

Н.Н.Назаров

# КАРСТ ПРИКАМЬЯ



**Н.Н.Назаров**

# **КАРСТ ПРИКАМЬЯ**

**Физико-географические (геоморфологические)  
аспекты**

Рекомендовано научно-методическим Со-  
ветом по географическому образованию  
УМО университетов в качестве учебного  
пособия для студентов географических  
специальностей



**Издательство Пермского университета**

**Пермь 1996**

ББК 26.82

Н 97

УДК 551.4

**Назаров Н.Н.**

Н97 Карст Прикамья. Физико-географические (геоморфологические) аспекты: Учебное пособие. - Пермь: Изд-во Перм. ун-та 1996. - 95 с.

ISBN 5-8241-0104-3

Рассматриваются особенности карстового рельефа в Прикамье. Дается анализ факторов развития процесса карстообразования. Выявлены геоморфологические условия, стимулирующие его активность. Представлен обширный фактический материал о развитии поверхностных карстовых форм в регионе.

Пособие рекомендуется студентам географического и геологического факультетов университета при изучении курсов "Физическая география Пермской области", "Региональная геоморфология", "Динамическая геология" и может представлять интерес для специалистов, занимающихся вопросами размещения промышленных и гражданских объектов в карстовых районах.

Табл.4. Ил.7. Библиогр. 119 назв.

Печатается по решению редакционно-издательского совета Пермского университета

Рецензенты: кафедра физической географии и геоэкологии Каганского университета, канд. геогр. наук, доцент К.Г.Бутырина

18050403000-1

Н 18050403000-1 Без объявл.  
Н55(03)-96

ISBN 5-8241-0104-3

© Н.Н.Назаров, 1996

## Предисловие

Как показывает весь опыт изучения экзогенных геоморфологических процессов, наиболее сложными и по целому ряду позиций до конца пока еще не решенными остаются вопросы, связанные с установлением закономерностей пространственного и временного развития карста. Особое положение, которое благодаря этому занимает карст среди других процессов, объясняется несколькими причинами. Одной из основных, по всей видимости, является исключительно широкое распространение на Земле карстующихся горных пород, а следовательно, и существование большого разнообразия факторов и условий, влияющих на развитие карста. Определенные сложности в изучении процесса связаны также с проявлением некоторой "закрытости" процесса, что затрудняет его распознавание на начальном этапе развития (образование подземных форм), и значительной продолжительностью и прерывистостью карстообразования.

Сложность изучения карста и неоднозначное толкование ряда аспектов его развития объясняются и чисто субъективными причинами, из которых следует отметить существование большого количества различных карстоведческих школ и направлений, выросших и сформировавшихся, в первую очередь, естественно, на региональном материале. Кроме того, многофакторность процесса и широкий набор условий, лимитирующих его развитие, сделали карст предметом изучения целого ряда геолого-географических наук, имеющих в то же время свои собственные цели и задачи. Как следствие - решение карстоведческих проблем еще в самом недалеком прошлом было тем "полем", на котором постоянно происходило столкновение как научных, так и околонаучных интересов отдельных ученых и целых групп.

Настоящая работа является итогом многолетних исследований автора, осуществлявшихся сначала в рамках инженерно-геологических (геоморфологических) программ объединения "УРАЛГЕОЛОГИЯ" (Изучение экзогенных процессов), а затем на кафедре физической географии Пермского университета по теме "Физико-географическое обоснование размещения производительных сил Нечерноземного Урала".

Основу монографии составляет геоморфологический анализ распространения поверхностных карстовых форм, выполненный по результатам аэровизуальных наблюдений и дешифрирования аэрофотоснимков.

В отличие от уже имеющихся работ о карсте Пермского регио-



на, подготовленных карстововедами-геологами, здесь значительное место уделяется физико-географическим (геоморфологическим) аспектам карстобразования. Дается обширный материал о распространении и пораженности территории карстовыми формами. Раскрываются взаимосвязи между активностью процесса и микро-и мезоформами рельефа. Сделана также попытка с помощью методов статистики оценить степень влияния различных природных условий на интенсивность развития карста.

Автор надеется, что читатель уже имеет определенные знания о карсте как процессе, и поэтому не останавливается на базовых вопросах сущности этого явления. Желающие "освежить в памяти" сведения подобного рода могут воспользоваться многочисленной литературой, посвященной общим вопросам карстоведения (Н.А.Гвоздецкий, Г.А.Максимович, Д.С.Соколов и др.).

## ГЛАВА 1. НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ОБЩЕГО И РЕГИОНАЛЬНОГО КАРСТОВЕДЕНИЯ

### Краткая история изучения карста Пермского Предуралья и Урала

К настоящему моменту история изучения карста Пермского Урала и Предуралья освещена уже достаточно подробно (Максимович, Горбунова, 1958; Горбунова, 1961, 1962; Кротова, 1966; Панарина, 1971; Горбунова, Андрейчук и др., 1992). Первые сведения о карсте появились в начале XVIII в. в трудах В.Н.Татищева и В.И.Геннина. Большой вклад в изучение карста внесли Н.П.Рычков и И.И.Лепихин (вторая половина XVIII в.), М.Киттары, Е.С.Федоров (XIX в.), А.А.Штукенберг, В.А.Варсанюфьева (начало XX в.). В советский период карст исследовался главным образом в связи с геологическими изысканиями (М.В.Круглов, Е.А.Петрова), разработкой Кизеловского угольного бассейна (А.А.Васильев, П.С.Шейн, В.П.Тебеньков, П.П.Забаринский, М.С.Кельманский и др.), гидротехническим, гражданским, промышленным, дорожным строительством, проектированием линий электропередач, нефте- и газопроводов.

В 1933 г. в г.Кизеле была проведена конференция по проблемам карста, на которой рассматривались вопросы разработки Кизеловского месторождения каменного угля под закарстованными известняками. Большой вклад в изучение карста внесли ученые Пермского университета, по инициативе которых начиная с 1947 г. по настоящее время проведено несколько карстовых конференций.

С 1952 г. систематическое исследование карста осуществляют сотрудники Кунгурского стационара Уральского научного центра (сейчас отделения) АН России (В.С.Лукин, Е.П.Дорофеев, Ю.А.Ежов, А.В.Турышев, В.Н.Андрейчук, И.А.Лавров). Много внимания проблеме карста уделялось авторами производственных отчетов по гидрогеологической и инженерно-геологической съемке восточной части Пермской области (Е.А.Бобров, Е.А.Иконников, А.Г.Мелехов, В.И.Можковский, А.М.Осютский, Г.П.Верхоланцев, В.А.Поповцев, В.М.Крутов, Н.Н.Назаров, А.В.Ревин и др.).

В 1964 г. по инициативе Г.А.Максимовича был организован Институт карстологии и спелеологии, основная деятельность которого заключается в координации работ по карсту, организации совещаний, издании сборников (Пещеры. 1961-1990 гг. Вып. 1-22; Гидрология и

карстоведение. 1962-1987. Вып. 1-10) и книг по карстовой тематике.

Карст региона освещен в многочисленных публикациях. Ему посвящены диссертации К.А.Горбуновой, К.Г.Бутыриной, П.Я.Яковенко, Г.В.Белтюкова, Р.В.Яценко, Ю.А.Ежова, Г.Н.Панариной, А.В.Турышева, Л.В.Печеркиной, В.П.Костарева и др. Специальные вопросы затронуты в диссертациях Л.А.Шимановского, И.С.Степанова, Е.А.Иконникова, И.А.Печеркина, А.И.Печеркина.

В 1985 г. автором была подготовлена карта плотности карстовых форм в Пермской области (масштаб 1:500000). Несколько позднее геологами Пермского университета под руководством К.А.Горбуновой (1990) составлена карта карстующихся пород и карста.

### Карстовые формы

История изучения карстовых форм в Предуралье и на Урале неразрывно связана со всем периодом изучения процесса в регионе. Морфологические и морфометрические характеристики этих образований присутствуют практически во всех описаниях и отчетах путешественников, ученых-исследователей, инженеров-строителей и других специалистов, проводивших здесь свои работы. Однако наиболее полная "инвентаризация" форм карста была осуществлена Г.А.Максимовичем, К.А.Горбуновой и В.С.Лукиным.

Анализ литературных источников и результатов полевых исследований показал, что на рассматриваемой территории встречаются как поверхностные, так и подземные карстовые формы. Первые представлены каррами, воронками, котловинами, рвами, депрессиями, карстовыми долами, карстовыми долинами. Ко вторым относятся каверны, карстовые трещины, полости, каналы, пещеры. Существуют и переходные формы карста - поноры (вертикальные каналы с отверстием на поверхности диаметром до 0.5 - 1.0 м) и колодцы (вертикальные каналы с поперечником в верхней части от 1-3 до 5 м и глубиной до 20 м).

Наиболее мелкими карстовыми формами в Пермском Предуралье являются к а р р ы. Встречаются они лишь небольшими участками на обнаженных гипсовых берегах р. Сылвы и ее притоков. Иредка данные образования (гребешки высотой от нескольких миллиметров до 1-2 см) располагаются и в бортах воронок и логов.

Самой распространенной карстовой формой в регионе являются карстовые в о р о н к и - конусообразные, цилиндрические, блюдцеоб-

разные, чашеобразные понижения диаметром иногда более 100 м и глубиной до 25 м. На основе исследования 2800 воронок К.А.Горбуновой (1992) предложена следующая морфометрическая классификация. По диаметру выделяются небольшие (менее 5 м); обычные, т.е. наиболее распространенные (5-25); большие (25-50); очень большие (более 50); по глубине - мелкие (менее 1 м), обычные (1-5), глубокие (5-10), очень глубокие (более 10).

Отношение величины диаметра к глубине характеризует тип воронок: у конусообразных оно менее 5, чашеобразных - 5-10, блюдцеобразных - более 10. В плане различают округлые, овальные, сдвоенные, "хвостатые" (с оврагами и ложбинами), сложные.

Среди карстовых воронок Г.А.Максимовичем (1963) выделено четыре основных генетических типа:

1) коррозионные воронки, или воронки инфильтрационного растворения карстующихся пород в поверхностной части массива. Развиваются они медленно и могут иметь любую форму с поглощающим понором на дне. В случае закупорки понора обычно начинается регрессивное развитие воронки - превращение ее в озеро, заболачивание, заподнение деловием;

2) коррозионно-эрозионные воронки образуются в результате как коррозии, так и эрозии исчезающих в них (или вытекающих из них) водотоков;

3) коррозионно-просадочные воронки возникают в результате медленного проседания (прогибания) покровных некарстующихся отложений в полости, образующихся в кровле карстующихся пород;

4) коррозионно-суффозионные воронки являются следствием выноса (суффозии) и последующего проседания рыхлых отложений небольшой мощности в трещины или полости в кровле карстующихся пород;

5) провальные воронки образуются путем обрушения сводов полостей, возникающих в карстующихся породах или перекрывающих их рыхлых отложениях (суффозионно-провальные воронки).

Карстовые котловины - замкнутые понижения с поперечником от 100-200 м до 1-3 км и глубиной более 5-10 м коррозионного, эрозионно-коррозионного, провального происхождения. Форма их в плане обычно вытянутая или сложная. Склоны и дно котловин осложнены воронками и понорами, некоторые из них подпадают небольшие реки или временные водотоки.

Карстовые депрессии - понижения с поперечни-



ком от 1-3 до 10 км - отличаются от котловин тем, что в их формировании большую роль играют эрозионные процессы и по генезису они чаще всего являются эрозионно-карстовыми. Данные образования характерны для гипсово-ангидритового карста. На дне некоторых из них выходят карстовые родники, располагаются карстовые озера и болота (Горбунова, Бутырина, 1970).

Карстовые рвы развиваются вдоль раскрытых тектонических трещин (нередко в результате разгрузки на крутых склонах), трещин отседания склонов, или трещин "бортового отпора". Протяженность рвов может достигать нескольких километров, имея при этом ширину до 150 м, а глубину 8-10 м (Лукин, 1966; Наваров, Бутырина, 1985).

Особенностью карстовых районов являются исчезающие реки. Ниже по течению от мест исчезновения потоков прослеживаются сухие долины, или суходолы. Обычно через какое-то расстояние подземные реки выходят на поверхность или в виде мощных родников, или постепенно увеличивающегося водотока. Разнообразны карстовые озера с атмосферным, подземным и смешанным (атмосферно-подземным) питанием. Среди них встречаются как постоянные, так и периодически исчезающие (Горбунова, 1962; Бутырина, 1973).

Многочисленны пещеры. В настоящее время уже задокументировано более 550 данных карстовых образований, расположенных как в равнинной, так и горной частях региона (Пещеры Урала и Приуралья, 1992). Длиннейшими из них являются Дивья (9750 м), Кизеловская Вишерская (7600 м) и Кунгурская (5600 м). Преобладают горизонтальные и наклонные пещеры, реже встречаются вертикальные.

Другие карстовые формы (ниши, останцы, арки) встречаются на Урале и в Предуралье сравнительно редко.

#### **Природные и антропогенные факторы развития карста**

Совершенно очевидно, что для понимания сущности карстового процесса необходимо выявить и правильно оценить степень участия в этом процессе целого ряда факторов, таких, например, как атмосферные осадки и другие особенности климата, структурная и диагеническая история горной породы, объем породы, пригодной для карстования, ее расположение выше или ниже окружающей территории, экологические типы растительности, характер почвенного покрова, влияние фауны и

т.д. Все это существенные, зависящие друг от друга факторы взаимодействия, решающая роль которых выявляется во взаимных столкновениях их часто противоположных влияний и которые определяют в свою очередь общее направление эволюции карста.

Общеизвестно, что основными лимитирующими условиями развития карста являются: горные породы, растворимые в воде; движущаяся в породах вода; проницаемость (пористость, трещиноватость) горных пород и растворяющая способность воды (Саваренский, 1933; Соколов, 1951, 1962; Гвоздецкий, 1954, 1972 и др.).

Учитывая, что карстование - сложный природный процесс, контролируемый несколькими взаимосвязанными факторами, следует отметить обусловленность образования карстовых форм помимо коррозионной деятельности воды другими процессами денудации (различными во времени и пространстве). Как уже было отмечено выше, наряду с этими даже факторы, определяющие качество и интенсивность чисто коррозионных "классических" карстовых процессов, зависят от нескольких характерных для них переменных. Согласно И.Буделю (Budel, 1963), самыми главными из числа региональных и временных регуляторов карстового процесса являются: характер породы (петрографические различия), тектоническая структура (эпейрогенические различия) и климатические условия (климатические различия).

Не оспаривая главенства данных факторов карстопроявления, в ряд с ними необходимо поставить и некоторые другие, оказывающие в некоторых случаях определяющее воздействие на морфогенез карстового массива. К этим факторам следует отнести: геоморфологические различия, состав и мощность покровных отложений; условия циркуляции карстовых вод, деятельность человека и некоторые другие. Наиболее важным среди них, безусловно, является геоморфологический фактор, который по отношению ко многим другим факторам карста сам является лимитирующим.

Как показывает анализ работ, посвященных изучению роли факторов карстового морфогенеза, многие исследователи этого процесса, давая или принимая близкие в терминологическом и смысловом плане формулировки условий развития карста, тем не менее имеют различные взгляды на роль отдельных факторов в карстовании.

Тектонические условия предопределяют особенности залегания горных пород, их мощность, трещиноватость, смену петрографических равностей, характер рельефа.

В первом приближении исследователями обычно выделяется три вида крупнейших геоструктурных обстановок (условий), которые между собой имеют значительные различия по характеру и особенностям протекания карстового процесса: платформы, складчатые структуры и зоны перехода между этими геоструктурами.

В условиях платформы породы имеют, как правило, углы падения пластов в пределах  $0-2^{\circ}$ . К.А. Горбуновой (1960) для восточной окраины Русской платформы отмечается несколько случаев залегания здесь карстующихся отложений:

1. Куполообразные поднятия, осложняющие структуры более крупного порядка типа валов. Карстующиеся породы выходят на поверхность в сводовых частях поднятий, которые и являются наиболее закарстованными участками территорий. Горные породы здесь часто представлены карстовой брекчией. На крыльях поднятий или в прогибах, напротив, в основном залегают некарстующиеся или менее карстующиеся породы.

2. Моноклиналное залегание толщи карстующихся пород, включающей пачки разного состава. Смена петрографических разностей в пространстве сопровождается изменениями в формах и размерах карстовых образований, направлением и глубиной циркуляции карстовых вод и т.д.

3. Залегание карстующихся пород в своде вала. Движение карстовых вод по направлению падения пластов и их разгрузка в крупных речных долинах и просто понижениях ведут к формированию положительных структур в виде плато.

В складчатых структурах карстующиеся породы чаще всего представлены карбонатными отложениями различного возраста и значительной мощности. Чередование растворимых пород с нерастворимыми создает условия для формирования нескольких горизонтов карстовых вод. Чередование полос, состоящих из пород разного состава, ведет к формированию карстовых форм, расположенных по направлению их простираия. Приурочены данные поверхностные образования в основном к участкам тектонической трещиноватости, к зонам крупных тектонических нарушений.

В предгорных прогибах условия развития карста, по сравнению с представленными выше, существенно разнятся. Например, в Предуральском прогибе карстующиеся породы выходят на поверхность лишь небольшими участками (среди некарстующихся пород) и то лишь в его

краевых частях. На остальной же части территории они перекрыты песчано-глинистыми отложениями значительной мощности. На больших глубинах развивается своеобразный соляной и гипсовый карст.

Во многих работах отмечается связь карстообразования с тектоническими структурами более низкого порядка. Так, в платформенных условиях Восточной Татарии и Западной Башкирии карстовые формы приурочены только к положительным структурам с амплитудой высот кровли более 25 м (Мусин, 1979). В орогенных же областях (известняковый Дагестан) карст, по словам того же автора, развивается как на прямых, так и на обращенных структурах.

Принято считать, что для развития карста наименее благоприятным является горизонтальное залегание пород, а наиболее благоприятным - крутосклонное (Николаев, 1946). Однако исследования особенностей развития поверхностного и подземного карста Крыма (Дублянский, 1977) и Западного Кавказа (Рекомендации..., 1986) выявили сложную зависимость, а в ряде случаев отмечалось, что с увеличением крутизны падения пластов свыше  $50^{\circ}$  условия карстообразования существенно ухудшаются (Дублянский и др., 1990).

