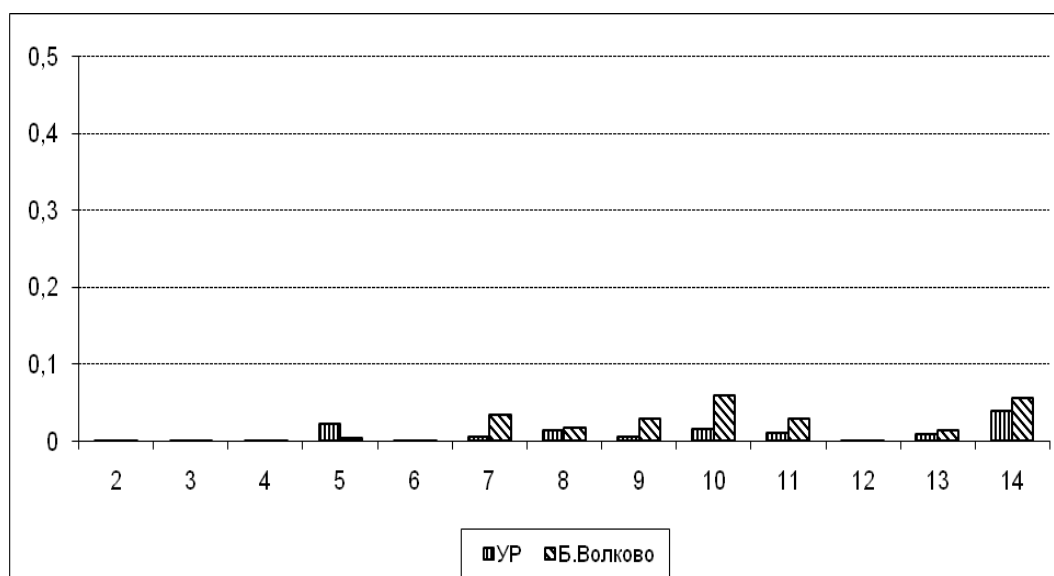


Рис. 5.9 Периодограммы остатков модели авторегрессии первого порядка

Таблица 5.5

Коэффициенты автокорреляции и статистика Дарбина-Уотсона остатков модели авторегрессии первого порядка

Показатели	УР	Б.Волково
Коэффициент автокорреляции АКФ(1)	-0,06	-0,04
Статистика Дарбина-Уотсона	1,99	1,96

**Построение прогноза.** Целью построения описанной динамической модели временных рядов была их экстраполяция и прогнозная оценка будущих значений на ближайшие четыре года. Для построения прогноза для рядов Ижевск и Сарапул применялась следующая формула:

$$x(t) = \exp\{f(t) + g(t)\}, t = 35, \dots, 38, \quad (5)$$

где функции  $f(t)$  и  $g(t)$  определены по формулам (1) и (2), коэффициенты которых были найдены при построении математической модели. Соответственно прогнозные значения временных рядов УР и Б. Волково находились по следующим формулам:

$$x(t) = \exp\{f(t) + g(t) + e(t)\}, t = 35, \dots, 38,$$

где  $e(t)$  рассчитывалась по рекуррентной формуле:

$$e(t) = d_0 + d_1 e(t - 1).$$

Полученные прогнозные значения рядов представлены в таблице 5.6.

Таблица 5.6

## Прогноз среднегодовой скорости роста оврагов (м/год)

Годы	УР	Б.Волково	Ижевск	Сарапул
2012	0,232	0,834	0,255	0,029
2013	0,236	0,580	0,169	0,030
2014	0,264	1,079	0,581	0,029
2015	0,295	1,916	0,399	0,042

Во время экспедиционных полевых исследований 2012-2015 г.г. были получены средние скорости годового прироста оврагов по анализируемым ключевым участкам и в целом по территории Удмуртской Республики (табл.5.7). Данные таблицы показывают, что на всех ключевых участках, несмотря на некоторые различия в конкретных величинах прироста, совпали тенденции развития оврагов. В целом, измеренные скорости роста оврагов в 2012-2014 годах показали значительную степень совпадения с ожидаемым прогнозом. Данные 2015 г. имеют уже достаточно большую разницу с прогнозом.

Таблица 5.7

## Измеренные значения среднегодовых скоростей роста оврагов (м/год)

Год	УР	Б. Волково	Ижевск	Сарапул
2012	0,27	1,09	0,26	0,09
2013	0,15	0,93	0,18	0,06
2014	0,25	1,13	0,43	0,06
2015	0,24	0,42	1,36	0,11

Таким образом, имея длительный ряд натурных наблюдений можно достаточно точно спрогнозировать развитие овражной эрозии на ближайшие 3 года, но при соблюдении некоторых условий. Так, например, по ключевым участкам прогнозирование оправдалось в значительной степени, но для всей территории Удмуртии только частично. Техногенное оврагообразование в чистом виде достаточно сложно подвести к подобным условиям вследствие высокой зависимости от сопутствующих техногенных условий местоположения каждого оврага.

## 5.2. Практические рекомендации

Результаты исследования техногенных оврагов и условий, влияющих на их развитие, позволяют сформировать некоторые выводы и решить ряд вопросов.

Нами выделяется несколько типов техногенных оврагов. На их образование и развитие воздействуют разные условия. Поэтому для каждого типа техногенных оврагов должен быть разработан свой комплекс мероприятий по противодействию не только развитию эрозионного процесса, но и его зарождению.

Широко известны методы предупреждения появления и развития эрозионных процессов на откосах автомобильных дорог [Иванов,1988,2001; Калантаров и др.,1999]. Техногенные придорожные овраги, несомненно, являются частью этих процессов, включающих плоскостную эрозию, оползневые и осыпные процессы. Несмотря на проведение противоэрозионных мероприятий, планирование которых начинается еще на стадии проектных работ, придорожные овраги в настоящее время являются наиболее многочисленным типом среди техногенных оврагов на территории Удмуртии.

Выделяемые нами подтипы водопропускных и кюветных оврагов имеют свои особенности, описанные выше. Для водопропускных оврагов, развивающихся обычно по естественным понижениям рельефа, основной причиной активизации является концентрация стока в переходах под дорожным полотном. Поэтому важнейшей задачей предотвращения появления водопропускных оврагов является гашение энергии водного потока. Традиционное применение бетонных водоотводных конструкций не всегда приводит к положительному результату (рис. 5.10).

В качестве альтернативного метода применяется искусственное озеленение, то есть создание мощного дернового слоя на основе специальных биоматов, способствующего равномерному распределению и гашению энергии концентрированного водного потока. Подобными биоматами на основе растительного волокна, предлагается перехватывать сток в момент выхода его из водопропускного сооружения. Недостатком этого метода является разложение растительного наполнителя через несколько лет эксплуатации. Повторные работы увеличивают стоимость

работ, что негативно отражается на возможности более широкого применения данного метода.