Ф а к т о р т р е щ и н о в а т о с т и карстующихся пород и покровных отложений определяет возможность концентрации подземных вод и формирование под их растворяющим воздействием каналов и полостей. Роль трещин в развитии карста подчеркивалась А.А.Крубером, А.Е.Ферсманом, А.С.Барковым, И.К.Зайцевым (1940), Д.С.Соколовым (1951), А.Г.Лыкошиным (1953), Н.А.Гвоздецким (1954), В.Н.Дублянским и Т.З.Кикнадзе (1984) и др. Тектоспелеологические исследования, включавшие в себя обработку большого количества статистических данных, показали наличие тесной связи между ориентировкой пещерных ходов и тектонической трещиноватостью (Соколов, 1962; Бачинский и др., 1964); Кузнецова, 1965; Щепетов и др., 1965; Татаринцов, 1965; Дублянский, 1966 и т.д.).

Вне зависимости от генезиса трещин (тектонические, выветривания, бортового отпора и др.) по ним или в непосредственной близости наблюдается активное карстование, проявляющееся цепочками или вытянутыми полями воронок, иногда переходящими в карстовые рвы (Кузнецова, 1960; Якуч, 1979 и др.)

Коэффициент корреляции, подсчитанный О.И.Баранником (1986) между плотностью воронок и трещиноватостью пород, равняется 0,89, что является самым высоким показателем среди всех факторов учтенных



при статистическом анализе.

Петрография карстующихся пород в основном оказывает влияние на морфологические особенности карстопоявления и интенсивность протекания процесса. По наблюдениям многих исследователей для карбонатного карста в условиях умеренного климата наиболее характерными его проявлениями являются коррозионные и коррозионно-эрозионные воронки, суходолы, карстово-эрозионные и карстовые дога. Для гипсов и ангидритов же - это воронки провального типа, котловины, депрессии. Плотность воронок в известняках обычно не превышает 80-100 шт./км<sup>2</sup>, а в сульфатных породах - 250-300 (Кузнецов, 1955; Горбунова, 1960; Наваров, 1987 и др.)

Для соляного карста характерно формирование крупных зон проседания с большими мощностями обломочных образований. Реки, протекающие по таким зонам, обычно имеют широкие долины (Ходьков, 1953, 1955, 1956; Корневский, 1955, 1956; Максимович, Горбунова, 1959 и др.).

Петрографический фактор, как уже было указано выше, оказывает большое влияние и на скорость протекания процесса. Проведенные исследования по изучению скорости растворения образцов гипса, ангидрита (иренский горизонт), известняка (саргинский горизонт) и доломита (филипповский горизонт) показали, что они относятся соответственно как ряд чисел: 21300: 3200: 18: 7 (Лукин, Ежов, 1975). Влияние литологии, кроме того, предлагается оценивать и через содержание в карстующихся породах нерастворимого остатка (Дублянский, 1977).

Установлено, что различия в текстуре пород, принадлежащих к одному и тому же классу петрографической системы, незначительные с петрографической точки зрения, могут серьезно влиять на динамику коррозии, а эффект этого влияния может во много раз превосходить эффект различий между крупными классами пород (Овчинников, 1938; Martel, 1908; Якуч, 1979).

Результаты проведенных исследований позволяют предполагать, что содержание магния в известняке замедляет растворение породы в меньшей степени, если он присутствует не в форме доломита или магнезита, а равномерно рассеян в кристаллической решетке кальцита (Gerstenhauer, Pfeffer, 1966).

Если в денудации известняка коррозия играет важнейшую роль, то в денудации доломита, согласно принятой в настоящее время гео-

морфологами точки зрения, - второстепенную (Bulla, 1954). Кроме того, что скорость растворения доломита намного меньше, чем известняка, он имеет тенденцию к дезинтеграции на угловатые обломки и порошок. Этот процесс "карстофобного" образования элювия, неизвестный для известняка, в сочетании с удалением продуктов измельчения оказывается ведущим рельефообразующим фактором, превалируя над коррозионными процессами в доломитовых районах. Поэтому "хрестоматийный" ряд карстовых форм в доломитовых районах встречается редко, а рельеф считается карстовым лишь наполовину (Grund, 1903).

В отличие от известнякового карста, в котором даже небольшая трещина в породе имеет потенциальную возможность со временем превратиться в просторный ход, в гипсовом карсте никаких глубоких ходов для воды таким способом образоваться не может. Э.Фульда (Fulda, 1912) был первым, кто указал: если даже по той или иной причине развиваются трещины, которые пронизывают гипсовый кепрок и проникают в ангидрит, то через очень короткое время они все же закроются благодаря разбуханию ангидрита при его превращении в гипс под действием воды, просачивающейся вниз по этим трещинам. По некоторым данным в одном кубическом сантиметре ангидрита образуется  $1.577 \text{ см}^3$  гипса, т.е. увеличение объема составляет 36.5% (Biese, 1931).

Противоположное мнение о результатах превращения ангидрита в гипс представлено С.И.Парфеновым (1967), доказывающим, что процесс данного перехода является типичным метасоматическим процессом, протекающим без изменения объема исходной породы и не вызывающим никаких деформаций сульфатных пород.

Состав и мощность покровных отложений, так же как и литология карстующихся пород, оказывают важное влияние на морфологические особенности карстовых форм и интенсивность развития процесса. В зависимости от наличия или отсутствия покровных образований выделяют несколько типов карста, которые характеризуются определенным комплексом форм (Максимович, Голубева, 1952; Максимович, 1966).

При отсутствии или малой мощности покровных образований на поверхности преобладают коррозионные или коррозионно-эрозионные формы. Увеличение толщи проницаемых некарстующихся пород приводит к развитию форм провального типа.

Зависимость интенсивности карстопроявления от мощности покровных образований установлена многими исследователями для различ-

ных регионов (Пославская, 1954; Соколова, 1955; Миллер, 1956 и др.). Например, по наблюдениям А.Г.Мусина (1979), чем толще покровные отложения, тем ниже активность процесса. По его данным, уменьшение скорости карстовой денудации происходит вниз по течению р.Оредежи с 27.4 до 14.8 м<sup>3</sup>/км<sup>2</sup> в год. В этом же направлении происходит увеличение мощности покровных отложений.

Статистический анализ по оценке влияния некоторых природных факторов с плотностью воронок в мергельно-меловых отложениях также подтвердил наличие связи с мощностью покровных отложений, хотя коэффициент корреляции и не был достаточно высок - -0.56 (Баранник, 1986).

Влияние литологии покровных отложений на интенсивность карста регулируется фильтрационными свойствами отдельных отложений. Наиболее показательны эти свойства отдельных пород отражаются в модулях поверхностного стока. Усиление карста отмечается обычно под покровом хорошо водопроницаемых образований (песков, галечников и т.д.) (Корина, 1948; Kemmerly, Towe, 1978; Лукин, 1979; Мусин, 1979).

Отсутствие проницаемости покровных толщ ведет к почти полному отсутствию поверхностных карстовых форм, и лишь на участках, где данные отложения удалены эрозией, процесс может протекать активно.

Роль рельефа как фактора развития карста определяется его свойством контролировать глубину циркуляции карстовых вод и регулировать величину и направление поверхностного стока. Чем выше вертикальное расчленение рельефа, тем большая толща пород вовлекается в процесс активной циркуляции карстовых вод. Большое значение приобретает густота и глубина расчленения в районах, где карстующиеся породы перекрыты слабо проницаемыми отложениями. Развитие карста здесь наблюдается или лишь в днищах эрозионных форм (речных долинах, логах, балках), или превышает их количество по сравнению с сопредельными участками в 3-7 раз (Козменко 1931; Голубева, 1953; Лыкошин, Соколов, 1954; Пашканг, 1958; Соколов, 1962 и др.). Например, в южной части Кизеловского угольного бассейна около 85% всех воронок сосредоточено в логах и долинах (Горбунова, 1955).

Процесс образования в пределах овражнобалочной сети скоплений воронок, по словам Д.С.Соколова (1962), может быть обусловлен несколькими причинами, причем, в одних случаях на первый план выступает какая-либо одна (или две) из них, в других же воздействие может быть более равнозначным. К их числу могут быть отнесены: а) меньшая

мощность и большая проницаемость покровных отложений на дне оврагов; б) приуроченность овражной сети к тектонической трещиноватости; в) большая мощность снегового покрова и наличие у оврагов и балок значительной водосборной площади, что обеспечивает повышенную инфильтрацию талых и дождевых вод в пределах плоскодонных эрозионных образований.

Исследователями отмечается также зависимость интенсивности карстообразования от морфометрических особенностей рельефа. По данным Л.С. Кузнецовой (1960), с увеличением крутизны поверхности плотность воронок в Кизеловском районе снижается. Наибольшая плотность форм наблюдается на водораздельных пространствах, наклон поверхности которых составляет  $1-2^{\circ}$ . На участках имеющих уклон  $4-5^{\circ}$ , плотность воронок равняется 23 на  $\text{км}^2$ , при угле наклона поверхности свыше  $6^{\circ}$  она снижается до 9.

Влияние крутизны поверхности на распределение карстовых воронок в известняках и доломитах было отмечено и для одного из районов Уфимского плато (Соколов, 1948).

Аналогичные выводы о существовании такой закономерности были сделаны и другими исследователями (Иванов, Дублянский, 1966; Максимович, 1969; Гвоздецкий, 1972; Баранник, 1986 и др.).

В равнинных условиях и в горах влияние степени расчлененности на процесс карстообразования не одинаково. В горах сильная расчлененность рельефа имеет отрицательное воздействие на интенсивность его протекания, а на равнинах положительное (Мусин, 1979).

В результате исследований некоторыми карстоведами были сделаны выводы о том, что влияние уклонов по-разному сказывается на протекании карста в различных литологических равностях (Голубева, 1953; Горбунова, 1956; Ткалич, 1956 и др.). А.Г. Чикишевым (1975) даже был сделан вывод о том, что плотность воронок обратно пропорциональна уклонам рельефа на участках представленных известняковыми породами, и прямо пропорциональна при наличии сульфатных отложений.

В ряде работ связь между количеством карстовых воронок и уклонами земной поверхности отрицается, а отсутствие карстовых форм на крутых склонах объясняется лишь их уничтожением склоновыми процессами (Гурьевич, Марковский, 1974; Мусин, 1979).

**К л и м а т.** Основателями направления климатической (карстовой) морфологии были Г. Леманн (Lehmann, 1948, 1954, 1956) и Б. Булла (Bulla, 1950, 1954), которые первыми оценили значение климатической



зональности Земли для формирования рельефа и, в частности, для эволюции карста.

Вслед за ними П.З.Сабо (Szabo, 1956, 1957) развил климатоморфолого-региональную систему карста. Он указал, что "карстование - непростой процесс. Специфическое геоморфологическое выражение процесса растворения изменяется в соответствии с климатической зональностью. За исключением свойств породы и ее структуры, факторы, ответственные за самые существенные особенности карстовой области, в основном принадлежат к числу климатических".

Как известно, от количества и характера распределения атмосферных осадков по территории зависит интенсивность водообмена, а следовательно, и агрессивность инфильтрационных вод в верхних гидродинамических зонах, режим подземных вод и мощность самой зоны сезонного обводнения в карстующихся породах. Температурный режим поверхностных и подземных вод также, в большей или меньшей степени, обусловлен климатическими условиями и влияет на развитие карста.

Количество инфильтрационных вод, поступающих в зону аэрации и участвующих в растворении и выщелачивании горных пород, практически полностью зависит от общего количества осадков. На территориях, испытывающих значительное увлажнение, развитие карста протекает более интенсивно по сравнению с территориями, отличающимися сухим климатом (Kosacr, 1952; Гвадецкий, 1954; Соколов, 1962 и др.).

Немаловажное влияние на интенсивность развития карста, а часто решающее, оказывает характер выпадения осадков. Фактор неравномерности поступления поверхностных вод в зону аэрации, по-видимому, стимулирует процесс карстообразования, в то время как равномерное выпадение осадков по сезонам года такого воздействия на процесс не оказывает.

Из других климатических факторов, влияющих на инфильтрацию дождевых и талых вод, необходимо отметить увлажненность почв в период установления постоянного снежного покрова и степень промерзаемости почвогрунтов. Являясь производными от основных климатических факторов (режим увлажнения, температурный режим), они, тем не менее, требуют специального выделения, так как непосредственно определяют интенсивность фильтрации талых вод в период снеготаяния.

Агрессивность атмосферных осадков в какой-то мере может повышаться и за счет образующихся при атмосферных разрядах окислов азота. Например, специальные исследования, проведенные в тропиках,

позволяют говорить о грозах как о факторе усиления карста (Lehmann, 1954; Birot, 1954).

В заключение необходимо отметить, что косвенная роль климата в развитии карста определяется и его непосредственным влиянием на формирование растительного и почвенного покровов. Последние, в силу их прямого воздействия на углекислотный режим инфильтрационных вод, как уже было отмечено выше, сами являются факторами развития процесса.

Роль почвы и растительности в развитии карста заключается в их свойствах быть источником поступления  $\text{CO}_2$  в грунтовые воды и таким образом делать последние более агрессивными по отношению к горным породам.

Расчеты, проведенные Л.Якучем (1979), говорят о том, что интенсивность карстования в тропиках превышает интенсивность карстования в пустыне в 72 раза, в Средиземноморье - в 6 раз, в умеренной зоне - в 8 раз и в высокогорье - в 12 раз. При этом доля участия отдельных генетических факторов в карстовой коррозии меняется в широких пределах. Для карстовой коррозии умеренной зоны, Средиземноморья и тропиков наиболее важной составляющей, которая определяет агрессивность воды, является биогенная  $\text{CO}_2$ , содержащаяся в почвенном воздухе. Затем следуют органические кислоты почвы (гумусовая, гуминовая и выделения корней). Остальные факторы (атмосферная  $\text{CO}_2$ , двуокись углерода, неорганические кислоты) играют подчиненную роль. С другой стороны, в высокогорных и перигляциальных условиях и в пустыне основной в процессе карстовой коррозии является  $\text{CO}_2$  атмосферного происхождения, а в пустыне некоторые значение приобретают даже неорганические кислоты. Другое значение состоит в их возможности влиять на скорость фильтрации атмосферных вод и формирование поверхностного стока (Вауэр, 1964; Чикишев, 1964, 1975, 1986; Ступинин, 1967 и др.).

На интенсивность снеготаяния, а следовательно, и инфильтрации оказывает влияние и породный состав деревьев. Наибольшая задержка снеготаяния наблюдается в еловых лесах, наименьшая - в лиственных (Дубак, 1951).

К наиболее проницаемым почвам относятся черноземы и песчаные подзолистые почвы, наименьшей же проницаемостью отличаются солонцы и глинистые равнины лесных и луговых почв.

А н т р о п о г е н н ы й ф а к т о р существенно влияет на

степень воздействия большинства природных факторов карстообразования. Усиление эффекта их воздействия происходит по многим причинам. К ним относятся: увеличение динамических нагрузок на грунты (увеличение этажности и плотности застройки), повышение водопотребления, удаление покровных отложений (карьеры, котлованы), использование в строительных целях территорий с неблагоприятными инженерно-геологическими и инженерно-геоморфологическими условиями и т.д.

Активизация карста происходит благодаря изменениям, возникающим в ходе развития процесса - увеличению скорости растворения и эрозии карстующихся толщ, развития суффозии и разжижения покровных отложений. В конечном результате, как правило, происходит резкое увеличение частоты образования подземных карстовых форм и как следствие поверхностных (провалов).

По результатам работ, опубликованных Ф.В.Котловым (1963, 1977, 1978), В.Л.Беляевым и В.В.Толмачевым (1990), была предложена классификационная схема антропогенных факторов.

По характеру преимущественного воздействия выделены факторы: 1) изменяющие гидрогеологические условия; 2) изменяющие напряженное состояние толщи пород вследствие механического воздействия.

По характеру изменения процессов - компонентов механизма карстовых деформаций выделяются факторы, приводящие к следующим последствиям: 1) изменение скорости растворения карстующихся пород; 2) изменение скорости подземной эрозии, в том числе вынос заполнителя из карстовых полостей; 3) разрушение кровли карстовых полостей; 4) развитие суффозии в покрывающей толще; 5) возникновение разжижения водонасыщенных грунтов.

Кроме того, авторами классификации были выделены еще три группы факторов: по площади и времени воздействия и по характеру проявления.

В качестве факторов карстообразования правомерно рассматривать отдельные виды человеческой деятельности. Их реализация предопределяет развитие тенденции к изменению интенсивности и размеров карстопроявлений.

Откачки надкарстовых вод приводят к понижению их уровня, а при наличии суффозионных грунтов в водонепроницаемой толще они могут за счет низкоходящей фильтрации вызвать суффозионный перенос грунта в нижерасположенные полости - приемники, и как результат образование провалов (Кутепов, Кожевникова, 1989).

Аналогичные по эффекту результаты возникают при откачке трещинно-карстовых вод. Например, в районе Кизеловского угольного месторождения на водоразделе рек Опаленной и Вишер образование карстовых воронок (260 шт./км<sup>2</sup>) связано с дренирующей деятельностью шахтного водоотлива (Кузнецова, 1960).

Развитие новых карстовых форм происходит при искусственном повышении уровня надкарстовых и трещинно-карстовых вод, создании и эксплуатации искусственных водоемов и водотоков, утечке из водо- и растворонесущих сетей, строительстве и эксплуатации зданий и сооружений, вертикальной планировке площадок под строительство, забивке или вибропогружении свай, взрывных работах, химическом загрязнении атмосферы, поверхностных и подземных вод, почв и грунтов. Увеличение в атмосферных осадках содержания ионов Na<sup>+</sup> и Cl приводит к увеличению их карбонатной емкости и увеличению потенциальной возможности развития карста в известняках. В то же время увеличение содержания SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> снижает гипсовую емкость атмосферных осадков и действует в качестве тормозящего фактора в развитии сульфатного карста.

### Вопросы классификации карста

Современные подходы к классификации карста были сформулированы карстововедами в 50-60-е гг. текущего столетия. Г.А.Максимович и К.А.Горбунова различали четыре основных типа карста: голый, или оредиаемноморский; покрытый, или среднеевропейский; закрытый, или русокий; перекрытый, или камский. На международной спелеологической конференции в Брно (1964 г) Н.А.Гвоздецким была предложена классификация карста СССР, основанная на совмещении шести морфолого-генетических и пяти литологических типов (Gvozdeckij, 1965; Типы карста СССР, 1965).

В настоящее время на территориях России и смежных с ней государств выделяются следующие морфолого-генетические типы процесса: 1) погребенный, или ископаемый карст; 2) бронированный карст; 3) покрытый карст; 4) задернованный карст; 5) полужадернованный и частично задернованный карст; 6) голый карст; 7) останцовый тропический карст (только реликтовый); 8) карст, развивающийся в условиях вечной мерзлоты; 9) морской карст.

Основные литологические типы, с которыми совмещаются морфолого-генетические, следующие: 1) известняковый карст; 2) доломитовый



карст; 3) карст в мраморах; 4) меловой карст, в том числе карст в мелоподобных мергелях; 5) гипсово-ангидритовый карст; 6) соляной карст (Гвоздецкий, 1981).

Полученные при совмещении этих двух классификаций типы карста группируются автором в два класса равнинного и горного карста (с подклассами низко-, средне- и высокогорного).

Несколько другие подходы присутствуют в классификации карста Урала и Предуралья, предложенной К.А.Горбуновой. По составу карстующихся пород она выделяет следующие типы карста: карбонатный (в известняках, доломитизированных известняках, доломитах, меловых породах, мраморах), сульфатный (в гипсах и ангидритах), соляной (в каменной соли, сильвините и других солях). Процесс в песчанниках, конгломератах с растворимым цементом относится автором к кластокарсту.

По наличию или отсутствию покровных отложений и их составу карст подразделяется на типы: голый; задернованный; покрытый (подэлювиальный); перекрытый (подаэлювиальный, или подфлювиогляциальный); закрытый; карст, развивающийся под карстовой брекчией (Горбунова, Андрейчук и др. 1992).

Кроме российских вариантов классификации карста следует упомянуть и о разработке Д.Квинлена (Quinlan, 1966). Основана она на большем количестве критериев, хотя в общих чертах близка классификации Н.А.Гвоздецкого.

Классификация карста с общегеографических позиции была предложена М.Свитинг (Sweeting, 1972). Автор выделяет пять основных типов карста: 1) настоящий карст; 2) флювиокарст; 3) гляциально-нивальный карст, включая карст области вечной мерзлоты; 4) тропический карст; 5) аридный и семиаридный карст. Из критики на эту работу явствовало, что выделенные типы слишком широки и каждый из них включает в себя несколько типов, уже существующих более подробных классификаций, которые учитывают не только общую физико-географическую обстановку развития карста, но также и характер и толщину покрова над карстующимися горными породами и очень важные литологические особенности (Гвоздецкий, 1981).

Оригинальную типизацию карста представил в своей работе Л.Якуч (1979). По словам автора, на количественную и качественную обусловленность, динамику карстовой денудации влияет также орографическое соотношение карстующейся породы с окружающей ее некарсто-

ной территорией. Учитывая геологическое и структурное положение территорий, представленных карстующимися породами, им выделено два основных типа карста: автогенный и аллогенный.

Под автогенным карстом подразумевается процесс, протекающий в карстующемся массиве, который приподнят над окружающей территорией и доминирует над ней. Такое расположение препятствует какому-либо притоку поверхностных вод из некарстовых территорий к карстовому массиву или внутрь него. В автогенном карсте происходит постоянный отток (или сток) вод карстового массива к расположенной ниже некарстовой поверхности. Следовательно, только воды, просочившиеся в собственно карстовый массив, могут влиять на генетические факторы гидрографии этого типа карста.

Группа автогенного карста включает в себя в большинстве случаев останцовый карст и наиболее типичный горный карст.

Напротив, аллогенный карст предполагает, что закарстованный известняк ( гипс, доломит) располагается таким образом, что линейный сток с некарстовых поверхностей может достигать территорий, представленных растворимыми породами. Таким образом, критерием аллогенности карста является то обстоятельство, что гидрографическая сеть карстующихся территорий должна принимать воды с соседних (некарстовых) поверхностей.

Как справедливо замечает Л. Якуч, в природе в чистом виде проявляется главным образом только автогенный карст, в то время как в аллогенном карсте его морфологические особенности неизбежно комбинируются с гидрологическими и морфологическими чертами автогенного карста.

## ГЛАВА 2. РАЙОНИРОВАНИЕ КАРСТА ПЕРМСКОГО ПРЕДУРАЛЬЯ И УРАЛА

Первое районирование карста Пермского Предуралья и Урала было осуществлено более 30 лет назад Г.А.Максимовичем и К.А.Горбуновой (Максимович, Горбунова, 1958). Учитывая особенности геологического строения, рельефа и историю развития территории, его авторы выделили 4 карстовых области и 16 карстовых районов. Позднее ими в схему районирования (Максимович, Горбунова, 1965; Максимович, Костарев, 1973) были внесены изменения, в результате чего она стала более дробной и уже не ограничивалась административными границами Пермской области. По этой схеме Пермское Предуралье и смежная с ним часть горного Урала делились на две карстовые страны: Русскую платформу (Восточную окраину Русской платформы) и Уральскую. Первая была представлена Приуральской карстовой провинцией, состоящей из 1 карстовой области и 4 районов. Вторая же состояла из 3 провинций: Предуральской, Западноуральской и Центральноуральской, которые в свою очередь включали в себя 5 областей и 12 районов.

Другая система таксономических единиц в районировании карста восточной окраины Русской платформы была использована Н.А.Гвоздецким (1972). Страна, являющаяся также высшей территориальной единицей районирования, делится на области, последние - на провинции, провинции - на округа. Характеризуя районирование Г.А.Максимовича как основанное "исключительно на геологических данных", автор использует и географические подходы. Карстовые области, по этой схеме, охватывают ряд разобщенных в пространстве территориальных образований (провинции и округов), различающихся между собой характером морфоструктур, тектоникой, литологией и физико-географическими условиями. Пермское Предуралье, по Н.А.Гвоздецкому, почти полностью располагается в пределах Средневожско-Камской карстовой области и лишь небольшим участком на севере территории входит в состав Тимано-Печерской области. Карстовая провинция, охватывающая Пермскую часть карстовой области, с длинным названием "Краснокамско-Полаваненский вал, Башкирский и Шпаковско-Ромашкинский своды" (не ясно, почему автор выделил особо структуру Краснокамско-Полаваненского вала из всего Пермского свода, сохранив при этом в названии другие тектонические структуры на уровне сводов. - Н.Н.), в свою очередь состоит из 4 округов Соликамского, Пермско-Кунгурского, Уфимского плато и Нижнеуфимского.

Отличается от представленных выше карстовых районирований Пермской части Русской платформы и схема, предложенная А.Г.Чикишевым (1978). В Средневолжско-Камской карстовой области им выделяется Уфимско-Камская провинция, в которой расположены Бельско-Чусовской и Уфимский округа. Последние, в свою очередь, подразделяются еще на несколько районов.

Районированием карста складчатой зоны Пермского Урала, кроме местных исследователей, плодотворно занимались А.Г.Чикишев и Н.В.Попов (Чикишев, 1967; Попов, 1971). В отличие от Пермских карстоведов эти авторы при выделении территориальных единиц широко использовали возможности физико-географического обоснования. Одно из принципиальных различий позиций авторов в представленных выше схемах районирования связано с вопросом о принадлежности Уральского краевого прогиба к выделенным ими карстовым странам. Если, по мнению Г.А.Максимовича с соавторами, территория прогиба входит в состав Уральской карстовой страны и именуется ими как Предуральская провинция, то, по Н.А.Гвоздецкому, она находится в пределах Русской равнины (восточной окраины Русской платформы). На этот факт указывает не только положение границы между карстовыми странами, представленной автором в мелкомасштабной схеме районирования, но и включение им в состав равнинной территории Соликамского карстового округа, территориально принадлежащего предгорному прогибу. Следует однако отметить, что та неопределенность, которая, по-видимому, до сих пор существует у карстоведов по данному вопросу, позволила впоследствии Н.А.Гвоздецкому (1981) дать описание Предуральского прогиба уже в составе Урала.

Районирование карста галогенных отложений на территории СССР, проведенное К.А.Горбуновой (1977), по словам автора, базировалось на более надежной литолого-палеогеографической основе, в отличие от подходов, опирающихся в основном на геоструктурное деление. Важное значение в принципах районирования при его проведении здесь отводилось к учету гидрогеологических условий. В результате К.А.Горбуновой в качестве высшей таксономической единицы районирования был выделен регион, который подразделялся на области, соответствующие артезианским бассейнам, и районы. Территория Пермской области по этой схеме, практически полностью, за исключением небольшой площади на севере и горной части на востоке, характеризующейся в основном известняковым карстом, входит в состав карстовой области Волго-Камс-

кого гипсового, карбонатно-гипсового и соляного карста, который вместе с еще восемью областями образует Восточно-Европейский регион. В структурно-тектоническом плане область приурочена к Волго-Уральской антеклизе, сводам, валам и локальным поднятиям восточной Приуральской части Русской платформы и Предуральского краевого прогиба. В пределах Пермской части карстовой области автором районирования выделяется 9 районов сульфатного и 1 район соляного карста.

Позднее Н.Н.Назаровым (1985) на основе результатов дистанционных исследований Пермского Предуралья и Урала была несколько видоизменена схема районирования Г.А.Максимовича и К.А.Горбуновой. Корректировка в основном коснулась лишь количества (число их достигло 19) и положения границ районов.

Подводя итог краткому анализу работ, посвященных районированию карста в регионе, следует отметить, что решение этого вопроса еще далеко от своего завершения. Аналогичная ситуация, впрочем, часто наблюдается и в отношении других видов районирования, когда по мере углубления уже имеющихся знаний или получения новых данных об изучаемом объекте старая схема "ремонтируется" или заменяется новой.

Одним из принципиальных вопросов в районировании карста Урала и Приуралья является установление территориальной принадлежности Предуральского краевого прогиба к одной из карстовых стран. Как уже отмечалось выше, в настоящее время в литературе встречается два подхода к решению проблемы: 1) прогиб находится в составе Уральской горной страны, 2) прогиб располагается в пределах Русской равнины.

Для сравнения рассмотрим, как этот вопрос решается при осуществлении других видов природного районирования (инженерно-геологическом, гидрогеологическом, ландшафтном, геоморфологическом), которые по отношению к карстовому, безусловно, должны являться базовыми и на отдельных его этапах даже играть роль своеобразной картографической основы.

Наиболее приемлемым и часто используемым в практике приемом природного деления территории на самом высоком таксономическом уровне является геоструктурный. Главная структурная граница на рассматриваемой территории, разделяющая ее на две неравные по площади части, проходит по восточной границе краевого прогиба. Согласно принципам инженерно-геологического районирования, разработанным

Н.В. Поповым, и унифицированной схеме, принятой на координационном совещании по этой проблеме, к западу и к востоку от нее располагаются регионы первого порядка (инженерно-геологические страны) - Русская платформа и Урало-Новоземельская горная страна (Инженерная геология СССР, 1978). Предуральский регион (восточная окраина Русской платформы и Предуральский прогиб) на этой схеме представлен слабодислоцированными, с залеганием, близким к горизонтальному, терригенными породами верхнепермского возраста, а также морскими и прибрежно-морскими осадочными породами нижней перми. Уральский регион охватывает структуры Западно-Уральской зоны складчатости и Центрально-Уральское поднятие. Преимущественное развитие здесь получили дислоцированные осадочные, метаморфические и эффузивные породы протерозойского и палеозойского возраста.

Главная гидрогеологическая граница в регионе, отделяющая Восточно-Русский артезианский бассейн от Уральской системы бассейнов грунтовых вод зон трещиноватости, также проходит по восточной окраине прогиба, структурно оставляя его в составе платформы (Гидрогеология СССР, 1972).

На схемах геоморфологического районирования Урала и Русской равнины основной рубеж между ними практически повсеместно повторяет границу прогиба с зоной складчатости (Спиридонов, 1980). Как показывает сравнительный анализ морфометрических показателей и морфологии рельефа восточной окраины Русской платформы и Предуральского прогиба, территории имеют между собой большое сходство. К востоку же от прогиба наблюдается скачкообразное изменение значений этих показателей - увеличение абсолютных и относительных отметок рельефа, общей расчлененности, уклонов и т.д. (Назаров, 1988).

Резкая смена характера рельефа, наблюдающаяся по границе геоморфологических стран, нашла свое отражение и в различии климатических условий горной и предгорной частей рассматриваемой территории. Здесь, в узкой зоне перехода от равнины к горам, отмечаются наибольшие градиенты изменений климатических показателей, по которым можно судить о существовании здесь главного климатического рубежа. В качестве подтверждения этого факта следует отметить, что к востоку от этого рубежа изолинии температур, осадков и некоторых других метеорологических показателей на коротком расстоянии максимально сближаются между собой и имеют меридиональное направление. В западном же направлении, напротив, происходит заметное рассредото-

чение данных изолиний, сопровождающееся постепенной сменой их положения на субширотное, а затем и широтное (Шкляев, Балков, 1963; Урал и Предуралье, 1968).

Ярко выраженный рубеж между равнинной и горной частями региона был установлен в процессе ландшафтного районирования. По словам Б.А.Чазова, граница эта "контрастирована геолого-геоморфологическими условиями (в виде уступа), усиливающими климатические и почвенно-растительные различия" (Чазов, 1960, с.94). В соответствии со схемой районирования она является главной и делит рассматриваемую территорию на две ландшафтные страны - Русскую равнину и Урал.

Таким образом, проанализировав роль геоструктурного фактора в формировании условий карстообразования в Пермском регионе, можно констатировать, что Предуральский краевой прогиб практически по всем природным характеристикам стоит ближе к карстовой стране Русской равнины, чем к Уралу, и соответственно должен являться частью первой.

Результаты последних исследований по картированию поверхностных карстовых форм (Назаров, 1987) геоморфологические, геологические, инженерно-геологические, гидрогеологические съемочные работы среднего и крупного масштаба, а также многие другие, часто разрозненные, материалы по развитию процесса в Пермской области позволили применить новую таксономическую систему районирования карста этой территории и дать определения ее основным единицам. Новизна предлагаемой нами схемы и смыслового содержания выделенных таксонов заключается, в первую очередь, в строгом соблюдении иерархичности природных факторов (геоструктурного, геоморфологического, гидрогеологического, климатического и др.), определяющих основные условия развития карста (Соколов, 1962); во-вторых, в более полном учете физико-географической (ландшафтной) обстановки в процессе установления границ между отдельными территориальными единицами районирования; и, в-третьих, в использовании для целей районирования (главным образом для выделения карстовых районов) морфометрических, морфологических, частотных и некоторых других характеристик поверхностных форм карста.

Высшей территориальной единицей карстового районирования является с т р а н а, которая выделяется по геоструктурному признаку. Как правило, этим крупным образованиям соответствуют платформы и орогенические пояса различных возрастов. Карстовые страны в основ-

ных чертах обычно повторяют контуры инженерно-геологических, геоморфологических, физико-географических и других природных стран (регионов первого порядка). Заметные отличия между горными и равнинными странами наблюдаются и во внешних проявлениях карста. Так, для первых характерно преобладание линейно вытянутых карстовых образований (цепочки воронок, депрессии, сухие русла, рек, пещеры), совпадающих с направлением геологических структур, разломов, литологических границ. На равнинных же территориях, напротив, линейное расположение карстовых форм встречается редко и если наблюдается, то бывает связано с орографическими особенностями отдельных участков. Кроме того, быстрая смена литологических разностей и значительная расчлененность рельефа в горных условиях ведут к высокой степени дифференциации карстопроявления в странах орогенических поясов по сравнению с платформенными.

Карстовая о б л а с т ь образует часть карстовой страны. Обособление ее диктуется необходимостью дифференциации отдельных территорий со схожими морфоструктурными, литологическими, гидрогеологическими и физико-географическими условиями. Области в определенной степени несут также черты зональности внутри равнинных карстовых стран. В территориальном плане они часто отвечают положению инженерно-геологических регионов второго порядка, геоморфологических областей и артезианских бассейнов.

Карстовая п р о в и н ц и я является территориальной единицей, которая в таксономическом отношении равна карстовой области. Их выделение осуществляется по более жестким критериям, в которых на первый план вновь выходит геоструктурный принцип. Территориально провинциям соответствуют крупнейшие структурные единицы, входящие в состав платформ и орогенов. Кроме того, приуроченные к горным и предгорным территориям, они часто имеют признаки ландшафтной дифференции, что бывает обусловлено наличием здесь высотной поясности и (или) барьерным эффектом гор.

Таксономическая одноуровненность и территориальное несоответствие карстовых областей и провинции обуславливают возможность выделения п о д п р о в и н ц и й - частей провинции в пределах областей.

Карстовый о к р у г на схеме районирования соответствует положению тектонической структуры еще более низкого порядка (впадина, свод и т.д.). Разнообразие природных условий, обусловленное в ос-



новом тектоническим фактором, предопределило и формирование различных карстопоявления в пределах областей, провинций, подпровинций и округов. Вольшинству из них свойственны совершенно определенные величины пораженности территории процессом, а границы совпадают или близки к границам распространения карстовых форм. Резкие отличия территориальных единиц могут наблюдаться в морфологии и морфометрии карстовых образований, что особенно наглядно проявляется в связи со сменой карстующих пород или изменением мощности перекрывающих их отложений.

Основной единицей районирования является карстовый район, представляющий собой в геоморфологическом отношении отдельную морфоструктуру (или ее часть), в которой растворимые горные породы залегают на земной поверхности или неглубоко от нее и благодаря наличию зоны активного водообмена подвержены активному карстованию. Одним из критериев определения местоположения района в пределах территориальных единиц более высокого порядка являлись данные по пораженности Пермского региона процессом (рис.1). Как правило, граница между районами совпадала с границей проявления изменения плотности карстовых воронок, которое является одним из наиболее достоверных индикаторов смены природных условий в пространстве. Важнейшим отличительным признаком карстового района, кроме прямых проявлений процесса - поверхностных и подземных форм, служит образование здесь специфического карстового ландшафта (Лукин, 1974; Чикишев, 1985; Гвоздецкий, 1988), которое обычно сопровождается качественными изменениями в рельефе, растительности, почвах, увлажненности и некоторых других компонентах природы по сравнению с окружающими их территориями.