Рис. 5.10. Разрушение водоотводного бетонного лотка активно растущим оврагом ниже водопропуска у д.Соколовка Сарапульского района УР

Кюветные овраги развиваются вдоль дорожных насыпей. Основной причиной их активного роста является наличие незадернованных поверхностей в искусственно созданной кюветной выемке на склонах, имеющих противоэрозионной защиты бетонных или асфальтовых лотков также не всегда помогает, а чаще всего и усиливает разрушающую энергию водного потока (рис. 5.11). При катастрофическом росте оврага разрушение может угрожать и дорожной насыпи.

Техногенные овраги промышленно-стокового типа наблюдаются нами преимущественно на площадках нефтедобычи. Основной причиной их роста является слив технических вод и геоморфологические условия территории. Очень часто слив технических вод происходит на нарушенные грунты, не имеющие постоянного растительного покрова (рис. 5.12). Практически сразу возникает сеть микроручейков, через некоторое время перерастающая в сеть промоин, ниже по склону

перерастающая в полноценный овраг, относящийся к промышленно-стоковым. Основным путем решения этих проблем может быть обустройство сливных площадок устройствами рассеивания и гашения энергии водного потока. Даже если геоморфологические условия территории способствуют развитию эрозионных процессов, отсутствие сконцентрированного стока будет им препятствовать. Однако в настоящее время нефтедобывающие организации предпочитают бороться со следствием эрозионных процессов путем засыпания образующихся оврагов грунтом, а не с причинами.

Один из оврагов за 7 лет наблюдений засыпался полностью дважды, но в течение 2-3 лет восстанавливался, вымывая весь грунт. Несомненно, данные мероприятия весьма дорогостоящие. Обустройство рассеивающими водный поток устройствами зоны слива получится в итоге дешевле и эффективнее.



Рис.5.11. Разрушение асфальтового лотка растущим кюветным оврагом у с.Бемыж Кизнерского района УР

Сельские и урбаногенные овраги имеют немало как отличий, так и похожих черт. Их главное отличие в местоположении – в сельском населенном пункте развивается овраг или в пределах городской застройки. Есть одна общая черта для данных типов оврагов – это постепенное превращение их в место свалки различного мусора – бытового и строительного. Отличительной особенностью урбаногенных оврагов от сельских является относительно короткий период существования в активной фазе. Бюджеты городских служб несопоставимы с сельскими, поэтому при активном развитии овраг почти сразу засыпается и проводится комплекс противоэрозионных работ, чаще всего включающий обустройство бетонных лотков. Часто эрозионные процессы, доходящие даже до возникновения урбаногенных оврагов, возникают на нарушенных во время строительства землях (рис. 5.13). Основной причиной здесь является несоблюдение проектных рекомендаций и нарушение технологий благоустройства территорий.



Рис. 5.12. Водосливное устройство с площадки нефтедобычи на Медведевском месторождении в Завьяловском районе УР

Представлен на территории Удмуртии еще один тип оврагов – урбоовраги. В частности, на территории г.Ижевска урбоовраги представлены в Устиновском районе. Спальными жилыми кварталами прилегающая территория начала активно застраиваться в 70-80-е годы прошлого века и первоначально строительство обходило овраги стороной.

Начиная с 90-х годов прошлого века стали возрастать случаи воздействия на овраги в виде засыпки и строительства на этих площадках как жилых, так и нежилых построек. Примерами активного преобразования древних урбооврагов могут служить районы улиц Труда и Т. Барамзиной. В первом случае часть оврага была преобразована в рекреационную зону для прогулок и активного отдыха (катание на лыжах, тюбингах и т.п.) (рис. 5.14), еще одна часть оврага была засыпана и в настоящее время идет активное строительство нежилого здания.

На ул. Т. Барамзиной часть оврага также была засыпана и на данной площадке идет строительство 17-ти этажного жилого дома. Таким образом, с ростом населения и нехваткой площадей для строительства древняя овражная сеть на территории г. Ижевска начинает активно преобразовываться.



Рис. 5.13. Эрозионные процессы на плохо укрепленном склоне после окончания строительных работ в г. Ижевске



Использование овражно-балочных систем для рекреационных целей в настоящее время рассматривается во многих городах страны [Ковалев, Любимов, 2005]. Если рекреационная составляющая способствует положительному взаимодействию человека и рельефа, то остается надеяться, что застройка и полное преобразование оврагов не вызовут негативных последствий в виде активизации эрозионных процессов. Несомненно, при проектировании подобных работ и строительстве должны учитываться исследования геоморфологов, должен вестись постоянный технический надзор на период строительства с целью соблюдения соответствующих строительных норм и правил, осуществляться геодезический контроль возможных просадок построенных зданий и коммуникаций и мониторинг возможных проявлений овражной эрозии, суффозионных и осыпных процессов.



Рис. 5.14. Рекреационная зона в урбоовраге между ул. Молодежная и 40 лет Победы в Устиновском районе г. Ижевска

Карьерные овраги, нечасто встречающиеся на территории Удмуртии, редко развиваются в полноценные овраги. Однако, для своевременного

предотвращения их активного роста необходимо проведение рекультивационных работ после выработки полезных ископаемых.

Несмотря на все многообразие противоэрозионных методов, лучшими из них являются те, которые предотвращают появление эрозионных процессов, а не пытаются остановить рост уже существующих оврагов. Необходимым условием эффективности применения является их комплексное использование с учетом индивидуальных природных особенностей потенциально эрозионно-опасного места.

## Заключение

В представленной монографии рассмотрены пространственно-временные закономерности формирования сети техногенных оврагов в пределах Удмуртской Республики. Итогом стали следующие основные выводы и результаты.

1. Анализ физико-географических условий показал, что большое влияние на современное состояние овражной сети региона и активное развитие оврагов оказывают следующие факторы - мощность лессовидных суглинков, глубина местных базисов эрозии, некоторые климатические показатели (количество и интенсивность осадков, глубина промерзания почв, количество воды в снежном покрове и др.), показатель лесистости региона и хозяйственная деятельность человека.

2. Представлена морфогенетическая типизация техногенных оврагов, которая включает следующие типы: придорожные, промышленно-стоковые, селитебные и карьерные. Придорожные овраги, в свою очередь, делятся на кюветные и водопропускные. Селитебные подразделяются на сельские (руральные) и урбаногенные. Определены их морфолого-морфометрические показатели.

3. Созданная база данных овражно-эрозионных процессов позволила с помощью геоинформационных систем создать карты густоты и плотности техногенных оврагов на территории УР и ряд факторных карт – лесистости, половодного и паводочного стока, средних уклонов склонов, эрозионной прочности почвогрунтов и другие.

4. Распространение техногенных оврагов на территории Удмуртии крайне неравномерно, что подчеркивает их азональный характер, и зависимость от антропогенной освоенности региона. Появление техногенных оврагов вызывается антропогенными предпосылками (нарушение норм, правил и требований природопользования). Развитие техногенных оврагов является результатом совместного действия всех групп факторов – геолого-геоморфологических, климато-гидрологических и антропогенных – в условиях техногенно нарушенных земель, где ни один из анализируемых факторов не является доминирующим.

5. Развитие техногенных оврагов отличается пульсационным характером и очень высокими амплитудами скоростей роста, не

зависящими ни от гидрометеорологических условий, ни от времени года. При этом наибольшее влияние на темпы их прироста оказывают водосборные площади оврага ( $r=0,93$ ), длины склонов на водосборе ( $r=0,78$ ), состав размываемых ими грунтов и интенсивность половодного стока.

6. Выявлена общая закономерность в многолетней динамике: тенденция к затуханию агрогенных оврагов и активизации техногенных.

7. Построена математико-статистическая модель роста оврагов за 34-летний период наблюдений с целью прогнозирования развития овражной эрозии на ближайшие четыре года. Измеренные скорости роста оврагов в 2012-2014 годах показали значительную степень совпадения с ожидаемым прогнозом.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Арманд Д.Л. Антропогенные эрозионные процессы // Сельскохозяйственная эрозия и борьба с нею. М.: Изд-во АН СССР, 1956. С. 7 – 37.
2. Арманд Д.Л. Развитие эрозионных процессов на Приволжской возвышенности // Сельскохозяйственная эрозия и новые методы ее изучения. М.: Изд-во АН СССР, 1958. С.7-38.
3. 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.
4. Атлас Удмуртской Республики (под общей ред. И.И.Рысина). М.-Ижевск: Феория, 2016. – 282 с.
5. 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.
6. Бастраков Г.В. Эрозионная прочность горных пород // Геоморфология, 1977, №2. С. 52-55.
7. Бастраков Г.В. Эрозионная устойчивость рельефа и противоэрозионная защита земель. Брянск, 1993. 260 с.
8. Белоцерковский М.Ю., Жаркова Ю.Г., Кирюхина З.П., Ларионов Г.А., Литвин Л.Ф., Пацукевич З.В. Эрозионноопасные земли Европейской части СССР // Земельные и водные ресурсы: противоэрозионная защита и регулирование русел. М.: Изд-во МГУ, 1990. С. 3– 31.
9. Беляев В.А. Борьба с водной эрозией почв в Нечерноземной зоне. М.: Госсельхозиздат, 1976. 158 с.
10. Берлянт А.М. Картографический метод исследования. М.: Изд-во МГУ, 1978. 252 с.
11. 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.
12. Боголюбова И.В., Караушев А.В. Вопросы формирования и развития оврагов // Труды ГГИ, 1979. Вып. 267. С. 5 – 27.
13. 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.
14. Большов С.И., Тарзаева Н.В. Метеорологический фактор в развитии

регрессивной эрозии на юго-западе Подмосковья // Геоморфология, 1996. №4. С. 97 – 103.

15. *Бондарев В.П.* Морфодинамическая классификация элементов овражно-балочных систем // Геоморфология, 1999. №1. С. 72-78.

16. *Бриллинджер Д.* Временные ряды. Обработка данных и теория. /Пер. с англ. М.: Мир, 1980. 536 с.

17. *Будыко М.И.* Климат и жизнь. Л., 1971.

18. *Бутаков Г.П.* Овражная эрозия: формы первичной гидрографической сети // Геоморфология, 1996. №4. С. 109-115.

19. *Бутаков Г.П.* Плейстоценовый перигляциал на востоке Русской равнины. Казань: Изд-во Казанского ун-та, 1986. 144 с.

20. *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.

21. *Бутаков Г.П., Двинских А.П., Назаров Н.Н., Рысин И.И.* Современная овражная эрозия на востоке Русской равнины // Геоморфология, 1987. С. 43-46.

22. *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.П.* Эрозионный рельеф временных водотоков Восточно-Европейской равнины // Эрозионные и русловые процессы. Вып.2. М. 1996. С. 24-39.

23. *Бутаков Г.П., Дедков А.П.* Эрозия временных русловых потоков в умеренном поясе Европы в плейстоцене и голоцене // Геоморфология, 1998. №1. С. 47-51.

24. *Бутырина К.Г., Назаров Н.Н.* Опыт изучения овражной эрозии в юго-западной части Пермской области // Физико-географические основы развития и размещения производительных сил Нечерноземного Урала. Пермь: Изд-во Пермск. ун-та, 1982. С. 64-72.

25. Ведомости длин и площадей водосборов рек Удмуртской АССР /Научный отчет Казанского отдела гидрол. и водн. ресурсов Сев. НИИГиМа/. Казань, 1973.

26. *Веретенникова М.В., Зорина Е.Ф., Каташ И.Г., Ковалев С.Н., Любимов Б.П., Никольская И.И., 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.

27. *Волощук М.Д.* Реконструкция склоновых земель, пораженных оврагами.

Кишинев: Карта Молдовеняскэ, 1986. 266 с.

28. *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.

29. Генеральная схема использования земельных ресурсов Удмуртской АССР до 2005 года. Ижевск, 1987.

30. Географический атлас Удмуртской Республики (под общ. ред И.И. Рысина). М.: Изд-во ДиК, 2010. 40 с.

31. География овражной эрозии / под ред. Е.Ф. Зориной. М.: изд-во МГУ, 2006 г. 324 с.

32. География Удмуртии: природные условия и ресурсы: учеб. пособие / под ред. И.И. Рысина. Ижевск: Изд.дом «Удмуртский университет», 2009. Ч.1. 256 с.

33. Геоинформатика: в 2 кн. Кн. 1: Учебник / [Е.Г.Капралов, А.В. Кошкарев, В.С. Тикунов и др.]; под ред. В.С. Тикунова. М.: Издательский центр «Академия», 2008. 384 с.

34. Геоинформатика: в 2 кн. Кн. 2: Учебник / [Е.Г.Капралов, А.В. Кошкарев, В.С. Тикунов и др.]; под ред. В.С. Тикунова. М.: Издательский центр «Академия», 2008. 384 с.

35. Геология и нефтеносность Удмуртской АССР / под ред. Л.В. Шаронова. Ижевск: Изд-во "Удмуртия", 1976. – 126 с.

36. Геоэкологические проблемы Удмуртии / под ред. В.И. Стурмана. Ижевск: изд-во Удм. Ун-та, 1997. 158 с.

37. *Гмурман В.Е.* Руководство к решению задач по теории вероятностей и математической статистике. М.: Высш. шк., 1975. 333 с.

38. *Голосов В.Н.* О цикличности эрозионно-аккумулятивных процессов в сельскохозяйственной зоне Русской равнины // Геоморфология, 1996. №3. С. 43-51.

39. *Голосов В.Н.* Эрозионно-аккумулятивные процессы в речных бассейнах освоенных равнин. М: ГЕОС. 2006. 296 с.

40. *Григорьев И.И.* Классификация сельскохозяйственных и техногенных оврагов и оценка скоростей их роста на территории Удмуртии // Общие и прикладные вопросы эрозионных и русловых процессов. М.: Изд-во МГУ, 2006. С. 72-79.