В соответствии с представленными выше таксономической системой районирования карста и определениями региональных единиц нами на территории Пермской области были выделены 2 карстовые страны, 2 области, 5 провинций, 6 округов и 18 районов (рис.2). Названия карстовых районов, предложенные ранее К.А.Горбуновой, при сохранении их местоположения на новой схеме районирования были оставлены без изменения.

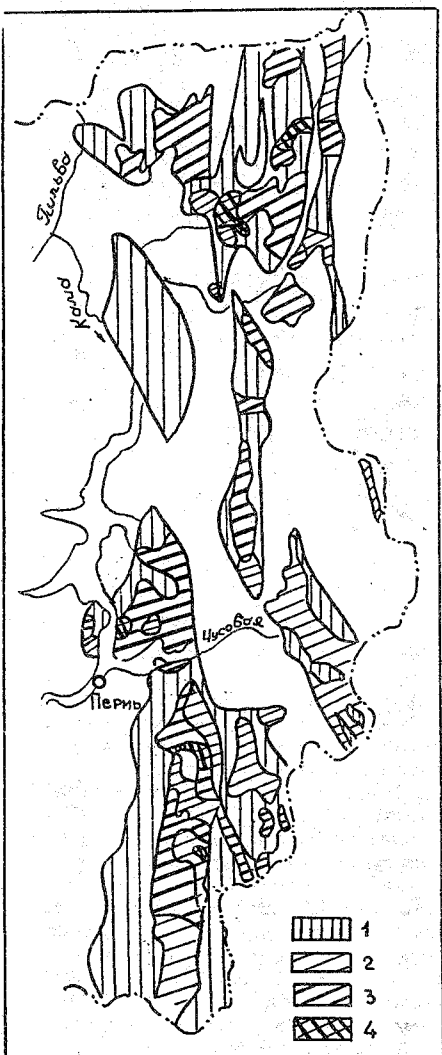


Рис.1. Плотность карстовых воронок в Прикамье, шт./км<sup>2</sup>:  
1 - менее 1; 2 - 1-10;  
3 - 11-50; 4 - более 50

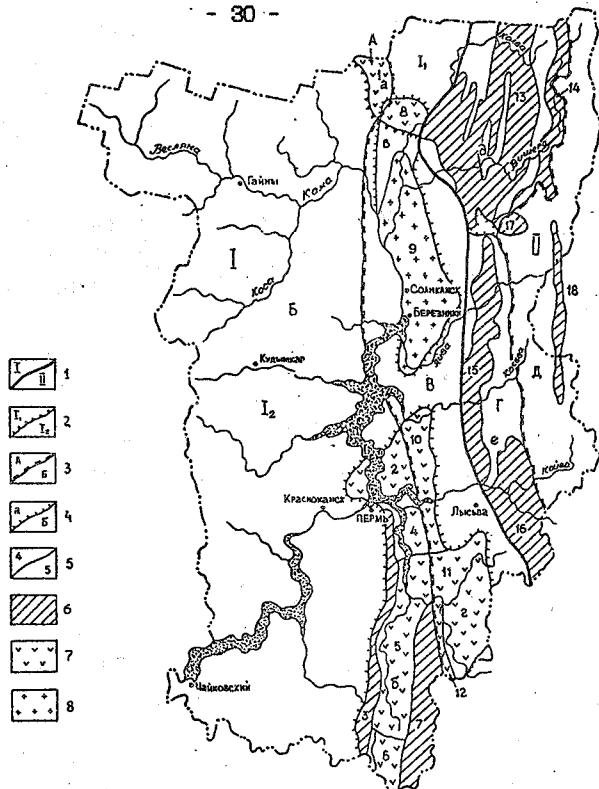


Рис. 2. Районирование карста Прикамья. Границы: 1 - стран, 2 - областей, 3 - провинций, 4 - округов, 5 - районов. Карстовые породы: 6 - известняки; 7 - преимущественно гипсы и ангидриты; 8 - каменная соль.

**Карстовые страны:** 1 - Русской равнины, 11 - Уральская.

**Карстовые области:** 1<sub>1</sub> - Тимано-Печерская, 1<sub>2</sub> - Средневожско-Камская.

**Карстовые провинции:** А - Тиманская, Б - Восточной окраины Русской платформы, В - Предуральского прогиба, Г - Западно-Уральская, Д - Центрально-Уральская.

**Карстовые округа:** а - Южно-Тиманский, б - Камско-Вельский, в - Чердынско-Соликамский, г - Сызвинско-Чусовской, д - Уньвинско-Вишерский, е - Язьвинско-Чусовской.

**Карстовые районы:** 1 - Коснофонтровский, 2 - Полавинско-Шаламинский, 3 - Курашимо-Чернушинский, 4 - Нижнесызвинский, 5 - Кунгуро-Иренский, 6 - Щучьеозерско-Аскинский, 7 - Уфимского плато, 8 - Колво-Вишерский, 9 - Соликамский, 10 - Косьюинско-Чусовской, 11 - Вардынский, 12 - Кизертско-Сукоунский, 13 - Средневишерский, 14 - Верхневишерский, 15 - Язьвинско-Кизедовский, 16 - Пашийско-Чусовской, 17 - Язьвинский, 18 - Тышлыо-Кырьянский

## ГЛАВА 3. ТЕРРИТОРИАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ КАРСТООБРАЗОВАНИЯ

### Карстовая страна Русской равнины (1)

Карстовые явления в пределах Пермской части Русской равнины развиты в платформенных условиях, в которых процессу растворения и выщелачивания подвержены карбонатные и сульфатные отложения нижней перми. Выделяются две карстовые области - Тимано-Печерская и Средневожско-Камская и три провинции - Тиманская (А), Восточной окраины Русской платформы (Б) и Предуральского прогиба (В).

Тимано-Печерская область (1<sub>1</sub>) располагается на самом севере Пермского Предуралья и представлена лишь небольшим фрагментом Южнотиманского округа (а). В составе последнего выделяется один карстовый район.

Ксенофонтовский район (1) занимает часть бассейна среднего и верхнего течения р.Пильвы и в плане соответствует центральной и северо-западной частям морфоструктуры Ксенофонтовского вала. Карст развит в основном по юго-западной периферии района, где процессу выщелачивания подвержены сульфатные породы кунгурского и артинского ярусов нижней перми. На большей части территории коренные породы перекрыты 5-10-метровым чехлом средне- и верхнечетвертичных полигенетических и флювиогляциальных отложений, представленных песками и супесями. Небольшие площади в пределах района характеризуются распространением ледниковых и болотных образований.

Проявления карста сосредоточены главным образом в пределах неширокой (1-2 км) заболоченной полосы, которая, как уже выше отмечалось, расположена вдоль юго-западной границы района. Встречаются карстовые воронки и котловины. Размеры последних достигают 800-1000 м в поперечнике. Максимальная плотность карстовых форм обычно не превышает 10 шт./км<sup>2</sup>. Проявления карста фиксируются лишь на 44 % площади территории карстового района (рис.3), хотя, по данным бурения, подземные формы распространены значительно шире. Очень редко небольшие воронки встречаются в пределах территории распространения соликамских известняков.

Средневожско-Камская область (1<sub>2</sub>) занимает большую часть равнинной территории Пермского Предуралья и



Рис.3. Соотношение площадей территорий с различной плотностью воронок в пределах карстовых районов, шт./км<sup>2</sup>: 1 - воронки отсутствуют; 2 - менее 1; 3 - 1-10; 4 - 11-50; 5 - 51-100; 6 - более 100

приурочена к восточной окраине Русской платформы и Предуральскому прогибу. Карст развивается преимущественно в кунгурских и частично соликамских гипсах и ангидридах. В меньшей степени процесс затрагивает переслаивающиеся с ними известняки, доломиты, каменную соль. В пределах области нами выделены 3 карстовых округа - Камско-Бельский, Чердынско-Соликамский и Сылвинско-Чусовской. Камско-Бельский округ (б) охватывает площадь развития карстующихся пород в пределах Пегмско-Башкирского свода. На этой территории располагается 6 карстовых районов.

П о л а з н и н с к о - Ш а л а ш и н с к и й р а й о н (2) своим местоположением соответствует морфоструктуре Дивьянского вала. Карстованию здесь подвергаются преимущественно гипсоангидритовые пачки ирененского горизонта кунгурского яруса, чередующиеся с карбонатными породами. Наибольшая мощность горизонта (150-200 м) наблюдается в сводовых частях Краснокамско-Позавненского и Каменноложского валов, осложненных мелкими брахиантиклинальными поднятиями. На большей части территории карстующиеся породы покрыты трещиноватыми терригенно-карбонатными отложениями соликамского горизонта. Их мощность на междуречье Камы и Чусовой порой достигает 130 м. На сводах же поднятий она уменьшается до 20-50 м, а на присклонных участках долин иногда до нуля. В сводовых частях отдельных валов встречаются обвальное-карстовые отложения (карстовая брекчия), достигающие мощности 100 м и более. Как правило, данные образования заполняют древние карстовые депрессии, что говорит о значительном упрощении современного рельефа по сравнению с ему предшествующим.

В связи с образованием в 50-е гг. Камского водохранилища, вызвавшего подъем уровня воды в реке более чем на 20 м, произошло изменение режима вод в прибрежной зоне карстового района. Практически повсеместно началось поступление в береговой массив слабоминерализованных вод, вызвавшее активизацию процесса и проявившееся в омоложении старых и возникновении новых форм.

В пределах района К.Г.Бутыриной (1975) было выделено 7 карстовых участков - Позавнинский, Лунежский, Дивьянско-Каменноложский, Яринский, Шалашинский, Куликовский, Чусовского Мыса. Позднее, по мере получения новых фактических данных, нами на правобережье р.Камы был выделен Гайвинско-Хокловский участок (Назаров, 1985), что в значительной степени сказалось на положении западной границы района (прирост площади составил почти 50%). Все участки имеют свои, ка-

рактерные и присущие только им черты карстопроявления.

Полазнинский участок занимает левобережную часть Камского водохранилища в окрестностях п.Полазна. Своей площадью он проектируется на сводовую часть Краснокамо-Полазненского вала, осложненного, в свою очередь, более мелкими структурами. Закарстованность в целом высокая. Плотность воронок в южной части участка (на самом берегу водохранилища) достигает 300 шт./км<sup>2</sup>. Средняя же составляет 30-50 шт./км<sup>2</sup>.

Лунежский участок вытянут вдоль левого высокого берега р.Камы - от д.Лунежки до д.Заполье. На юге территории плотность воронок - около 30 шт./км<sup>2</sup>. К северу происходит снижение значений этого показателя - до 5-10 шт./км<sup>2</sup>. По мере удаления от водохранилища плотность карстовых форм резко уменьшается и составляет примерно 1 шт./км<sup>2</sup> и менее.

Дивьянско-Каменноложский участок в плане приурочен к сводовой части и юго-западному крылу Каменноложского вала, осложненного цепочкой брахиантиклинальных поднятий. Участок отличается небольшой мощностью покровной толщи, значительной обогащенностью сульфатных пород и широким распространением карстовой брекчии. Характерной особенностью участка является островное развитие поверхностных карстовых форм. Места их локализации приурочены к целикам сульфатных пород, разделенных древними карстовыми депрессиями, заполненными карстовой брекчией. Внешне участки этих депрессий выделяются повышенными отметками рельефа и отсутствием карстовых форм. За пределами участков, сложенных обвальными карстовыми отложениями, широкое распространение кроме воронок получили карстовые котловины и депрессии. Наиболее закарстованной является западная часть участка - склоны долин рек Васькина, Сухая (приток Полазны), а также, примыкающие к ним водораздельные пространства. Плотность воронок достигает 100-200 шт./км<sup>2</sup> (в среднем - около 70 шт./км<sup>2</sup>). В восточной части участка этот показатель редко составляет 30 шт./км<sup>2</sup>, а чаще всего колеблется в пределах 5-10 шт./км<sup>2</sup>. Довольно часто встречаются цепочки воронок. Одно такое линейное образование, зафиксированное нами на междуречье Полазны и Сухой, имело протяженность около 1 км.

Яринский участок своим положением соответствует северному погружению Каменноложского вала, осложненному несколькими локальными структурами (Яринской, Северояринской и др.). Карстовые формы представлены воронками, эрозионно-карстовыми оврагами и небольшими

озерами с атмосферным питанием. Воронки распространены неравномерно. Их плотность может достигать 30 шт./км<sup>2</sup>. Обычные размеры воронок в поперечнике - не более 20 м, хотя отдельные формы достигают 40-50 м. В северо-западном направлении наблюдается увеличение мощности глинистых четвертичных и терригенных соликамских отложений до 60-70 м. В этом же направлении происходит сначала уменьшение, а затем и полное исчезновение поверхностного проявления карста.

Шалашинский участок в тектоническом плане соответствует своду и юго-восточному крылу Каменноложского вала, осложненного Шалашинской брахиантиклиналью. Карст участка преимущественно сульфатный, переходящий по мере удаления от водохранилища в карбонатно-сульфатный. В сводовой части вала иренский горизонт практически полностью выщелочен, а его доломитовые пачки и породы соликамского горизонта превращены в брекчию. Мощность последней может достигать 45-60 м. Сильная трещиноватость сульфатных пачек, наблюдающаяся в уступах берегов водохранилища, способствует проявлению здесь интенсивного отседания склонов.

Поверхность участка прорезана узкими меридионально вытянутыми речными долинами малых рек, нередко врезанных до уровня карстовых вод. В днищах долин рек Мутная, Оверная и Талая распространены карстовые депрессии, в которых встречаются достаточно крупные озера. В долине же р.Ветляны и низовьях р.Мутной сульфатные пачки, по-видимому, полностью выщелочены. Проявлений карста здесь не наблюдается, хотя в непосредственной близости от склонов долин - на водоразделах (в пределах целиков) процесс и сейчас протекает активно. Закарстованность на этих участках достигает 25-30 шт./км<sup>2</sup>. Формы проявления карста разнообразны. Кроме воронок широко распространены карстовые дога, суходолы, сухие русла рек, депрессии.

Куликовский участок занимает узкую полосу правобережья Чусовского залива от д.Конец Гор до д.Нижние Пеньки. Берег водохранилища на значительном протяжении представляет собой стену отвесных сильно трещиноватых гипсовых скал, с многочисленными береговыми карстовыми формами (нишами, блоками отседания, каррами). Средняя плотность воронок на водораздельной поверхности - 5-10 шт./км<sup>2</sup>. Максимальная же составляет 15-30 шт./км<sup>2</sup>. Размеры форм в поперечнике достигают 40 м. На крутосклонных участках долины р.Чусовой расположены входы четырех карстовых пещер, уходящих на глубину от 12 до 62 м.



Карстовый участок Чусовской Мыс расположен в месте слияния рек Чусовой и Камы и приурочен к юго-восточной части крыла Краснокамско-Полазненского вала. Здесь сульфатные породы перекрыты плитчатыми известняками, мергелями и доломитами мощностью до 50 м.

На отдельных участках вдоль береговой зоны наблюдаются поля воронок с высокой плотностью - до 100 шт./км<sup>2</sup>. По мере удаления от речных долин интенсивность карстопроявления уменьшается. На водоразделах значения этого показателя становятся не выше 5-15 шт./км<sup>2</sup>. Ширина воронок в поперечнике достигает 40-60 м. Воронки обычно конусообразные. Глубина крупных форм, расположенных на водоразделе или в верхней части склонов долин, - до 20 м и более. Участок ранее был детально исследован К.А.Горбуновой (1956, 1966).

Гайвинско-Хохловский участок в тектоническом плане соответствует северо-восточной оконечности Краснокамско-Полазненского вала. В пределах его территории располагаются также и структуры более низкого порядка (Шеметевская, Шумовская), которые по сути и являются ядрами активизации карста. Здесь, на участках с максимальным приближением гипсово-ангидритовых пачек иренского горизонта к дневной поверхности, отмечается наибольшая плотность карстовых форм. Участок по степени закарстованности хорошо делится на три части. Северная - наименее пораженная часть участка. Воронки и просадки здесь редки. Средняя плотность составляет менее 1 шт./км<sup>2</sup>. Центральную, напротив, отличают максимальные значения плотности воронок - до 40-50 шт./км<sup>2</sup>. К таким аномальным по активности развития процесса территориям следует отнести верховья рек Гайвы и В.Туя. На прилегающих водоразделах широко распространены провальные крутосклонные, достаточно крупные воронки. Средний размер их около 20 м в поперечнике, хотя встречаются и с диаметром до 30-35 м. Юго-восточный сектор участка включает в себя трехкилометровую зону, расположенную вдоль берега водохранилища с окрестностями с.Хохловки, деревень Гари и Христофоровки. Плотность воронок здесь составляет от 1-5 до 15-20 шт./км<sup>2</sup>. На небольших по площади участках (0.2-0.5 км<sup>2</sup>) она иногда увеличивается до 150 шт./км<sup>2</sup>. Наиболее характерные размеры воронок в поперечнике 8-15 м. Глубина у большинства форм не превышает 5-7 м. Юго-западный сектор участка по своей площади намного превосходит соседний. Отдельные воронки встречаются на склонах долины р.Гайвы и ее левых притоков. Размеры карстовых форм, как правило, невелики - от 2-3 до 10-15 м в поперечнике. В отличие от

других секторов участка, где преобладают воронки провального типа, здесь обычны карстово-суффозионные (воронки просасывания).

Если характеризовать интенсивность закарстованности района в целом, то она значительна - участки с сильной и очень сильной степенью поражения поверхности карстовыми формами (более 10 шт./км<sup>2</sup>) составляют более 40 % его площади.

Курашимо - Чернушенский район (3) в плане соответствует Мавунинскому и Чернушенскому валам. При протяженности с севера на юг более чем 200 км он имеет ширину от 2 до 35 км, что почти точно совпадает с площадью выходов соликамских отложений верхней перми. Карстованию здесь подвержена в основном сульфатно-карбонатная толща, расположенная в нижней части горизонта. В глубоко врезаемых днищах речных долин (левые притоки рек Ирени и Сыды), где под действием эрозии произошло вскрытие верхних пачек иренского горизонта, процесс развивается и в сульфатных отложениях Кунгура.

Увеличение общей расчлененности рельефа в пределах района, по сравнению с территорией, расположенной к востоку от нее (западная часть Уфимского плато), объясняется, по-видимому, образованием здесь специфических гидрогеологических и геоморфологических условий (как показывает морфометрический анализ прикарстовых территорий, возникновение таких аномалий рельефа вообще бывает характерно для участков земной поверхности, на которых происходит погружение хорошо растворимых пород под нерастворимые или слабо растворимые толщи). На многих участках Курашимо-Чернушенского района сформировался особый, не характерный для ландшафтов данного региона, грядово-останцовый карстовый рельеф. Например, на участке, расположенном южнее д. Новожила, в карстовой депрессии с площадью более 1 км<sup>2</sup> имеются хорошо выраженные положительные микроформы своей морфологией напоминающие останцы. Высота последних, как правило, не превышает 8-10 м. Значительно чаще данный тип рельефа представляет собой сильно пересеченную поверхность, каждый отдельный элемент которой, в свою очередь, осложнен еще более мелкими положительными и отрицательными формами. Типичные карстовые формы - воронки распространены неравномерно. Наиболее часто они встречаются поодиночке, хотя на отдельных участках наблюдаются в виде цепочек и полей. Более 60 % территории не имеют внешних проявлений процесса. Самыми крайними западными пунктами карстопоявления (воронки, просадки) являются истоки р. Сы-

ры, окрестности сел Кукуштана, Мазунино, Уинского, Ср.Атняшки. Размеры воронок в основном не превышают 8-10 м в поперечнике и лишь как исключение составляют иногда 20-25 м.

Н и ж н е с л в и н с к и й р а й о н (4) включает в себя северную и среднюю часть выделенного ранее К.А.Горбуновой (1958) Сылвинско-Сергинского района. В связи с переносом по нашей схеме южной границы района на несколько километров к северу, произошло уменьшение его площади. Изменение первоначальных границ прежде всего связано с выявлением здесь природных рубежей, прямо или косвенно характеризующих качественную смену геолого-геоморфологических и физико-географических условий (состава горных пород, морфометрических характеристик рельефа, ландшафтов). Кроме того, по этой линии в северном направлении фиксируется резкий скачок значений показателя плотности карстовых воронок - с 50-100 до 10-50 шт./км<sup>2</sup>.

Границы района соответствуют наиболее погруженной северной части Уфимского вала. Здесь на поверхность выходят отложения иренской и соликамской свит. Первые, представленные гипсами и ангидритами, и приурочены в основном к долинам рек. Вторые, напротив, слагают главным образом водоразделы и состоят из песчаников, мергелей, известняков. В направлении с юга на север происходит постепенное уменьшение площадей выходов кунгурских отложений, которые за пределами северной границы района практически уже не встречаются.

Из карстовых форм широко представлены воронки, как молодые, так и древние. Их плотность в пределах территории исключительно неоднородна. Особенно отличается в этом отношении северная часть района. Здесь участки интенсивного развития карста (выходы иренских гипсов) с плотностью более 100 шт./км<sup>2</sup> соседствуют со слабозакрстованными (1-5 редко до 15 шт./км<sup>2</sup>) или вообще не подверженными процессу территориями. В южном направлении с уменьшением мощности верхнепермских отложений значения плотности воронок на водоразделах местами возрастают до 50-60 шт./км<sup>2</sup> (междуречье рек Кутамыша и Юрмана). По мнению К.А.Горбуновой (1958), карст района имеет много общего с карстом Полазнинско-Шалашинского района.

К у н г у р о - И р е н с к и й р а й о н (5) находится в пределах западного крыла северной оконечности Уфимского вала. Как уже отмечалось выше, на нашей схеме районирования он включает в себя и Сергинский участок, ранее входивший в состав смежного района. Интенсивная закрстованность наблюдается в гипсово-ангидритовых

пачках иренского горизонта. Менее интенсивно подвержены процессу известняково-доломитовые отложения, встречающиеся в разрезах этого же горизонта. Мощность известняковых пачек здесь может достигать 15 м, а гипсово-ангидритовых - до 70 м.

Горные породы на территории района имеют очень пологое залегание, измеряемое первыми минутами падения на запад. В соответствии с этой особенностью на поверхности наблюдаются полосы выходов пород различного литологического состава, также вытянутые в направлении с юга на север. В восточной части района гипсово-ангидритовые пачки ирени почти полностью выщелочены и на филипповских доломитах лежит карстовая брекчия. Западнее протягивается полоса отложений, сложенных гипсами и ангидритами, местами перекрытых кристаллическими известняками и плитчатыми доломитами. Здесь встречаются глубокие (до 25-30 м) конусовидные воронки, в поперечнике достигающие 30-60 м. Еще западнее известняки и доломиты перекрываются следующей выше-расположенной гипсово-ангидритовой пачкой. Появляются большие поля сравнительно мелких коррозионных воронок, которые по мере погружения известняков становятся глубже. Вблизи западной границы района, где сульфатные породы "ныряют" под соликамские плитняки, развиты глубокие провальные воронки.

Для Кунгуро-Иренского района, пожалуй, как ни для какого другого карстового района Пермского Предуралья и Урала, характерно большое разнообразие и обилие форм карстопроявления. На крутых обнаженных гипсовых склонах рек Ирени, Судинки и некоторых других встречаются карры - неглубокие (0.5-1.0 см) резко очерченные бороздки шириной до 1.0-1.5 см. Поноры широко распространены в днищах воронок, логов и изредка на совершенно ровных элементах земной поверхности. Слепые лого имеют обычно небольшую длину и сложную форму в плане. Заканчиваются лого, как правило, карстовой воронкой. Л.А.Шимановский (1963) приводит описание подобного образования в окрестностях с. Верх.Кунгура. Интересно, что этот лог, имеющий длину около 400 м, расположен перпендикулярно к долине р.Кунгура, но сток в нем происходит не в сторону долины, а в обратном направлении - к воронке. Наиболее концентрированно слепые лого распространены вблизи сед Орды и Красного Ясыла. Карстовые рвы в районе отличаются внушительными размерами. Например, западнее с.Богородска данное образование представляет собой крутосклонное понижение с неровными бортами и глубиной 6-8 м. Ширина данной

формы достигает 100-150 м. Длина - более 3 км. Еще более грандиозное образование обнаружено нами вблизи сел Орды и Верх.Кунгура. S-образный ров, лишь в нескольких местах прерывающийся цепочкой воронок, имеет общую длину около 8.5 км, при ширине 80-100 м. Карстовые котловины в районе достигают площади в несколько квадратных километров. Котловина у с.Медянки, например, имеет ширину около 1 км и длину 6 км. Дно котловины очень неровное и состоит из небольших холмов (различной морфологии) и западин. Встречаются воронки. Аналогичные формы, отличающиеся лишь своими размерами, распространяются также в окрестностях сел Суда, Шляпники и некоторых других.

Самой широко распространенной формой карстопроявления в районе являются карстовые воронки. Морфологически они составляют три основных группы - конусообразные, колодецеобразные и блюдцеобразные, причем наиболее распространены первые две. По типам развития здесь можно выделить коррозионные, провальные, коррозионно-провальные и коррозионно-эрозионные воронки. Коррозионные формы образуются при условии, когда процесс развития в гипсовой толще небольшой мощности, подстигаемой известняками. Характерным примером образования таких воронок являются склоны р. Ясыл в окрестностях д.Красный Ясыл. Плотность воронок здесь достигает 4 тыс. шт./км<sup>2</sup>. Размеры в основном незначительны - 2-4 в поперечнике при глубине 1.5-3.0 м. На местности это выглядит как чередование гребней и углублений. Подобные "оспы" - участки, на которых пораженность земной поверхности измеряется сотнями и тысячами штук на квадратный километр, закартированы также вблизи таких населенных пунктов, как Суда, Яковлевка, Опачика и некоторых других. Воронки провального типа, как правило, отличаются значительными размерами. Их диаметр достигает 100-150 м, а глубина 20-25 м. Очень крупные формы встречаются в окрестностях сел Орды, Верх.Кунгура, Медянки и др. Плотность провальных воронок в некоторых случаях составляет 150-200 шт./км<sup>2</sup>. По мнению В.С.Лукина и Ю.Л.Ежова (1975), изучавших карст в районе г.Кунгура, образование воронок данного типа не только связано с наличием слаборастворимых трещиноватых карбонатных пачек в кровле гипсово-ангидритовых отложений, но и стимулируется ими. Переходные типы воронок - коррозионно-провальные, коррозионно-эрозионные встречаются значительно реже и обычно приурочены к периферии ареалов распространения воронок какого-либо типа.

Важную роль в развитии поверхностных карстовых форм в районе играют гидрогеологические условия. Глубокое залегание зоны горизонтальной циркуляции резко снижает активность процесса карстообразования. Поверхностные воды, проникающие сверху в гипсовый массив, наибольшую часть разрушительной работы производят в зоне вертикальной циркуляции. Почти предельное насыщение сульфатных вод (до 1.5-2.0 г/л), поступающих сверху, обуславливает слабое развитие каналов и полостей в зоне горизонтальной циркуляции. Одним из множества примеров такого развития процесса может служить высокая платообразная поверхность междуречья Сылвы, Мачки и Шаквы. Здесь в районе деревень Родионово и Выполково плотность воронок в отложениях иренского горизонта - менее 1 шт./км<sup>2</sup>.

Совершенно другие гидрогеологические условия наблюдаются в придолинных участках района. Здесь горизонтальные полости в массивах развиваются в результате периодических вторжений речных вод в системы береговых трещин в период весеннего половодий. Формирование сложной системы карстовых полостей нередко приводит к отседанию отдельных частей склонов и, как крайнее проявление процесса, к уничтожению разделяющих их целиков, что вызывает прогибание или обрушение вышележащих пластов. Экзогенные дислокации, сопровождающиеся усилением трещиноватости и уменьшением мощности покровных образований, в свою очередь, сами способствуют инфильтрации поверхностных вод и стимулируют активность карстового процесса. В результате сложное и разнонаправленное воздействие речных и атмосферных вод приводит к образованию совершенно специфических форм карстопоявления, характерных только для Кунгуро-Иренского района. Морфологически они напоминают многоступенчатые оползни, отдельные ступени (субгоризонтальные генерации) которых осложнены многочисленными отрицательными и положительными микроформами (каррами, воронками, останцами).

Быстрое и глубокое проникновение паводковых вод в берега благодаря поддолинным и бортовым потокам приводит к образованию на границах и в тыловых швах аккумулятивных и цокольных террас цепочек карстовых впадин. Сливаясь, они образуют вытянутые депрессии - карстовые рвы. Размеры их могут быть самыми различными - длиной от нескольких десятков метров до километра и более. Ширина подобных образований может достигать 50-70 м.

Из других форм карстового морфогенеза, в образовании которых заметную роль играют и эрозионные процессы, следует отметить сухо-

доли, лога, овраги в коренных породах. В ряде мест встречаются долины рек, отдельные отрезки которых большую часть года имеют лишь сухое русло.

Характерной особенностью района является широкое распространение здесь карстовых пещер.

Щучьеозерско-Аскинский район (6) расположен на самом юге Пермского региона, в верховьях рек Ирени и Алтера, берущих свое начало с одного из основных региональных водоразделов Предуралья. Здесь, недалеко от границы с Кунгуро-Иренским районом, проходит линия, разделяющая бассейны рек Сылвы и Уфы.

Карст района в основном сульфатный, хотя местами встречаются и проявления соляного карста - соляные источники.

Изменения геолого-геоморфологических условий (дренированности территории, глубины зоны вертикальной циркуляции, мощности четвертичных отложений и др.) в Щучьеозерско-Аскинском районе, по сравнению с соседним Кунгуро-Иренским, сказались и на ландшафте. Лесостепь в южном направлении постепенно опять замещается южной тайгой, черноземы - дерновыми разностями почв, увеличивается мощность материнских пород и т.д.

Смена природных условий сказалась как на морфологии карстовых форм, так и на интенсивности карстопроявления. Значительно чаще здесь начинают встречаться блюдцеобразные воронки. Диаметр последних редко достигает 15-20 м (обычно 5-8 м). Чаще встречаются воронки заполненные водой. В окрестностях населенных пунктов Щучье Озеро, Алмаз, Тураевка и некоторых других в большом количестве встречаются карстовые озера, в поперечнике достигающие 30-40 м. Плотность воронок по району в среднем - около 5-10 шт./км<sup>2</sup>.

Район Уфимского плато (7) располагается в северной части одноименной возвышенности. В морфоструктурном плане район находится в пределах Красноуфимского поднятия и Суксунского выступа, являющихся прямым отражением пологой антиклинальной складки платформенного типа - Уфимского вала.

Рельеф района представляет собой практически ровную поверхность с небольшим наклоном на запад. Если граница района Уфимского плато с Кунгуро-Иренским районом определяется в основном литологией пород, то его восточная граница, кроме литологических различий, хорошо выражена и в рельефе. В морфологическом плане она представляет собой крутой уступ (Суксунский сброс), достигающий местами вы-

соты 80 м и более.

На поверхности плато обнажаются породы ядра складки, которые представлены саргинскими органогенными и рифовыми известняками, а также доломитами филипповской свиты. Значительную площадь занимают выходы ольховской карстовой брекчии (кора выветривания иренского горизонта). Распространена брекчия в основном к западу от участков выхода филипповских отложений. Мощность ее местами достигает 100 м.

Особенности циркуляции карстовых вод кунгуро-артинского водоносного комплекса (большая глубина залегания, наличие подвешенных водотоков и т.д.) (Шимановский, 1963) определили характер закарстованности сводовой части Уфимского вала. Подвешенные, часто временные карстовые воды, расширяя трещины напластования, привели к формированию немногочисленных пещер или карстовых горизонтальных каналов и щелей. Расширения вертикальных трещин и трещинных зон повлекло развитие отдельных цепей воронок и исчезновение рек.

Карстовые воронки в районе, как правило, имеют конусообразную форму и относятся к коррозивно-просадочным образованиям. Размеры их редко достигают 15-20 м в поперечнике и в среднем составляют 5-8 м. Глубина большинства воронок не превышает 3-4 м. Плотность форм в целом для района - менее 1 шт./км<sup>2</sup>, хотя на отдельных небольших участках (площадью до 0.25 км<sup>2</sup>) повышенной трещиноватости пород достигает 220 шт./км<sup>2</sup>. Как уже отмечалось, здесь широко распространено явление - исчезающие реки. В трещинах и карстовых воронках происходит поглощение таких рек, как Шуртан, Кишертка, Суксунчик, М.Телес, Медянка и др.

Чердынско - Соликамский округ (В) охватывает пределы Соликамской впадины и северный борт Колвинской седловины. Здесь в провинции Предуральяского прогиба развит сульфатный и соляной карст. По условиям и особенностям протекания процесса выделено 2 района.

Колво - Вишерский район (8) в морфоструктурном плане соответствует положению южной оконечности Ксенофоновского вала и Колвинскому поднятию. В тектоническом же отношении он своими контурами проектируется на Колвинскую седловину.

Карст на территории Колво-Вишерского района развивается в гипсах и ангидритах лекской и кошелевской свит кунгурского яруса, а также урминской свиты артинского.

Плотность воронок местами значительна и достигает 100-150



шт./км<sup>2</sup>. К таким территориям относится участок в долине р.Колвы, расположенный ниже устья р.Береазовой. Карстовые формы встречаются как в днище долины, так и на ее склонах. Значительной закарстованностью отличается междуречье Колвы и Бубыда, а также примыкающие к ним склоны долины. В долинах карстовые образования выглядят как блюдцеобразные понижения, часто заполненные водой. Плотность их, в общем, невелика - 1-10 шт./км<sup>2</sup> и лишь изредка - до 50 шт./км<sup>2</sup> (окрестности д.Сельково, п.Колва). Средние размеры воронок составляют 5-10 м в поперечнике. Отдельные же образования достигают гораздо больших величин и превышают в диаметре 40-50 м. На правом берегу р.Колвы между устьями рек Сепии и Вижайки находится Дивья пещера, длина которой превышает 9700 м. Наряду с гипсами и ангидритами в районе встречаются и соленосные породы. Отдельные источники выносят в растворе ежедневно до 9 т каменной соли (Орлянкин, 1941).

С о л и к а м с к и й р а й о н (9) занимает центральную, наиболее погруженную, часть Соликамской впадины.

Карстовые явления в районе развиваются в каменной соли березниковской свиты иренского горизонта, а также в расположенной несколько выше по разрезу глинисто-мергелистой толще нижнесоликамского подгоризонта, имеющей в своем составе слои соли мощностью до 25 м и гипса - до 5 м (Денисов и др., 1980).

Мощность каменной соли в иренских отложениях колеблется от 1 до 70 м. Это явление многие исследователи объясняют отчасти протеканием первичных процессов формирования залежи и, в большей степени, растворением и выщелачиванием соли подземными водами. Контур соляной залежи прослеживается от г.Чердыни на севере до р.Челвы (приток р.Косьвы) на юге. На севере района кровля соленосной толщи отмечается на абсолютных отметках +29 м, у г.Березников - -560 м. Надсолевые воды в силу общего наклона залежи на запад движутся с востока к долине р.Камы. Наиболее интенсивное выщелачивание каменной соли происходит в восточной части месторождения и на небольших поднятиях. К западной окраине района притекают уже насыщенные рассолы, которые разгружаются в камской долине в виде источников.

Энергичное выщелачивание гипсов, ангидритов и каменной соли происходит и в долинах крупных рек, где они залегают ближе к поверхности. Медленные проседания земной поверхности наблюдаются в долинах рек Камы и Вишеры. В результате этих процессов возникают деформации коренных склонов, приводящие к образованию оползней. По-

добные явления, только в меньших масштабах, наблюдаются также в долинах рек Глухой Вильвы, Колывы, левых притоков р. Язвы и в районе оз. Нюхти (Максимович, Горбунова, 1958).

К типичным карстовым образованиям, которые встречаются в районе, следует отнести карстовые депрессии. Располагаются они, как правило, в сводовых частях сравнительно небольших структур (валов, брахдантиклиналей, локальных поднятий). Образование мульд проседания связано с интенсивным выщелачиванием антиклинальных складок и их "срезанию". По данным Е.П. Дорощеева и В.С. Лукина (1969), в северной части Соликамской впадины у поселков Куанецово, Губдор, Немзя расположены понижения с поперечником до 15 км, имеющие плоские заболоченные днища. По ним проложили свои русла реки Вишера, Колыва, Глухая Вильва. Мощность песчано-гравийных и галечниковых отложений в мульдах достигает 60 м, а на возвышенностях - редко превышает 4 м. Возвышенности, разделяющие эти понижения, поднимаются над их днищами на 50-70 м.