41. *Григорьев И.И.* Создание эрозионной геоинформационной системы для пространственно-временного анализа овражной эрозии на территории Удмуртской Республики // Общие, экологические и инженерные аспекты

изучения гидрологических, русловых и эрозионных процессов. М.: Географический факультет МГУ, 2008. С. 53-61.

42. *Григорьев И.И.* Использование программного комплекса «CREDO» для определения объемов и площадей оврагов // Вестник Удмуртского университета, серия «Биология. Науки о Земле», Ижевск, 2009. – Выпуск 2 – С. 141-145.

43. *Григорьев И.И.* Пространственно-временной анализ скоростей роста техногенных оврагов на территории Удмуртии // Эрозия почв, овражная эрозия, русловые процессы: теоретические и прикладные вопросы. М.: Географический факультет МГУ, 2011. – С. 90-99.

44. *Григорьев И.И.* Особенности изучения морфометрии и динамики развития оврагов на территории Удмуртии с помощью программного комплекса «CREDO» // Проблемы прикладной и региональной географии: материалы всероссийской научно-практической конференции с международным участием / Ижевск, 2012. – С. 169-175.

45. *Григорьев И.И., Рысин И.И.* Роль геоморфологических факторов в развитии оврагов в Удмуртии // Эрозионно-аккумулятивные процессы в бассейне верхней и средней Волги, Ижевск, 2005. – С. 41-52.

46. *Григорьев И.И., Рысин И.И.* Использование программного комплекса «CREDO» для создания эрозионной геоинформационной системы // Проблемы флювиальной геоморфологии / Материалы XXIX Пленума геоморфологической комиссии РАН/Ижевск, 2006 г. – С. 210-213.

47. *Григорьев И.И., Рысин И.И.* Исследования техногенных и сельскохозяйственных оврагов в Удмуртии // Вестник Удмуртского университета, серия «Науки о Земле», Ижевск, 2006. - №11 – С. 83-92.

48. *Григорьев И.И., Рысин И.И.* Исследования техногенных и сельскохозяйственных оврагов в Удмуртии с применением ГИС-технологий // Вестник Удмуртского университета, серия «Биология. Науки о Земле», Ижевск, 2008. – Выпуск 1 – С. 49-58.

49. *Григорьев И.И., Рысин И.И.* Применение геоинформационных систем при исследованиях техногенных и сельскохозяйственных оврагов в Удмуртии // Геоморфология. 2009. №1. С. 69-75.

50. *Григорьев И.И., Рысин И.И.* Влияние гидрометеорологических факторов на рост оврагов в Удмуртии // Вестник Удмуртского университета. Сер. Биология. Наука о земле. - 2010. - Вып. 4. - С. 137-146.

51. *Григорьев И.И., Рысин И.И.* О роли климатических факторов в развитии овражной эрозии в Удмуртии // 27-е пленарное межвузовское координационное



совещание по проблеме эрозионных, русловых и устьевых процессов. Ижевск, 2012. - С. 50-60.

52. *Григорьев И.И., Рысин И.И.* Особенности развития агрогенных и техногенных оврагов в Удмуртии // Региональные исследования природно-территориальных комплексов / отв. ред.: В. В. Сироткин, Р. Р. Динмухаметов. - Казань: ИД МеДДоК, 2012. - С. 88-93.

53. *Григорьев И.И., Рысин И.И.* Особенности развития техногенных оврагов в Удмуртии // Наука Удмуртии. 2014. №2. С. 134-149.

54. *Григорьев И.И., Ковалев С.Н., Рысин И.И.* Техногенные овраги // Геоморфология. - 2016. - № 2. - С. 27-33.

55. *Дайковская Т.С.* Негативные последствия овражной эрозии в г.Москве // Эрозия почв, овражная эрозия, русловые процессы: теоретические и прикладные вопросы. М.: Геогр. фак-т МГУ, 2011. – С. 108-114.

56. *Дедков А.П.* Экзогенное рельефообразование в Казанско-Ульяновском Приволжье. Казань: Изд-во Казанск. ун-та, 1970. 256 с.

57. *Дедков А.П., Малышева О.Н., Порман С.Р., Рождественский А.Д.* Древние поверхности выравнивания и останцовый рельеф Удмуртии // Развитие склонов и выравнивание рельефа. Казань: Изд-во Казанского ун-та, 1974. С. 64-76.

58. *Дедков А.П., Мозжерин В.И.* Эрозия и сток наносов на Земле. Казань: Изд-во Казанского ун-та, 1984. 264 с.

59. *Дедков А.П., Мозжерин В.И.* Эрозия на равнинах Восточной Европы // Геоморфология, 1996, №2. С.3-11.

60. *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.

61. *Дедков А.П., Рысин И.И., Чернышева Т.Н.* О распространении овражной эрозии на пахотных землях Европы // Геоморфология, 1993. №2. С. 3-13.

62. *Докучаев В.В.* Овраги и их значение. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1949. Т.1. С. 103-111.

63. *Егоров И.Е., Илларионов А.Г., Рысин И.И., Стурман В.И.* Влияние антропогенного фактора на эрозионно-аккумулятивные процессы в бассейнах малых рек Вятско-Камского региона // Геоморфологические процессы и окружающая среда. Часть 1. Казань, 1991. С. 38-40.

64. *Егоров И.Е.* Структура эрозионной сети востока Русской равнины // Вестник УдГУ, 1996. №3. С. 90-101.

65. *Егоров И.Е., Илларионов А.Г., Перевоицков А.А., Петухова Л.Н., Рысин И.И., Сергеев А.В.* Эрозионно-аккумулятивные процессы в водосборных