Карстовые воронки в районе встречаются редко и приурочены лишь к ограниченному по площади выходам сульфатных пород. Отдельные формы зафиксированы в долине р. Вишеры (5 км выше устья р. Колвы), в правобережной части бассейна Глухой Вильвы и на склонах р. Боровой. Размер воронок в поперечнике составляет в среднем 3-8 м.

Сылвинско-Чусовской округ (г) включает в себя Сылвинскую впадину и западную часть Косьвинско-Чусовской седловины. Здесь, в отличие от Чердынско-Соликамского округа, наиболее распространен сульфатный карст, а процессы выщелачивания каменной соли имеют подчиненное значение.

Косьвинско-Чусовской район (10) расположен вдоль западной окраины одноименной седловины Предуральского прогиба. Контуры границ района на схеме районирования включают в себя большую часть Сергинцовско-Долгушинского района, выделенного ранее К.А. Горбуновой.

Карст района преимущественно сульфатный и соляно-сульфатный, протекающий под покровом терригенных отложений. Характерной особенностью района является островное распространение карстовых форм, что обусловлено локализацией процесса над мелкими структурами в артинских и кунгурских отложениях.

В северной части района К.Г. Бутыриной выделяется 4 карстовых участка. Нижнекосьвинский, Таборский, Голубятский и Усольский.

Нижнекосьвинский участок занимает часть бассейна нижнего течения р. Косьвы и в плане соответствует южному борту Соликамской депрессии. Здесь, в преимущественно карбонатных отложениях соликамского горизонта, нередко встречаются гипсовые прослойки мощностью 2-6 м. В местах их выщелачивания на поверхности образуются гнезда воронок с плотностью до 10-15 шт./км<sup>2</sup>. Средняя по участку пораженность карстом невелика - около 1 шт./км<sup>2</sup>. Размеры воронок различны и достигают 75 м в поперечнике и глубины 15-20 м. Из других форм карстопоявления внимание заслуживает Дурнятская депрессия, имеющая площадь около 2 км<sup>2</sup>. В ней кроме того располагается 11 озер, несколько воронок и сухое русло ручья Мельничного. Минерализация воды в некоторых озерах достигает 24.5 г/л.

Таборский участок располагается в бассейне р. Вильвы и в плане соответствует северной части Косьвинско-Чусовой седловины. По данным бурения, здесь, среди песчаниково-аргиллитово-алевролитовых отложений верхнего кунгура, имеются сульфатные слои мощностью до 20 м и линзы каменной соли - до 40-50 м. Плотность карстовых воронок на участке достигает 40 шт./км<sup>2</sup>.

Голубятский участок занимает среднюю часть бассейна р. Вильвы. Косьвинско-Чусовская седловина в этом месте осложнена несколькими структурами третьего порядка, в пределах которых на поверхность выводятся карстующиеся толщи. Такие площади встречаются в окрестностях деревень Калово, Селькова, Голубята. Плотность воронок здесь достигает 50 шт./км<sup>2</sup>. Карстовые формы группками или поодиночке располагаются в 3-4 километровой полосе к востоку от р. Вильвы. Инередка воронки встречаются и на левом склоне речной долины. Размеры их средние - 10-25 м в поперечнике, хотя иногда встречаются образования, достигающие в диаметре 80 м. Характерной чертой участка является обилие карстовых озер. Размеры их колеблются от 40-50 до 200-250 м. Минерализация сульфатных вод в озерах составляет 2.2-3.0 г/л (Бутырина, 1973).

Усолкинский участок расположен в бассейне р. Усолки и занимает часть смежных с ним междуречных пространств. От других участков его отличает повышенная мощность соликамской карбонатно-терригенной толщи в кровле сульфатных пород. Карстовые формы (преимущественно воронки) распространены фрагментарно, в виде локальных гнезд или небольших полей. Отсутствуют карстовые образования в долинах рек Усолки и Велижны. Максимальная плотность воронок в местах их скоп-

лений достигает 10-12 шт./км<sup>2</sup>. В целом же по участку этот показатель составляет менее 1 шт./км<sup>2</sup>. Размеры воронок - 3-12 м в диаметре (редко до 70 м).

К югу от р.Чусовой характер карста в районе практически не меняется. Карстовые воронки встречаются или поодиночке, или небольшими полями. Места таких скоплений зафиксированы к северу от п.Комариха, в долинах рек Кутамыша и Юмана и некоторых других. Средние размеры воронок составляют 5-15 м в поперечнике. Очень редко - 50 м. Плотность карстовых форм - до 15 шт./км<sup>2</sup>.

Бардымский район (11) охватывает большую часть бассейна р.Барды и левобережную часть бассейна р.Шаквы. Он включает в себя территории, которые по схеме районирования К.А.Горбуновой ранее относились к Тулумбасовско-Тисовскому и Кардонскому карстовым районам. Карстологические съемки, проведенные нами в восьмидесятых годах, однако, показали, что данные участки являются лишь частями достаточно однородной по характеру карстопроявления территории. В геологическом отношении район на большей ее части представлен кошелевской свитой иренского горизонта. На юго-востоке к поверхности постепенно выходит лекская звита филипповского горизонта.

Тулумбасовско-Тисовский карстовый участок приурочен к Тулумбасовскому валу. Здесь близко к поверхности выходят средняя карбонатная и нижняя сульфатная пачки кошелевской свиты. Иногда в разрезе встречается каменная соль. В районе станции Тулумбасы ее мощность достигает 120 м.

Степень закарстованности территории контролируется мощностью верхней терригенной пачки. Ее уменьшение в осевых частях структур привело к активизации процесса именно в этих зонах. Грандиозные карстовые образования - депрессии, проектирующиеся на такие участки, имеют в некоторых случаях размеры до 5-7 км в поперечнике (Плотниковско-Сосновская, Бурминская, Юрканская, Осинцовская).

Обычны для этого участка и карстовые воронки. Располагаются они цепочками, полями и часто бывают приурочены к тальвегам суходов. Размеры воронок различны: от 3-4 до 60-70 м в поперечнике. Большая часть таких образований представлена блюдцевидными формами просадками.

Средняя плотность воронок на Тулумбасовско-Тисовском участке 1-3 шт./км<sup>2</sup>. На севере - в окрестностях с.Сай - плотность форм складывается в пределах 5-10 шт./км<sup>2</sup>, у д.Печатки - до 30 шт./км<sup>2</sup>.

В центральной части участка чаще всего встречаются одиночные воронки и редко гнезда по 5-10 шт., хотя, например, юго-восточнее д.Гари их плотность на площадке в четверть квадратного километра достигает 150 шт./км<sup>2</sup>. В южной же части участка воронки (в основном мелкие) часто осложняют депрессии и крупные просадки, имеющие размеры по 150-200 м в поперечнике. Плотность воронок здесь часто достигает 50-70 шт./км<sup>2</sup> (в окрестности населенных пунктов Осинцево, Бырма, Юркан, Васькино, Тебеняково и др.) В этой же части района особенно наглядно прослеживается связь процесса карстообразования с тектонической трещиноватостью. Так, на аэрофотоснимках хорошо видно, что карстовые формы тяготеют к зонам таких нарушений, которые здесь фиксируются благодаря темному фону грунта пашни в местах выхода подземных вод. В ряде случаев протяженность цепочек воронок и небольших озер составляет сотни и тысячи метров. Одно из таких образований, общей длиной 7 км, обнаружено к югу от д.Бачуры.

Кордонский участок располагается в окрестностях п.Кордон на правом склоне р.Молебки и прилегающей к нему части междуречья. Здесь, в пределах небольшой структуры, близко к поверхности оказались выведенными сульфатные породы низов лекской свиты. Сверху последние перекрыты терригенными отложениями.

Карстовые воронки образуют сплошную полосу провалов, протягивающуюся от п.Кордон в южном направлении на 12 км. Ширина полосы активного карстообразования изменяется от 200 до 1000 м. Воронки преимущественно конусообразной формы с поперечником в 40-70 м и глубиной 10-15 м. На всем протяжении проявлений процесса цепь воронок неоднократно трансформируется в карстовый ров. Средняя плотность воронок - 60 шт./км<sup>2</sup>.

Для остальной части района, так же, как для Тулумбасовско-Тисовского участка, характерна значительная дифференциация интенсивности процесса в пространстве. Карст резко локализован - поля интенсивного карстопроявления чередуются с участками его полного отсутствия. Сильная закарстованность отмечается на склонах долины р.Таз и прилегающих водоразделах (окрестности деревень Таз и Осинково), в верхнем течении р.Барды (с.Матвеево, с.Ломовка), на водоразделе рек Лямпы и Лысьвы.

Для плоских водоразделов Шаквы, Барды и частично Сылвы, обычен западинный рельеф, образование которого обусловлено неравномерным выщелачиванием кровли сульфатных пород, залегающих здесь близко

к поверхности. Широко распространены в районе и карстовые депрессии.

Кишертско-Суксунский район (12) расположен вдоль восточной окраины Уфимского плато. В узкой полосе прогиба, непосредственно контактирующей с Суксунским сбросом, на поверхность выходят сульфатные отложения иренской свиты, которые в восточном направлении постепенно замещаются доломитами и мергелями поповской свиты. Интенсивное развитие карста в районе определяется наличием мощной зоны продольной (вдоль сброса) циркуляции карстовых вод, являющаяся базисом для поперечного стока с Уфимского плато (Шимановский, 1963). Посредством этого потока происходит разгрузка карстовых вод в долину р. Сылвы.

Карст района развивается преимущественно в гипсах и ангидридах и на поверхности представлен чрезвычайно разнообразно. Повсеместно встречаются карстовые воронки, котловины, исчезающие речки, лога, саера. Карстовые формы располагаются узкой, практически непрерывной полосой. Плотность воронок в среднем составляет 10-30 шт./км<sup>2</sup> и имеет тенденцию к ее увеличению в южном направлении. В окрестностях с. Бреково и д. Балашова данный показатель колеблется уже в пределах 50-75 шт./км<sup>2</sup>. Наибольшая глубина карстопроявления (карстовые полости) наблюдается в полосе развития сульфатно-карбонатных пород поповской свиты на отметках в 200 м. Выщелачивание карстующихся пород в Кишертско-Суксунском районе идет не только за счет действия поверхностных вод, проникающих в породы по трещинам, но и под воздействием глубинных восходящих вод. Последние часто проявляются в виде восходящих источников, часть из которых является минеральными. Кроме чисто карстовых образований в районе встречаются и эрозионно-карстовые. К ним в первую очередь следует отнести котловины, которые в отдельных случаях могут достигать 500-700 м в длину, при ширине в первые сотни метров.

### Уральская карстовая страна (II)

Для Уральской карстовой страны характерен преимущественно карбонатный карст. Растворению здесь подвержены сильнодислоцированные, смятые в линейные складки палеозойские и отчасти докембрийские известняки и доломиты. Страна включает в себя Западно-Уральскую и Центрально-Уральскую карстовые провинции, в тектоническом плане со-

ответствующие Западно-Уральской внешней зоне складчатости и Центрально-Уральскому поднятию.

Западно-Уральская провинция (Г) представлена двумя округами - Уньвинско-Вишерским (д) и Язьвинско-Чусовским (е). На территории первого расположено 2 карстовых района.

Средневишерский район (13) включает в себя большую часть бассейна средней Вишеры и верховья рек Колвы и Береговой. Карстованию подвержены линейно вытянутые зоны выходов известняков и доломитов девона, карбона и перми.

В долине р.Няризь и на прилегающих к ней склонах карст проявляется в известняках визейского и турнейского ярусов карбона, а также ассельского и сакмарского ярусов перми. Представлен он воронками, достигающими в поперечнике 50 м, иногда с едой. Чаще же встречаются формы с размерами 8-15 м. Плотность воронок на отдельных участках достигает 50-100 шт./км<sup>2</sup>. Менее закарстованы известняки и доломиты сторожевской свиты фаменского яруса. Очень часто воронки располагаются цепочками, что указывает на наличие здесь контактов литологических разностей.

На западном склоне г.Низьвы, в истоках одноименной реки и р.Ухтыма (западная часть района), карстуются рифейские известняки и доломиты низьвенской и деминской свит. Плотность воронок в этих отложениях может доходить до 50-100 шт./км<sup>2</sup>. К востоку от г.Низьвы и г.Каркасная карст наблюдается в узких линейно вытянутых зонах выходов известняков девона, карбона и перми. Плотность воронок колеблется от 20 до 100 шт./км<sup>2</sup>. К данному участку относится и сухое русло реки с "карстовым" названием - Сухая Дыроватика.

Восточнее р.Малый Валай карст проявляется менее интенсивно и в значительной степени локализован. Плотность воронок в артинских известняках (урминская свита) не превышает 5-10 шт./км<sup>2</sup>.

Довольно интенсивная форма карстопроявления была встречена на западном склоне хребта Береговский Камень. Здесь по контакту живецких известняков с кварцевыми песчаниками такатинской свиты образовался вертикальный уступ, который на некотором протяжении трансформировался в трещину, расширяющуюся местами до 10 м и более. На дне этой расщелины располагается несколько воронок. Выше, на плоской седловине (вблизи верхового болотца), также зафиксированы коррозионные воронки, достигающие 8-15 м в поперечнике.

Большие по площади участки закарстованной поверхности, измеряемые десятками квадратных километров, расположены в бассейнах рек Полуденная Рассоха, Восточная Рассоха и Северная Рассоха. Плотность воронок в визейских известняках почти повсеместно составляет 50-100 шт./км<sup>2</sup>. Диаметр некоторых форм приближается к 70 м, хотя в основном не превышает 15-20 м.

Примером широкомасштабного развития карста по контактам литологических разностей является междуречное пространство р.Березовой и ее левого притока р.Паж. Здесь, в осевой части антиклинория, происходит частое чередование зон выходов эйфельских и турнейских известняков с песчаниками такатинской свиты. Плотность воронок, часто расположенных цепочками или полосами по направлению структуры, достигает 100-150 шт./км<sup>2</sup>.

Аналогичная рассмотренной выше природа карстопроявления отмечается в бассейнах рек Большой Колчим и Большой Шугор. Здесь также места наибольшей частоты встречаемости карстовых форм приурочены к зонам контактов растворимых и нерастворимых (хорошо растворимых и слабо растворимых) пород. На аэрофотоснимках фиксируются отдельные цепи воронок, имеющих длину 1.0-1.5 км. Наряду с отложениями девона, карбона и перми карстованию в этой части района подвержены известняки силура и верхнего протерозоя. Плотность форм колеблется от 15-30 до 50-100 шт./км<sup>2</sup>. Размеры воронок от 2-3 до 25-40 м в поперечнике. В основном же преобладают формы с диаметром 5-8 м.

Западнее и севернее от хребта Золотой Камень происходит интенсивное карстование известняков (частью доломитизированных) эйфельского и живетского ярусов. Встречаемость воронок достигает местами высоких значений - 120 шт./км<sup>2</sup>, а их размеры, например, в истоке р.Средней Золотики, превышают 25-30 м в поперечнике.

По берегам р.Вишеры встречаются карстовые пещеры. Несколько таких образований находится в окрестностях п.Акчима. На левом берегу в Дыроватом Камне, против деревни Бушмены имеется много полостей и небольших пещер.

Возраст большинства карстовых форм плиоцен-четвертичный. Однако, по результатам спорово-пыльцевых анализов, проводимых в процессе геолого-съемочных работ в 60-70-е гг., было установлено, что заполненные к настоящему времени рыхлым материалом воронки, депрессии и другие карстовые формы имеют поаднемиозойский, олигоценовый и миоценовый возраст.



Верхневисерский район (14) располагается в виде узкой полосы в верхнем субмеридиональном отрезке р.Вишеры, захватывая также склоны и долину р.Улса. Карст развивается в основном в карбонатных толщах шугорской свиты среднего ордовика, лудловского и ландоверийского ярусов силура.

На поверхности процесс проявляется в виде коррозионных воронок, располагающихся как поодиночке, так и цепочками на склонах долины. Часто на 1 надпойменной террасе р.Вишеры встречаются воронки блюдцеобразной формы и небольшие озера. Размеры воронок чаще всего находятся в пределах 3-10 м в диаметре, при глубине 1-5 м. В ряде случаев наблюдается образование воронок прямо в руслах рек (реки Присковая, В.Паника, Ниж. и Верх.Юбрьшка). В этом случае происходит частичный или полный перехват стока, который обычно через 0.2-1.5 км из подземного вновь переходит в поверхностный. Плотность карстовых воронок в районе колеблется от 0 до 200 шт./км<sup>2</sup>. Максимальные значения показателя зафиксированы в долине р.Вишеры западнее Чувальского Камня. Скопление карстовых форм, имеющих в поперечнике 5-7 м, находятся в районе д.Присковой за пределами долины. Плотность воронок в ландоверийских доломитах составляет 20-30 шт./км<sup>2</sup>.

В меньшей степени закарстована долина р.Улса. Иредка в ее днище и на склонах встречаются небольшие воронки и поля. Различия в интенсивности карстопроявления этих участков, по-видимому, объясняются степенью растворимости представленных здесь карбонатных пород. Для долины р.Улса вялое протекание процесса связано с сильной битуминозностью доломитов и доломитизированных известняков ордовика. В целом же по району средняя плотность карстовых воронок - менее 10 шт./км<sup>2</sup>.

Яйвинско-Киэловский район (15) протягивается по западной окраине горной страны - от р.Яэвы на севере до р.Чусовой - на юге. Карст приурочен к известнякам карбона и в меньшей степени девона. В зависимости от чистоты известняков, выходящих на поверхность, распределяется и показатель пораженности территории процессом. Наиболее закарстованными являются самые чистые визейские известняки. В местах их выходов плотность воронок может достигать 259 шт./км<sup>2</sup> (Бунина-Кулинч, 1937), а в среднем она составляет 50-60 шт./км<sup>2</sup>. Воронки обычно располагаются или в виде вытянутых узких полей (по простираанию пород), или цепочками. Такие участки характерны для центральной и южной частей района (в преде-

дах Кизеловского угольного бассейна). Менее интенсивно карст протекает в известняках и доломитах среднего и верхнего карбона. Закарстованность территории колеблется в пределах 5-20 шт./км<sup>2</sup> и менее.

Для многих, даже достаточно крупных рек района (Молмыс, Чикман, Ульвич и др.), характерно наличие участков с сухим руслом. Как правило, вблизи мест исчезновения и появления потока наблюдается концентрация поверхностных карстовых форм. Так, редкие воронки коррозийного типа встречаются на склонах и в днище долины практически вдоль всего безводного участка русла р.Ульвич, а в 1.5 км от места возобновления поверхностного стока (за пределами долины) находится целое поле карстовых воронок с плотностью 20-30 шт./км<sup>2</sup>. Размеры форм различны - от 5 до 40 м в поперечнике. Глубины их от 2 до 10 м.

Из других мест северной части района, где также наблюдается "оживление" карста, следует отметить среднее течение р.Голубок (приток Ульвича) и низовья р.Кади (приток р.Яйвы).

В районе встречаются и довольно крупные, до 4-5 км в длину, эрозионно-карстовые образования - карстовые лога: Ладейный лог, Свиной лог, Сухой лог, Нырок. Особенно много таких форм наблюдается вблизи крупных рек района, являющихся здесь главными базисами эрозии (Косьва, Усьва, Вильва). В днищах и бортах подобных карстовых форм часто встречаются не только крупные воронки, но даже небольшие котловины.

В районе имеется также много пещер карстового происхождения. Приурочены они, в основном, к склонам долин рек Яйва и Чикман. Наибольшей известностью пользуется Кизеловская пещера, общая протяженность которой составляет около 800 м.

П а ш и с к о - Ч у с о в с к о й р а й о н (16) охватывает междуречные пространства и долины рек Вильвы, Койвы, Чусовой в пределах Предуральского прогиба. Карст развивается в карбонатных отложениях карбона, девона и нижней перми.

Самыми распространенными формами карстопроявления являются воронки, плотность которых может достигать 50-70 шт./км<sup>2</sup>. К таковым относятся окрестности п.Кумыш, где в визейских отложениях процесс развивается довольно интенсивно. В устье р.Чиамы в известняках фаменского яруса пораженность карстом составляет 10-20 шт./км<sup>2</sup>. В породах этого же возраста карст развивается и на водоразделе рек Вижая и Вильвы (у п.Пашия), но плотность форм - лишь 8-10 шт./км<sup>2</sup>.

Размеры воронок в основном средние - 7-10 м в поперечнике. Однако в окрестностях п.Кын зафиксированы отдельные формы, имеющие диаметр 70-90 м и глубину 10-15 м.

Для района характерно также такое явление, как исчезающие реки (Большая Глухая, Семеновка, Поньш и др.), суходола. Большое количество небольших водотоков имеют поверхностный сток лишь в верховьях - до первой воронки. Многие из них, исчезая, так больше и не появляются на поверхности.

Центрально - Уральская провинция (Д) включает в себя 2 карстовых района - Язьвинский и Тыпыло-Кыршинский.

Язьвинский район (17) расположен в верховьях р.Язьвы - в долинах и на водоразделе рек Оммас, Цепел, Северная и Полуденная Язьва. Карст развивается большей частью в известняках и доломитах ордовика и силура. Кроме того, по долинам рек процессу подвержены также мраморы и известняки верхневисимской подсыты нерасчлененной толщи верхнего протерозоя и кембрия.

Самой распространенной формой карстопроявления являются коррозийные воронки. Их размеры чаще всего колеблются от 3 до 8 м в диаметре, хотя в отдельных случаях могут достигать 30-40 м. На дне воронок встречаются поноры. В Оммасской депрессии, по данным геологов, проводивших здесь съемочные работы, мощность рыхлых отложений достигает 25 м и здесь довольно обычны блюдцеобразные карстовые формы, заполненные водой.

Максимальная плотность карстовых воронок отмечается на склонах долины р.Цепел (ниже устья Оммаса) - до 100 шт./км<sup>2</sup>. Высокая пораженность характерна также и для склонов долин его притоков - рек Пальничной и Северной Язьвы. Здесь этот показатель колеблется в пределах 50-100 шт./км<sup>2</sup>. На остальной части территории района воронки встречаются практически повсеместно с более-менее высокой плотностью, не опускающейся ниже 5-10 шт./км<sup>2</sup>. Встречаются цепочки воронок протяженностью до 1.5-2.0 км.

Тыпыло - Кыршинский район (18) заходит в пределы Пермского Урала лишь своими краевыми частями - по долине р.Тыпыла и верховьям р.Усьвы. Карстуются здесь карбонатные отложения ордовика. Значительная мощность четвертичных отложений неблагоприятно сказывается на активности процесса. Наиболее сильная пораженность отмечается в центральной части района. Плотность карстовых воронок - 1-10 шт./км<sup>2</sup>. По периферии же, как правило, менее

1 шт./км<sup>2</sup>. Размеры форм достигают 15-20 м в диаметре.

Кроме выделенных нами районов, единичные карстовые образования встречаются и в других местах Центрально-Уральской провинции (склоны Ольховочного, Молебного, Муравьиного Камней, г.Ишерим и др.). Карстуются здесь главным образом пачки мраморов и доломитов нижнеишеримской подсвиты мойвинской свиты среднего рифея. Реже процесс развивается в прослоях слюдистых мраморов и карбонатных сланцев, а также толщах чувальской и тельпосской свит нижнего ордовика. Несмотря на имеющиеся факты карстообразования, выделить здесь какие-то новые территориальные единицы пока не представляется возможным. По мере получения новых данных о развитии процесса эта работа может быть продолжена.

#### ГЛАВА 4. РАЗВИТИЕ КАРСТА В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ. ДИНАМИКА ПРОЦЕССА

Как уже было отмечено выше, одной из наиболее важных особенностей развития карста является изменение активности его протекания во времени. При отсутствии возмущающего антропогенного (техногенного) фактора это проявляется в сезонных, многолетних, вековых и более длительных по времени изменениях активности процесса, которые, накладываясь друг на друга, в значительной степени осложняют как сам ход развития процесса, так и установление причин, обуславливающих изменения скоростей протекания карстового морфогенеза.

Для самых крупных этапов карстообразования (геологические ритмы, 40700-, 1850-летние) такими причинами, по всей видимости, являются изменения тектонической активности (смена эпох горообразования этапами тектонического покоя) и глобального климата (смены ритмов увлажненности и теплообеспеченности).

Многолетние и вековые изменения активности карстового процесса связаны в основном с наличием климатических циклов, которые в свою очередь зависят от солнечной активности и некоторых других космических факторов. Периоды влажных лет сменяются сухими, вследствие чего происходит повышение или понижение уровня поверхностных вод, изменение уровня подземных вод и базиса карстования.

Сезонная активность процесса в значительной степени бывает связана со сменой циклов выпадения осадков в течение года, сменой видов осадков (дождь, снег) и с изменением концентрации поверхностного стока по сезонам года. Так, для Пермского Урала и Предуралья, как и для всей таежной зоны, в зимнее время поверхностный карст резко снижает свою активность, снижается скорость протекания и глубинного карста. Весной бурное снеготаяние обуславливает обильный поверхностный сток и питание подземного, что приводит к разбавлению подземных вод и активизации карстового процесса.

По свидетельству многих карстоведов и геоморфологов (Д.С. Соколова, А.Г. Лыкошина, Г.А. Максимовича, Н.А. Гвоздецкого, А.Г. Чикишева, А.П. Дедкова, А.Я. Гаева и др.), наиболее древними по возрасту из сохранившихся в рельефе региона карстовых образований являются формы мезозойского тектоноклиматического этапа. Особенно продуктивной в этом плане была юрско-меловая его часть, когда при низком положении базиса эрозии в условиях влажного и теплого климата происходило

интенсивное растворение сульфатных и карбонатных пород. Последовавшие затем крупные морские трансгрессии благоприятствовали захоронению большей части возникших ранее микро- и мезоформ рельефа.

Следующий по времени этап карстообразования связан с эпохой пооднепалеогеновых тектонических движений и вызванной ими морской трансгрессии и значительной перестройкой речной сети. Ареной интенсивной карстовой деятельности в этот период становится большая часть территории, сложенной с поверхности растворимыми породами. Пространственно проявления палеогенового карста приурочены в основном к долинам олигоценовой речной сети.

Последний тектоноклиматический этап, с которым связано обновление рельефа и заложение новой речной сети, является важнейшим периодом формирования современного карстового рельефа. Образование отдельных карстовых форм началось еще в плиоцене. Четвертичные отложения большой мощности чаще всего встречаются в карстовых пустотах, принадлежащих этому времени, и обычно тяготеют к артериям современной гидросети.

Значительная активизация карстовых процессов происходила и в начале четвертичного периода. Реки вскрывали толщу иренских гипсов (100-120 м) и на некоторых участках она за сравнительно короткий период была замещена карстовой брекчией. В карбонатных же породах филипповского, иренского и соликамского горизонтов карст проявился в некотором увеличении первичных пор и трещин, а также в избирательном растворении кальцита с формированием "мучнистых" доломитов. Крупных полостей и каверн на данном этапе еще образовано не было (Лукин, 1965).

Карстогенез, связанный с колебаниями базиса эрозии в плейстоцене, М.С.Казеевым и Б.В.Васильевым разбивается на три фазы. Первая проявляется в миндельское время и характеризует собой продвижение карстового процесса в глубину. Вторая наблюдается в рисское время. В течение этой фазы происходило дальнейшее углубление и расширение ранее заложенного карста с частичным проявлением его на поверхности в виде провалов. Третья фаза соответствует вюрмскому времени. Для данного времени было характерно обрушение кровли пустот и образование карстовых воронок и провалов.

В настоящее время вмешательство человека в природу стало настолько ощутимым, что порою его последствия превышают интенсивность масштабы природных геоморфологических процессов: интенсивность

карстовых и карстово-суффозионных процессов значительно возрастает в результате строительства гидротехнических и магистральных сооружений, дорог, водохранилищ. Например, образование Камского водохранилища вызвало подъем уровня воды в реке на 20-22 м. Поскольку зона горизонтальной циркуляции увеличилась на 20 м, то естественно, что в результате растворения процесс выщелачивания возобновился с новой силой. Особенно активно он протекает в интервале сливной приемы, т.е. в верхней 7-8-метровой толще карстовых вод. Омолаживаются старые и возникают новые карстовые формы. Образуются воронки различного генезиса, пещеры, волноприбойные ниши (выщелачивания и каминообразные).

В берегах рек Чусовой, Сылвы встречаются небольшие карстовые пещеры. В результате активизации карста в зоне побережья происходит разрушение старых пещер, а по тектоническим трещинам и трещинам бортового отпора в то же время наблюдается формирование новых "эфемерных пещер" (Печеркин, 1969). Обычные карстовые пещеры вырабатываются в течение геологического времени и существуют длительный период. Эфемерные пещеры, напротив, образуются за 6-8 лет, а длительность их существования определяется скоростью переработки берегов, и, как правило, кратковременна.

Активизация карстовых процессов происходит не только в береговых обрывах, но и распространяется на значительные расстояния в сторону водоразделов. Об этом можно судить по участвовавшим провалам на побережье и разрушению имеющихся пещерных гrotов. Динамика провалов на территории пос.Полазна выглядит следующим образом: 19052-1; 1935-1; 1955-1; 1956-2; 1957-1; 1958-2; 1959-4; 1960-1; 1961-1 (Печеркин, 1969). Учитывая, что первоочередное наполнение Камского водохранилища было произведено весной 1954 г., активизация провально-карстовых процессов становится вполне объяснимой (рис.4).

Ряд карстовых провалов, образовавшихся на водораздельном плато рек Сухой и Талицы, Талой и Мутной (правые притоки р.Чусовой), в долине р.Мутной и в районе д.Заборье, описаны К.Г.Бутыриной. Все они возникли после первой очереди наполнения Камского водохранилища и расположены в прибрежной зоне (1-2 км).

Увеличение численности провалов в годы после заполнения водохранилища, по мнению В.С.Лукина (1964), обусловлено прежде всего обводнением глинистых отложений в кровле подземных пустот. При повышении зеркала водоносного горизонта покровные отложения, находив-

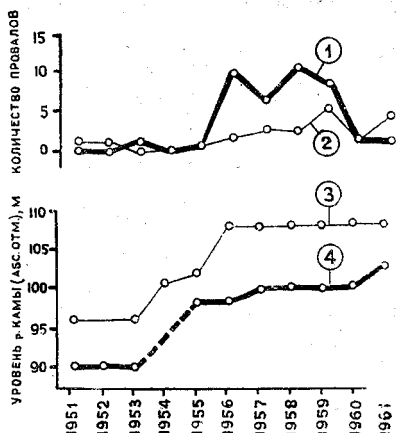


Рис. 4. Влияние уровня Камского водохранилища на количество провалов в прибрежной зоне (В. С. Лукин, 1964).

Провалы: 1 - на нижних и средних террасах, 2 - на высоких террасах (абс.отм. 170-220).  
Уровни р. Камы у с. Хохловки: 3 - максимальные, 4 - минимальные

шиеся ранее в зоне аэрации, оказываются в зонах периодического или постоянного насыщения. Увеличивается их влажность, ослабляются внутренние связи между частицами глинистых грунтов, снижается временное сопротивление грунта на растяжение, и при одной и той же ширине пролета свод становится неустойчивым.

По И. А. Печеркину, все вышеописанные факторы влияют на формирование провалов, но являются лишь частным случаем их образования. Подъем уровня в водохранилище и его сезонные колебания прежде всего вызывают активизацию карстового процесса. Пустоты, ранее заполненные песчано-глинистым материалом, освобождаются от него за счет карстово-суффозионных процессов. Агрессивные, слабоминерализованные воды при поступлении в массив сульфатных пород расширяют имеющиеся трещины и пустоты и вырабатывают новые. Это, по мнению исследователя, и является ведущим фактором при образовании провалов, а не смачивание грунтов в зоне аэрации.

Не менее весомой причиной резкого увеличения количества провалов в прибрежной зоне, по нашему мнению, является и то, что зона активного карстообразования в связи с повышением уровня подземных вод сместилась вверх, тем самым делая более возможным проявление глубинного карста на поверхности. На основании личных наблюдений, сообщений в печати и данных, полученных от местных жителей, можно говорить о продолжении процесса достаточно активного карстопроявления по истечении 40 лет после создания Камского водохранилища. Вре-



мя от времени свежие карстовые провалы появляются на склонах долины р. Камы и по берегам Чусовского и Сылвенского заливов.

Карстовый морфогенез может проявляться не только в виде образования провалов или пещер. Геологами Пермпромпоекта и КазГИСЭА (Пермское отделение) при проведении инженерно-геологических изысканий в районе с. Демидково зафиксировано медленное проседание поверхности со скоростью около 20 см/год, связанное с явлением вымывания песчано-глинистых террасовых отложений в постепенно расширяющиеся трещины и полости иренских гипсов. В песках сформировались воронки просасывания диаметром 4 м, при глубине около 1 м.

Активное проявление карстовых процессов наблюдается и за пределами зоны влияния Камского водохранилища. В силу понятных причин, динамика процесса лучше иллюстрирована примерами развития карстовых форм в пределах населенных пунктов или ближайших окрестностей.

Многолетние наблюдения сотрудников Кунгурского стационара УрО РАН свидетельствуют об увеличении частоты провалов на застроенных территориях (табл. 1).

Таблица 1

Количество провалов в г. Кунгуре по десятилетиям  
(по данным В. С. Лукина)

Тип провала	1951 - - 1960	1961 - - 1970	1971 - - 1980	1981 - - 1990
Карстовый	13	11	17	14
Карстово-суффозионный				
над водоводами, траншеями				
и котлованами	1	2	19	24
в контуре зданий	1	3	6	5
в кюветах и на полотне				
дорог	4	-	4	1
над подземными сооружениями	4	4	3	6
Всего	23	20	49	50

В другой работе В. С. Лукин (1974) отмечает, что за период с 1951 по 1972 г. на территории г. Кунгура и его окрестностей зафикси-

ровано образование свыше 150 новых провалов и просядков. Из сравнения этих данных с материалами таблицы можно сделать вывод о значительных скоростях формирования поверхностных карстовых форм и за пределами территории активного седитебного влияния. Количество воронок, образовавшихся практически в естественных условиях карстоге-неза, составляет примерно 100 шт., или 4-5 шт./год.

Высокая активность карста, по свидетельству К.А.Горбуновой и К.Г.Бутыриной (1974), наблюдается также на Косьвинско-Чусовском междуречье. По данным опросов местных жителей и различных документов, здесь на площади около 4 тыс.км<sup>2</sup> за 80 лет (1885-1965) зарегистрировано образование 83 провалов (в среднем 1 провал в год). В с.Таборы (нижнее течение р.Косьвы) и на удалении 2-2.5 км от него, по свидетельству старожилов, за 77 лет (1885-1962) возникло 12 провалов (Бутырина, 1964).

Интересные и во многом неожиданные сведения об активности развития карста были получены в периоды строительства и эксплуатации магистральных газопроводов в междуречье Ирени и Кунгура (Костарев, Димухаметов и др., 1986). Наибольшей закарстованностью здесь отличаются участки голого, задернованного и покрытого карста, меньшей - закрытого и перекрытого. На первых выше частота провалов, но существенно меньше их размеры. Невыполнение (или применение не в полной мере) обязательных мероприятий (таких, как заполнение карстовых впадин недреннующим грунтом, организация поверхностного стока, исключение взрывных работ и др.) привело к резкой активизации карстовой денудации и суффозионно-провального процесса. Изысканиями 1983-85 гг. в полосе построенных и строящихся газопроводов зафиксировано свыше 100 провалов диаметром до 3-5 м и глубиной 0.5-1.0 м и более. Частота провалов на отдельных участках достигала 150-250 шт. на 1 км<sup>2</sup> в год.