- бассейнах Вятско-Камского региона // Эрозионные и русловые процессы. Вып.4. Москва: Изд-во МГУ. 2005. С. 304-330.
66. *Ермолаев О.П.* Количественные показатели структуры бассейновой эрозии на востоке Русской равнины // Экзогенные процессы и окружающая среда. М.: Наука, 1990. С. 121-126.
67. *Ермолаев О.П.* Эрозия в бассейновых геосистемах. Казань: Изд-во «УНИПРЕСС». 2002. 264 с.
68. *Ефимова Т.П., Ложкина Н.П., Тычинин В.А., Баранов В.И.* Растительность // Природа Удмуртии. Ижевск: Удмуртия, 1972. С. 145-201.
69. *Заславский М.Н.* Эрозия почв. М.: Мысль, 1979. 243 с.
70. *Заславский М.Н.* Эрозиоведение. М.: Высшая школа, 1983. 320 с.
71. *Звонкова Т.В.* Географическое прогнозирование. М.: Высшая школа, 1987. 192 с.
72. *Зорина Е.Ф.* Некоторые особенности развития овражной эрозии // Геоморфология, 1987, №4. С. 62-67.
73. *Зорина Е.Ф., Беляев В.Р., Бондарев В.П., Григорьев И.И., Ковалев С.Н., Прохорова С.Д., Рысин И.И.* Эколого-географическая характеристика овражно-балочных систем на урбанизированных территориях // Эрозионные и русловые процессы. Сборник трудов. М.: МАКСПресс, 2010. Выпуск 5. с.261-277.
74. *Зорина Е.Ф., Веретенникова М.В., Ковалев С.Н.* Овражно-балочные системы г.Брянска // Эрозия почв и русловые процессы. Вып. 15. М., 2005. С. 51-65.
75. *Зорина Е.Ф., Ковалев С.Н., Никольская И.И.* Подходы к типизации оврагов // Геоморфология, 1998, № 2. С. 75 – 80.
76. *Зорина Е.Ф., Любимов Б.П., Тимофеев Д.А.* Что такое овраг? // Геоморфология, 1998, №2. С. 28-32.
77. *Иванов Н.Н.* Особенности развития эрозионных процессов на откосах земляного полотна автомобильных дорог // Геоморфология, 1988. №2. С. 39-42.
78. *Иванов Н.Н.* Развитие рельефа дорожных ландшафтов и его устойчивость (на примере степных районов Нижнего Дона и Северного Кавказа) // Геоморфология, 2001. №4. С. 33-37.
79. *Ивонин В.М.* Условия оврагообразования в просадочных лессовидных породах // Геоморфология, 1984. № 3. С. 59-65.
80. *Калантаров О.К., Девяткин А.Е., Каневский М.З., Михалев Д.В., Шевченко К.И.* Методы защиты откосов автомобильных дорог и инженерных сооружений от эрозии и склоновых процессов (на примере МКАД) // Геоморфология, 1999. №1. С. 33-41.

81. *Кесь А.С.* Основные стадии развития современного овражно-эрозионного рельефа // Проблемы физической географии. М.: Изд-во АН СССР, 1950. Т.15. С.45-57.
82. *Ковалев С.Н.* Овражная эрозия на урбанизированных территориях // Эрозия почв и русловые процессы. Вып. 13. М.: МГУ. 2001. С. 55-84.
83. *Ковалев С.Н.* Воздействие овражно-балочных систем на планировку городов (на примере Поволжья) // Эрозионно-аккумулятивные процессы в бассейне верхней и средней Волги, Ижевск, 2005. – С. 115-127.
84. *Ковалев С.Н., Любимов Б.П.* Рекреационное использование овражно-балочных систем на урбанизированных территориях // Геоморфология, №4. 2005. С. 83-94.
85. *Ковалев С.Н.* Развитие оврагов на урбанизированных территориях: автореф. дис. ... канд. геогр. Наук / С.Н. Ковалев. - М., 2009. - 24 с.
86. *Ковриго В.П.* Почвы Удмуртской Республики / ГСХА. Ижевск, 2004. 490 с.
87. *Козменко А.С.* Борьба с эрозией почв. М.: Сельхозгиз, 1954. 229 с.
88. *Козменко А.С.* Основы противоэрозионной мелиорации. М.: Сельхозгиз, 1954. 421 с.
89. *Козменко А.С.* Борьба с эрозией почв на сельскохозяйственных угодьях. М.: Сельхозгиз, 1963. 203 с.
90. *Коротина Н.М.* Скорость оврагов в Ульяновском Поволжье // Геоморфология, 1981, №4. С. 78-83.
91. *Косов Б.Ф.* Антропогенные и естественные овраги // Эрозионные процессы. М.: Мысль, 1984. С. 105 – 115.
92. *Косов Б.Ф.* Определение интенсивности роста оврагов камеральным путем // Вопросы географии. М.: Мысль, 1963. №63. С.126-132.
93. *Косов Б.Ф.* Проблема оценки и прогноза интенсивности овражной эрозии и роста оврагов // Вестник Моск. Ун-та. Сер. Геогр., 1971, №1. С. 37-44.
94. *Косов Б.Ф., Константинова Г.С.* О новом содержании карты овражности // Эрозия почв и русловые процессы. М.: 1972. Вып.2. С.117-185.
95. *Косов Б.Ф., Константинова Г.С.* Комплексная карта овражности равнинной территории СССР // Геоморфология. 1973. №3. С.3-9.
96. *Косов Б.Ф., Любимов Б.П.* Оценка факторов овражной эрозии // Эрозионные процессы. М.: Мысль, 1984. С. 126-132.
97. *Косов Б.Ф., Никольская И.И.* Динамика роста оврагов // Эрозионные процессы. М.: Мысль, 1984. С. 97-103.
98. *Курбанова С.Г.* Эрозионно-аккумулятивные процессы в бассейнах малых рек Среднего Поволжья в современных природно-антропогенных ландшафтах //

Вопросы физической географии и геоэкологии Урала. Пермь: Изд-во Пермск. ун-та, 1998. С. 101 – 109.

99. *Куштин И.Ф., Куштин В.И.* Инженерная геодезия. Учебник. Ростов-на-Дону: Изд-во ФЕНИКС, 2002. 416 с.

100. *Лакин Г.Ф.* Биометрия. М.: Высшая школа, 1990. 352 с.

101. *Ларионов Г.А.* Эрозия и дефляция почв. М.:Изд-во МГУ, 1993. 200 с.

102. *Ларионов Г.А. Литвин Л.Ф. Заславский М.Н.* Факторы эрозии // Эрозионные процессы. М.: Мысль, 1984. С. 48-57.

103. *Лидов В.П., Сетунская Л.Е.* Результаты исследования процессов эрозии количественным методом посредством анализа серии специальных карт (на примере Приволжской возвышенности) //Борьба с эрозией почв путем лесоразведения. Тр. Ин-та леса. Т.44. М.: Изд-во АН СССР, 1959. С.5 – 34.

104. *Линник В.Г.* Построение геоинформационных систем в физической географии: Учебное пособие. М.: Изд. МГУ, 1990. – 80 с.

105. *Львович М.И.* Вода и жизнь. М.: Мысль, 1986. 255 с.

106. *Любимов Б.П.* Зональные особенности овражной эрозии // Геоморфология, 1998, №1. С. 68-72.

107. *Любимов Б.П.* Овражная эрозия в долине реки Раменки (г.Москва) в прошлом и настоящем // Геоморфология, 2003, №2. С. 89-100.

108. *Маккавеев Н.И.* Русло реки и эрозия в ее бассейне. М.: Изд. АН СССР, 1955. 346 с.

109. *Миронова Е.А., Сетунская Л.Е.* Некоторые результаты изучения интенсивности роста оврагов на Приволжской возвышенности // Геоморфология, 1974, №3. С. 74-82.

110. *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.

111. *Московкин В.М.* Математическая модель скорости роста вершины оврага // Метеорология, климатология и гидрология. Вып. 8. 1980, № 16. С. 129 – 133.

112. *Назаров А.С., Неумывакин Ю.К, Перский М.И.* Автоматизированная обработка материалов топографо-геодезических и земельно-кадастровых работ (на примере комплекса CREDO). Учебное пособие для вузов. Под редакцией А.П. Пигина - М.: Кредо-Диалог, 2009. 272 с.

113. *Назаров Н.Н.* Овражная эрозия и ее прогноз с целью рационального использования земельных ресурсов // Изучение ресурсного потенциала территории. Ижевск: Изд-во Удмурт. ун-та, 1987. С. 118-126.

114. *Назаров Н.Н.* Овражная эрозия в Прикамье. Пермь: Изд-во Пермск. ун-та,

1992. 103 с.

115. *Назаров Н.Н.* Особенности современного толкования термина «овраг» // Геоморфология, 1997. № 4. С. 43 – 50.

116. Овражная эрозия востока Русской равнины. Под ред. А.П. Дедкова. Изд-во Казанского ун-та, 1990. 143 с.

117. Овражная эрозия. Под ред. Р.С. Чалова. М.: Изд-во МГУ, 1989. 168 с.

118. О состоянии окружающей природной среды Удмуртской Республики в 2008 г.: Государственный доклад. - Ижевск, 2009. 247 с.

119. О состоянии окружающей природной среды Удмуртской Республики в 2009 г.: Государственный доклад. - Ижевск, 2010. 288 с.

120. О состоянии окружающей природной среды Удмуртской Республики в 2010 г.: Государственный доклад. - Ижевск, 2011. 238 с.

121. О состоянии и охране окружающей среды Удмуртской Республики в 2011 г.: Государственный доклад. - Ижевск, 2012. 246 с.

122. О состоянии и об охране окружающей среды в Удмуртской Республике в 2012 г.: Государственный доклад. - Ижевск, 2013. 246 с.

123. О состоянии и об охране окружающей среды в Удмуртской Республике в 2013 г.: Государственный доклад. - Ижевск, 2014. 262 с.

124. О состоянии и об охране окружающей среды в Удмуртской Республике в 2014 г.: Государственный доклад. - Ижевск, 2015. 261 с.

125. О состоянии и об охране окружающей среды в Удмуртской Республике в 2015 г.: Государственный доклад. - Ижевск, 2016. 261 с.

126. *Панков А.М.* Нормальная денудация и эрозия почв // Эрозия почв. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1937. С.7-19.

127. *Переведенцев Ю.П., Э.П. Наумов, К.М. Шанталинский* Климатические условия и ресурсы Республики Удмуртия. Казань: Казан. гос. ун-т, 2009. 212 с.

128. *Пермяков Ф.И.* Почвы Удмуртии: повышение их плодородия. Ижевск: Изд-во «Удмуртия», 1972. 223 с.

129. *Плохинский Н.А.* Биометрия. Изд-во МГУ, 1970. 367 с.

130. *Попова Н.Ю.* Изменение состава лесов УАССР в XX веке // Удмуртия: новые исследования. – Ижевск: Удмуртия, 1991. С. 156-165.

131. Почвенная карта Удмуртской АССР. М 1:200000. М.: ГУГК СССР, 1990.

132. *Рожков А.Г.* Борьба с оврагами. М.: Колос, 1981. 199 с.

133. *Рысин И.И.* Почвенная и овражная эрозия на территории Удмуртской АССР: автореф. дис. .... канд. геогр. Наук / И.И. Рысин. - Ленинград, 1981. – 23 с.

134. *Рысин И.И., Лебедев Р.И., Болоткова Е.М., Михайлова С.А.* Об

эрозионных свойствах почв Удмуртии // Вестник Удм. ун-та, 1993, №3. С. 84-86.

135. *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.

136. *Рысин И.И.* Эрозионная расчлененность территории Удмуртской АССР // Изучение ресурсного потенциала территории Волго-Камского региона: межвуз. сб. науч. тр. – Ижевск, 1989. С. 134-143.

137. *Рысин И.И.* Овражная эрозия в Удмуртии. Ижевск: Изд-во Удм. ун-та, 1998. 275 с.

138. *Рысин И.И.* О современном тренде овражной эрозии в Удмуртии // Геоморфология, 1998, №3. С. 92-101.

139. *Рысин И.И.* Пространственные и временные закономерности развития овражной эрозии на востоке Русской равнины: дисс. ... докт. геогр. Наук / И.И. Рысин. - Ижевск, 1999. 435 с. (рук.)

140. *Рысин И.И.* К вопросу о классификации овражно-балочных форм рельефа // Вестник Удмуртского университета, №3. Ижевск. Изд. УдГУ, 2000. С. 89-98.

141. *Рысин И.И., Григорьев И.И.* Роль гидрометеорологических условий в развитии оврагов // Вестник Удмуртского университета, серия «Науки о Земле», Ижевск, 2003. – С. 101-114.

142. *Рысин И.И., Григорьев И.И.* Об особенностях развития сельскохозяйственных и техногенных оврагов в Удмуртии // Проблемы флювиальной геоморфологии / Материалы XXIX Пленума геоморфологической комиссии РАН / Ижевск, 2006 г. – С. 248-252.

143. *Рысин И.И., Григорьев И.И.* Модель прогнозирования скорости роста оврагов в Удмуртии // Вестник Удмуртского университета. Вып. 3. Сер. Биология. Науки о Земле. 2013. С. 106 – 114.

144. *Рысин И.И., Голосов В.Н., Григорьев И.И., Зайцева М.Ю.* Влияние изменений климата на динамику темпов роста оврагов Вятско-Камского междуречья // Геоморфология. - 2017. - № 1. - С. 90-103.

145. *Сергеев А.В.* Прогнозирование общераспространенных полезных ископаемых на территории Удмуртии // Вестник Удмуртского университета. Вып.1. Сер. Биология. Науки о Земле. 2008. С. 115-121.

146. *Серебрянникова И.А.* Особенности развития овражной эрозии в Восточном Закамье Татарстана // Геоморфология, 1998. №1. С. 101-104.

147. *Сетунская Л.Е.* Овражная эрозия (методы изучения) // Методы полевых

геоморфологических экспериментов в СССР. М., 1986. С. 48-65.

148. *Сидоров В.П., Швиденко Ю.С.* Конфигурация транспортной сети Удмуртской Республики // Вестник Удмуртского университета. Сер. науки о земле. 2000. №3. С. 22-27.

149. *Симонов Ю.Г., Большов С.И.* Методы геоморфологических исследований: Методология: Учебное пособие. М.: Аспект Пресс, 2002. 191 с.

150. *Сироткина М.М.* Об эрозионных процессах и факторах оврагообразования в Чувашской АССР // Географический сборник, №1, Казань: Изд-во Казанск. ун-та, 1966. С. 58-67.

151. *Скоморохов А.И.* Скорость роста оврагов //Геоморфология, 1981, №1. С.97-103.

152. *Соболев С.С.* Развитие эрозионных процессов на территории европейской части СССР и борьба с ними. М.; Л.: Изд. АН СССР, 1948. Т.1. 305 с.

153. *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.

154. *Спирidonов А.И.* Геоморфологическое картирование. М.: Недра, 1975.183 с.

155. *Стурман В.И.* Палеогеография: учебно-методическое пособие. УдГУ, Ижевск, 2002. 43 с.

156. *Сурмач Г.П.* Водная эрозия и борьба с ней. Л.: Гидрометеиздат, 1976. 256 с.

157. *Тикунов В.С.* Моделирование в картографии. М.: Изд-во МГУ, 1997. 405 с.

158. *Тимофеев Д.А.* Терминология флювиальной геоморфологии. М.: Наука, 1981. 267 с.

159. *Трифонов Т.А., Мищенко Н.В., Краснощеков А.Н.* Геоинформационные системы и дистанционное зондирование в экологических исследованиях: Учебное пособие для вузов. М.: Академический проект, 2005. 352 с.

160. Удмуртская Республика: Энциклопедия. Ижевск: Изд-во «Удмуртия», 2008. 800 с.

161. *Цветков М.А.* Изменение лесистости Европейской России с конца XVII столетия по 1914 г. М.: Изд-во АН СССР, 1957. 213 с.

162. *Швебс Г.И.* Формирование водной эрозии, стока наносов и их оценка (на примере Украины и Молдавии). Л.: Гидрометеиздат, 1974. 184 с.

## Приложение 1

### Средние многолетние скорости роста техногенных оврагов и их основные морфометрические показатели

№ п/п	Расстояние от вершины до водораздела Lc (м)	Средний уклон оврага (Hв-Ну)/Lo (м/км)	Средний уклон линий стока (Hвод-Нв)/Lc (м/км)	Глубина местного базиса эрозии (м)	Водосборная площадь оврага S(га)	Средний уклон склона (Hвод-Нуст)/(Lc+Lo) (м/км)	Средняя многолетняя скорость роста оврага, м
1	1000	55	45	56,4	13	46	0,78
2	900	188	52	68	12	67	1,97
3	250	178	45	40	32	4	0,6
4	900	163	21	75,8	15	61	0,48
5	2420	37	12	51	100	27	17,75
6	670	230	40	50	5,5	65	1,91
7	805	280	31	39	12,6	46	0,19
8	500	200	50	35	7,3	64	0,58
9	440	74	25	37	6	47	0,91
10	300	160	33	18	5	51	0,38
11	900	231	29	55,8	12	54	0,05
12	300	200	30	23	5	62	0,08
13	300	133	33	18	5	50	0,66
14	1200	36	12	26	11,5	21	1,38
15	750	93	45	61	8	25	0,48
16	500	36	99	32	6,5	12	0,11
17	330	100	42	18,9	16	50	2,92
18	450	3,6	17	10	5	19	1,98
19	1650	67	37	71,3	14,5	39	0,98
20	1100	100	9	25	24	20	3,57
21	1900	36	41	85	75	40	10,06
22	800	33	43	36,6	11	43	3,68
r	0,776	-0,403	-0,277	0,241	0,936	-0,184	
$\eta^2$	0,814	0,237	0,103	0,447	0,776	0,241	
$\eta$	0,902	0,487	0,321	0,669	0,881	0,491	
B	5,275	9,477	6,829	10,313	6,137	9,517	



## Приложение 2

### Таблица 1

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

Годы	Qm/Qn	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	5,4
1980	8,7	21	109	5,2	136	1,1
1981	8,5	26	147	5,7	132	0,8
1982	14,1	27	148	5,5	116	0,8
1983	4,9	14	104	7,4	98	1,9
1984	7,8	11	63	5,7	104	2,8
1985	5,8	24	106	4,4	150	1,4
1986	7,5	25	160	6,4	76	1,8
1987	10,8	24	126	5,3	102	0,9
1988	12,7	22	130	5,9	94	0,6
1989	10,6	33	188	5,7	50	1
1990	13,7	27	175	6,5	46	2,1
1991	17,8	24	153	6,4	70	1,2
1992	16	22	161	7,3	64	1
1993	17	26	104	4	90	2,6
1994	18,8	32	168	5,3	102	1,3
1995	16,3	15	96	6,4	67	0,7
1996	4,76	18	122	6,8	75	0,8
1997	14	14	104	7,4	140	2,3
1998	3,4	11	170	15,4	96	0,7
1999	2,5	20	226	11,3	28	0
2000	4,1	14	165	11,8	59	0,3
2001	11,3	16	208	13	47	0,5
2002	8,7	12	180	15	80	7,2
2003	6,5	11	146	13,3	56	0,2
2004	4,7	34	151	4,4	25	1,1
2005	6,9	11	143	13	71	0,4
2006	6,4	35	186	5,3	58	0,3
2007	4,2	17	120	7,1	102	0,8
2008	3,4	15	151	10,1	74	0,2
2009	6,5	12	82	6,8	104	0,34
2010	8,1	17	122	7,2	129	1,51
2011	8,2	21	243	11,6	25	0,93
2012	26,2	22	137	6,2	100	0,72
2013	8,9	18	151	8,4	84	3,13
2014	6,2	25	146	5,8	51	1,02
r	0,414	-0,202	0,028	0,256	0,255	
$\eta^2$	0,132	0,132	0,080	0,091	0,147	
$\eta$	0,363	0,364	0,283	0,302	0,383	
B	-1,453	3,380	2,931	0,945	3,030	

## Продолжение Приложения 2

Таблица 2

Среднегодовые скорости роста оврагов на ключевом участке у с. Крымская  
Слудка и гидрометеорологические показатели весеннего периода

Годы	Qm/Qn	T, сут	Нв, мм	Нв/T, мм/сут	Мп, см	V, м/год
1978	9,3	17	97	5,7	97	0,9
1979	33,2	15	156	10,4	107	3,6
1980	8,8	20	92	4,6	124	0,7
1981	10,7	25	131	5,2	54	0,7
1982	11,1	27	122	4,5	92	0,9
1983	8,5	15	108	7,2	105	0,6
1984	4,4	11	57	5,2	150	0,8
1985	11,8	23	104	4,5	128	0,6
1986	8,5	25	174	7	37	1,2
1987	11,3	28	163	5,8	63	1,2
1988	10,9	22	134	6,1	109	0,9
1989	9,5	34	191	5,6	121	1,5
1990	14,6	25	155	6,2	50	2,6
1991	20,4	23	130	5,7	79	3,3
1992	12,1	20	154	7,7	61	1,2
1993	15,5	31	146	4,7	94	1
1994	14,9	30	203	6,8	85	1
1995	11,9	21	128	6,1	75	0,7
1996	5	18	126	7	81	0,4
1997	10,9	14	146	10,4	100	0,5
1998	5,3	11	187	17,0	118	0,4
1999	3,4	25	249	10,0	38	0,2
2000	5,1	12	234	19,5	40	0,1
2001	1,8	15	246	16,4	71	8,7
2002	7,1	12	195	16,3	66	4,3
2003	8	15	122	8,1	63	0,7
2004	8	32	100	3,1	11	0,9
2005	8,9	13	128	9,8	28	2,4
2006	10,8	16	133	3,7	53	1,4
2007	6,1	16	104	6,5	16	7,3
2008	4,6	14	243	17,4	46	0,3
2009	8,2	8	90	11,6	113	0,8
2010	5,5	17	84	7,1	139	0,5
2011	7,4	23	188	12,4	45	0,2
2012	13,2	22	143	8,0	92	0,4
2013	10,8	22	207	9,4	46	0,2
2014	8,6	55	120	3,5	29	0,6
r	0,049	-0,175	0,140	0,185	-0,193	
$\eta^2$	0,087	0,034	0,031	0,029	0,229	
$\eta$	0,296	0,183	0,177	0,169	0,479	
B	3,145	0,108	0,432	-0,211	7,115	

## Продолжение Приложения 2

Таблица 3

Среднегодовые скорости роста оврагов на ключевых участках в Сарапульском  
и Каракулинском районах Удмуртии и гидрометеорологические показатели  
весеннего периода

Годы	Qm/Qn	T, сут	Нв, мм	Нв/T, мм/сут	Мп, см	V, м/год
1978	29,2	23	95	4,1	96	0,51
1979	66,4	15	154	10,3	71	2,2
1980	18	18	90	5	127	0,3
1981	19,9	24	124	5,2	94	0,3
1982	32,6	26	151	5,8	49	0,9
1983	34,4	14	102	7,3	90	0,4
1984	19,8	10	55	5,5	105	0,3
1985	43,2	18	98	5,4	127	0,7
1986	56,6	23	129	5,6	71	0,5
1987	57,4	29	148	5,1	84	0,6
1988	-	22	143	6,5	93	0,6
1989	-	32	190	5,9	39	0,6
1990	-	25	154	6,2	63	1,5
1991	10	24	165	6,9	97	1,9
1992	63,6	21	176	8,4	55	1,2
1993	42,4	28	161	5,8	69	0,8
1994	58,1	32	146	4,6	76	1
1995	16,3	15	115	7,7	31	0,6
1996	4,76	18	157	8,7	58	0,3
1997	14	16	177	11,1	150	0,3
1998	3,4	11	200	18,2	65	0,6
1999	3,1	20	180	9	33	0,3
2000	5,8	14	174	12,4	26	0,2
2001	15,6	16	216	13,5	46	0,2
2002	14,4	12	113	9,4	82	0,4
2003	8,4	11	72	5,5	111	0,2
2004	5,7	34	148	4,4	19	0,4
2005	8,9	11	132	12	67	0,2
2006	6,5	16	138	3,9	80	0,2
2007	4,9	17	125	7,4	34	0,2
2008	7,9	15	125	8,3	79	0,1
2009	6,5	16	87	5,4	88	0,8
2010	8,1	18	120	6,7	141	0,4
2011	8,2	23	221	9,6	55	0,4
2012	26,2	19	130	6,8	128	1,2
2013	8,9	20	143	7,2	79	0,1
2014	6,2	51	144	2,8	24	0,2
r	0,557	0,118	0,145	-0,030	0,076	
$\eta^2$	0,125	0,150	0,182	0,096	0,065	
$\eta$	0,354	0,387	0,426	0,310	0,255	
B	-5,728	5,039	5,948	3,521	2,200	

### Приложение 3

#### Таблица 1

Среднегодовые скорости роста оврагов на ключевых участках у г. Ижевска и метеорологические показатели летнего периода

Годы	X <sub>max</sub> , мм	ΣX <sub>т.п.</sub> , мм	V, м/год
1978	22	352	1,4
1979	20,8	215	5,4
1980	27,1	312	1,1
1981	19,8	293	0,8
1982	18,9	254	0,8
1983	31,9	419	1,9
1984	80	562	2,8
1985	24,1	322	1,4
1986	33,9	489	1,8
1987	15,6	393	0,9
1988	29,8	366	0,6
1989	51,9	323	1,0
1990	30,7	394	2,1
1991	24	291	1,2
1992	25,1	203	1,0
1993	58,4	481	2,6
1994	26,8	355	1,3
1995	18	290	0,7
1996	34,2	236	0,8
1997	25,3	387	2,3
1998	27	234	0,7
1999	67	412	0,0
2000	70,8	364	0,3
2001	34	330	0,5
2002	23	397	7,2
2003	30	350	0,2
2004	30	475	1,1
2005	44	335	0,4
2006	33	386	0,3
2007	25	457	0,8
2008	29	220	0,2
2009	18,7	275	0,3
2010	16,7	277	1,5
2011	17,4	438	0,9
2012	62	525	0,7
2013	20,2	342	3,1
2014	41	409	1,0
r	-0,108	0,110	
η <sup>2</sup>	0,062	0,098	
η	0,249	0,313	
B	1,854	3,185	

## Приложение 4

Таблица 1

Среднегодовая скорость роста оврагов (м/год)

Годы	УР	Б. Волково	Ижевск	Сарапул
1978	1,4	1,3	1,4	0,3
1979	2,8	6,6	2,8	1,4
1980	1,5	1,1	1,2	0,03
1981	1,3	2,3	0,7	0,2
1982	1,6	2,2	1,5	0,5
1983	0,5	2,3	0,3	0,6
1984	0,6	0,7	1,1	0,01
1985	1,3	2,3	0,5	0,6
1986	0,9	2,1	0,6	0,7
1987	0,6	2,5	1,2	0,8
1988	1,3	2,4	1,4	0,6
1989	1,1	2,1	1,1	0,8
1990	1,9	2,9	2,3	0,9
1991	2,3	4,8	1,9	1,1
1992	1,6	2,4	1,6	1,2
1993	1,2	2,5	1,4	0,9
1994	1,8	2,8	1,7	1,0
1995	1,1	1,9	0,7	0,4
1996	0,35	1,2	0,3	0,2
1997	0,75	2,2	1,1	0,6
1998	0,63	1,4	0,7	0,5
1999	0,22	0,8	0,1	0,1
2000	0,48	1,2	0,5	0,2
2001	0,69	0,5	0,2	0,2
2002	0,42	0,9	0,7	0,1
2003	0,23	0,4	0,1	0,1
2004	0,2	0,1	0,3	0,4
2005	0,16	0,1	0,3	0,1
2006	0,11	0,3	0,1	0,1
2007	0,29	0,2	0,2	0,1
2008	0,05	0,1	0,1	0,01
2009	0,16	1,53	0,1	0,11
2010	0,23	1,36	0,11	0,08
2011	0,23	0,82	0,45	0,03

*Научное издание*

**Иван Иванович Григорьев  
Иван Иванович Рысин**

## **ТЕХНОГЕННЫЕ ОБРАГИ НА ТЕРРИТОРИИ УДМУРТИИ**

Напечатано в авторской редакции с оригинала макета заказчика

Подписано в печать 04.08.2017 г.  
Формат 60x84<sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Бумага офсетная. Усл. печ. л. 10,98.  
Тираж 200. Заказ № 47.

Издательство Академии наук Республики Татарстан  
420111, РТ, г. Казань, ул. Баумана, 20

Отпечатано в типографии Orange Key  
420111, г. Казань, ул. Галактионова, д. 14.