Комплекные инженерно-геологические изыскания, проведенные на площади более 700 га в соседнем Кишертско-Суксунском карстовом районе (окрестности с.Усть-Кишерть), показали существование больших различий в степени карстоопасности ее отдельных участков. Выделено 3 зоны по степени устойчивости:

1) неустойчивая, со среднегодовым количеством провалов 0.12-0.79 случая/км<sup>2</sup> год и значительными величинами показателей по-

верхностной и внутренней закарстованности;

2) недостаточно устойчивая (0.053-0.098 провала/км<sup>2</sup> год);

3) с несколько пониженной устойчивостью и частотой провалов 0.017-0.048 на 1 км<sup>2</sup> год (Костарев, Абросимов и др., 1982).

Довольно часто образование карстовых провалов происходит на автомобильных дорогах Кунгурского, Ординского, Чусовского и Добрянского административных районов. Службы, занимавшиеся изысканиями и осуществлявшие авторский надзор за автодорогами, за период с 1955 по 1980 г. зафиксировали 135 провалов (к 1990 г. их количество превысило 200 - Н.Н.), что на порядок превышает их среднюю частоту на 1 км<sup>2</sup> для территории в целом (Лукин, Дорофеев, 1982). Из них на дорожном полотне было учтено лишь 8 провалов (6%). Примечательно, что большинство форм возникло в непосредственной близости от покровов, которые длительное время поглощали талые и дождевые воды. На асфальтированных шоссе обрушение грунтов вообще не отмечалось. 94% вновь образовавшихся воронок располагаются в кюветах, а также в резервах, откуда брали грунт для насыпки. Одним из наиболее опасных случаев современного развития карстового процесса и требующим, по этой причине, к себе внимания и изучения являются провалы в полосе железнодорожных дорог. Только за последние 40 лет здесь произошло более 20 таких случаев. Размеры этих образований достигали в поперечнике и по глубине 5-9 м (Костарев, Димухаметов, Папириная, 1990). Один из последних в этом ряду случай, который имел место в ноябре 1989 г., был зафиксирован на перегоне Ергач-Иренский Свердловской ж.д. (магистраль Пермь-Екатеринбург). Произошел внезапный провал земляного полотна, и рельсы четного пути повисли в воздухе. Крушение поезда было предотвращено лишь внимательностью обходчика. По заключению комиссии, образованию провала, являющегося по своей природе суффозионно-карстовым, способствовало: концентрация поверхностного стока в пониженных участках рельефа, длительное сохранение снежного покрова повышенной мощности в лесополосе, отсутствие бронирующего слоя туйских доломитов, неоднородность фильтрационных характеристик коренных пород, наличие зоны повышенной трещиноватости (совмещение тылового шва террасы с устьем лога, выходящего на нее), наличие поддолинного потока. Немалую роль в активном протекании здесь процесса сыграл и техногенный фактор - вибрация от проходящих составов и взрывных работ в гипсовых карьерах станции Ергач.

Самым известным за последние годы случаем проявления карсто-

вого процесса, обернувшимся, по сути, катастрофой для целого рудоуправления, стало сначала затопление Березниковского калийного рудника № 3, а затем и возникновение над ним грандиозного провала. До его образования процесс протекал по следующей схеме. В результате поступления пресных и слабоминерализованных вод (вслед за рассолами) в толще солей над выработками сформировалась карстовая полость объемом свыше 630 000 м<sup>3</sup>. Ее свод перемещался вверх за счет послонного обрушения пород соляно-мергельной, а затем терригенно-карбонатной толщи. В процессе растворения солей в полости накопился горючий газ, периодически выделявшийся через существующие над шахтным полем скважины.

В ночь с 23 на 24 июля 1986 г. произошло обрушение свода полости и взрыв скопившегося газа. Первые измерения показали, что глубина образовавшейся впадины до обрушенных пород достигла 160 м, а до выработок - более 400 м. Диаметр провальной трубы на уровне скальных пород составил в среднем 70 м, а на поверхности - 100 м (благодаря рыхлой толще четвертичных флювиогляциальных отложений). Провальная впадина начала заполняться водой, и за сравнительно короткое время уровень ее стабилизировался, придя в соответствие с уровнем подземных вод в пестроцветной (надсолевой) толще.

За 4 года с момента образования произошло увеличение площади провала. Его диаметр на уровне поверхности увеличился со 100 до 150 м, а с учетом примыкающего оврага, сформированного ручьем, - до 220 м. Диаметр провала на уровне водоема увеличился с 45 до 50-53 м по короткой оси и со 100 до 200 - по длинной (Горбунова, Андрейчук и др., 1992).

Как показали геодезические наблюдения, процесс растворения солей в районе провала не прекращался и в течение первых лет после заполнения водой всех полостей. Прогибание земной поверхности по перекрещивающимся профилям достигло здесь 16 мм в год (Лосев, Назаров, Круге, 1990).

В заключение следует отметить, что неравномерность развития карста выражается в различной степени его активности, частоте провалообразования, размерах провальных впадин и некоторых других количественных показателях (Костарев, 1972, 1979). Так, величина подземной химической денудации в карстовых районах Урала и Приуралья изменяется от 9-17 микрон в год на участках карбонатного карста, до 75-150 и 1200 микрон на площадях сульфатного и соляного карста соответственно (Кротова, 1970; Максимович, 1972).

## ГЛАВА 5. АНАЛИЗ СВЯЗИ ИНТЕНСИВНОСТИ КАРСТООБРАЗОВАНИЯ С ПРИРОДНЫМИ И АНТРОПОГЕННЫМИ ФАКТОРАМИ

Важное значение при решении геоэкологических, народохозяйственных, прогнозных и любых других прикладных и научных задач имеет изучение роли факторов карстообразования. С целью проведения данных исследований, начиная с 1981 г. по 1990 г. на территориях Полазнинско-Шалашинского, Кунгуро-Иренского, Кишертско-Суксунского и некоторых других равнинных карстовых районов, проводились крупномасштабные полевые работы, ставившие своей задачей получение первичной информации о распространении и условиях развития карста. За основной показатель пораженности территории процессом была принята плотность воронок (шт./км<sup>2</sup>), что объясняется количественным преобладанием этих форм над другими карстовыми образованиями.

Продолжительность периода сбора полевой информации (10 лет) и некоторые другие обстоятельства объективного и субъективного характера послужили причиной не только изменения набора анализируемых показателей, но и некоторых подходов в процессе реализации задач, поставленных в начале исследований. В первую очередь это было связано с изменениями экономического характера, складывавшимися в финансировании геологических исследований в 80-е гг. (большая часть работ подготовительного плана выполнялась в рамках государственных инженерно-геологических программ), а во вторую - со сменой технологического и программного обеспечения проводимых расчетов (переход с "больших" ЭВМ на персональные компьютеры).

### **Изучение взаимосвязи природных условий развития карста в Полазнинско-Шалашинском районе**

Исходными материалами исследований послужили данные о поверхностной закарстованности территории, полученные во время полевых работ 1981-82 гг., и материалы дешифрирования аэроснимков. Использовались также специально составленные геологические и структурные карты (масштаб 1:25 000) (Байдин, Назаров, Демаков, Лехов, Марикова, 1985). В качестве операционной территориальной единицы (ОТЕ) была задействована окружность площадью 0.5 км<sup>2</sup>, случайно распределенная по территории Полазнинского полуострова и Чусовской Стрелки.

В терминах выбранных показателей формулировались исходные мо-

дели условий карстообразования: 1 - модель орогидрографических условий; 2 - модель геолого-структурных условий; 3 - модель геолого-структурных условий и литологии покровных отложений; 4 - обобщенная модель, учитывающая в дополнение к вышеперечисленным гидрогеологические условия и условия залесенности и заболоченности. В каждой модели "участвовало" от 5 до 20 показателей условий карстообразования и показатель интенсивности карстового процесса, измеренный в 30-100 ОТЕ.

Методы многомерной статистики применялись по готовым пакетам программ (Математическое обеспечение ЕС ЭВМ, 1980).

Интерпретация результатов статистического анализа по обоснованию вероятностной модели включала характеристику структуры взаимосвязей окончательно отобранных показателей и собственно регрессионное уравнение. Адекватность полученной факторно-регрессионной модели, описывающей распределение поверхностных карстовых форм в зависимости от природных условий по отношению к возможной, но не выявленной, характеризовалась коэффициентом множественной корреляции.

В анализе использовались следующие показатели природных условий: абсолютная отметка в центре ОТЕ (1), максимальная (2), минимальная (3) и средняя (4) отметки в пределах ОТЕ, разница отметок (5), абсолютная отметка ближайшей к ОТЕ дрены (6), расстояние до водохранилища (региональной дрены) (7) и до реки (местной дрены) (8), превышение над водохранилищем (9) и местной дренай (10), густота овражно-балочной сети (11), азимут стока поверхностных вод (12), азимут нормали к водохранилищу (13) и местной дрены (14), градиент уклона к водохранилищу (15) и к местной дрены (16), мощность карстующейся толщи в центре ОТЕ (17), ее максимальные (18) и минимальные (19) значения в пределах ОТЕ, градиент мощности карстующейся толщи в пределах ОТЕ (20), абсолютные отметки подошвы карстующейся толщи в центре ОТЕ (21), максимальная (22) и минимальная (23) ее отметки в пределах ОТЕ, азимут (24) и градиент (25) уклона рельефа артинского века, мощность глин (26), мощность суглинков (27), мощность супесей (28), мощность песков (29), мощность галечников (30), мощность карстово-обвальных образований (31), мощность соликамских отложений (32), недонасыщенность подземных вод по иону кальция (35), по сульфат-иону (36), по наименее представленному в растворе иону (37), показатель гидравлической связи подземных и поверхностных вод (38), площадь леса (34), площадь болот (33), плот-

ность карстовых воронок (39) в пределах ОТЕ. Для приведения распределений значений показателей к нормальному виду у половины их производилось преобразование (логарифмическое или к квадратному корню).

Особенность проведения анализа данного вида заключалась в том, что, поскольку некоторые из показателей представляли собой азимуты (12-14, 24) и наблюдалось числовое несоответствие значений даже их ближайших северных направлений (например  $2^0$  и  $359^0$ ), в каждом отдельном исследовании использовались две выборки с показателями азимутов - "восточной" ( $0^0$ -  $180^0$ ) и "западной" ( $180^0$ -  $360^0$ ) полукружностей, названных соответственно I и II их вариантами.

Модель условий орогидрографии. Факторный анализ позволил перейти от 9 переменных к 3 факторам, объясняющим 65 % (I вариант) и 68 % (II вариант) общей дисперсии переменных.

Интерпретация факторов по I варианту выборки.

I фактор - *крутизны поверхности*. Вклад в общую дисперсию -31%. Самые высокие нагрузки приходятся на градиенты уклона к водохранилищу (15) и к местной дрене (16).

II фактор - *расчлененности рельефа* (20%). Максимальные нагрузки (МН) падают на разницу абсолютных отметок в пределах ОТЕ (5) и густоту овражно-балочной сети (11).

III фактор - *местоположения ОТЕ относительно базиса дренирования* (17%). МН приходятся на расстояние от центра ОТЕ до водохранилища (7) и до местной дрены (8).

Построенная и обоснованная по F-критерию (программа пошаговой регрессии) модель регрессии показателя закарстованности на рассмотренные показатели записывается в виде:

$Y = 2.7214 - 0.1450 X_{15}$ , где Y - показатель закарстованности (логарифм плотности карстовых воронок).

Стандартная ошибка оценки регрессии - 0.44

Интерпретация факторов по II варианту выборки.

I фактор - *крутизны поверхности*. МН у показателей 16, 15, 5.

II фактор- *местонахождения ОТЕ относительно базиса дренирования*. МН у показателей 7, 1, 8.

III фактор - *фактор, отражающий направление стока поверхностных вод*. МН - 12, 11. Модель регрессии показателя закарстованности на рассмотренные показатели записывается в виде:

$Y = 6.2987 + 0.3055 X_8 - 0.1933 X_1$ . Стандартная ошибка -

0.43. Коэффициент множественной корреляций (КМК):

I вариант - 0.47; II вариант - 0.51 Таким образом, можно констатировать, что модель условий орогидрографии лишь частично отражает формирование поверхностной закарстованности территории. Процент учтенной дисперсии (ПУД) - 4.8% и 6.8%.

Модель геолого-структурных условий. В результате факторного анализа был осуществлен переход также от 9 переменных к 2 факторам, объясняющим 60% (I вариант) и 62% (II вариант) общей дисперсии переменных.

По обоим вариантам выборки интерпретация факторов была одинакова.

I фактор - *мощности и положения карстующейся толщи.* МН - 17, 21.

II фактор - *изменчивости строения и ориентировки древних структур.* МН - 25, 20, 24.

Модель регрессии показателя закарстованности (Y) записывается в виде:

$$Y = 2.1791 - 0.0045 X_{17} + 0.0040 X_{21} \text{ (I вариант) КМК - 0.58;}$$

$$Y = 1.3982 - 0.0041 X_{17} + 0.0056 X_{21} + 0.0027 \text{ (II вариант)}$$

КМК - 0.62. Стандартные ошибки в обоих случаях - 0.38.

Модель геолого-структурных условий и литологии покровных отложений. По результатам факторного анализа были выявлены 4 фактора, которые объяснили 80% и 77% общей дисперсии переменных, соответственно для I и II вариантов выборки.

Интерпретация некоторых факторов по I варианту была затруднительна, поэтому приводятся результаты лишь для II варианта выборки.

I фактор - *фактор, отражающий влияние слабопроницаемых отложений (25%).* МН- 26, 27, 32.

II фактор - *мощности и положения карстующейся толщи (24%).* МН- 17, 21.

III фактор - *фактор, отражающий влияние хорошо проницаемых отложений, покрывающих карстующиеся породы (16%).* МН - 30, 29.

IV фактор - *изменчивости и ориентировки древних структур (12%).*

Модель регрессии показателя закарстованности записывается в виде:

$$Y = 2.3732 - 0.0061 X_{17} \text{ (I вариант) КМК - 0.59;}$$



$Y = 2.3475 - 0.0066 X_{17}$  (II вариант) КМК - 0.62.  
Стандартные ошибки, соответственно - 0.40 и 0.41.

Модель орогидрографических, геолого-структурных, литологических, гидрогеологических условий и условий залесенности и заболаченности (обобщающая модель).

Общая изменчивость анализируемых переменных, характеризующих условия развития карста в районе, представлена 8 факторами, объясняющими около 80% дисперсии переменных.

Интерпретация факторов по I варианту выборки.

I фактор - фактор, отражающий связь современного и древнего рельефа (20%). МН - 15, 16, 25.

II фактор - мощности и положения карстующейся толщи (14%). МН - 38.

III фактор - фактор, характеризующий влияние литологии поровых отложений и залесенности (11%). МН - 34, 32, 24.

IV фактор - местоположения ОТЕ относительно базиса дренирования (10%). МН - 8, 10.

V фактор - гидравлической связи подземных и поверхностных вод (8%). МН - 38, 12, 27, 24.

VI фактор - изменчивости мощности карстующейся толщи (8%). МН - 20, 29, 27. VII фактор - расчлененности рельефа (6%). МН - 11.

VIII фактор - насыщенности подземных вод ионом кальция (5%). МН - 35. При II варианте интерпретация факторов во многом совпадала и лишь во II факторе кроме показателей 17, 21, 39 добавляется 38, 32 и поэтому его можно интерпретировать как фактор закарстованности.

Модель регрессии показателя закарстованности записывается в виде:

$Y = 2.9465 - 0.036 X_{17} - 0.3158 X_{11} + 0.0047 X_{21}$  (I вариант)  
КМК - 0.66;

$Y = 2.9795 - 0.0037 X_{17} - 0.3239 X_{11} + 0.0048 X_{21}$  (II вариант)  
КМК - 0.72. Стандартные ошибки - 0.38 и 0.37.

Процент учетной дисперсии закарстованности в данной модели составляет около 50%, т.е. примерно половина ее остается "необъясненной".

Таким образом, в результате факторного анализа стал возможен переход от матрицы в 40 показателей в 4 факторных моделях влияния,

природных условий на распределение карстовых форм к факторной модели с 20 окончательно отобранными показателями.

Именчивость описывается 8 факторами, объясняющими более 80% их общей дисперсии. Показатель закарстованности (39) вошел с высокой нагрузкой во второй (0.65) и седьмой (-0.40) факторы. С высокой нагрузкой (0.85-0.82) во второй фактор вошли также абсолютные отметки подошвы карстовой толщи (21) и мощности карстовой толщи (17). Высокая нагрузка (0.79) на седьмой фактор осуществляется показателем расчлененности рельефа (11). Именно эти показатели включены в регрессионную модель.

Как показали исследования, основное внимание при районировании территории по условиям карстообразования необходимо уделять характеристикам ее геологического и тектонического строения, а также количественным показателям расчлененности рельефа.

#### **Изучение взаимосвязи развития карста и его природных условий в Ильинскийском, Кунгуро-Иренском и Килертско-Суксунском районах**

Исходными материалами исследований стали данные о плотности карстовых воронок в юго-восточной части Пермского Прикамья, полученные с помощью дистанционных методов, а также в процессе полевых работ в период 1984-1989 гг. Кроме того, при подготовке информационной базы использовались специально составленные карты природных условий - геоморфологического, геологического, тектонического содержания и некоторые другие.

В качестве анализируемой территориальной единицы был использован бассейн водотоков 2-3-го порядка.

Основным методом изучения взаимосвязей интенсивности карстообразования с природными условиями стал анализ главных компонент, осуществленный на персональном компьютере с помощью диалоговой статистической системы DIASTA.

После тестирования выборок и приведения части из них к нормальному виду распределения (логарифмирование, извлечение квадратного корня) из 36 показателей, подготовленных к анализу, было оставлено лишь 17: густота суммарного расчленения (долинного, балочного, овражного (1), густота долинного расчленения (2), залесенность (3), средняя крутизна склонов (4), глубина базиса эрозии (5),

средняя длина склонов (6), густота мегатрещиноватости (7), местоположение ЭУ относительно структуры 3-го порядка (8), максимальная плотность карстовых воронок (9), средняя плотность карстовых воронок (10), глубина подземных вод (11), сумма поглощечных оснований (12), емкость поглощения почв (13), содержание в почве  $P_2O_5$  (14),  $K_2O$  (15), гумуса (16), мощность четвертичных отложений (17).

Коэффициент парной корреляции показателей максимальной (9) и средней (10) плотности карстовых воронок с участвующими в анализе переменными приведены в табл. 2

Таблица 2

Корреляционная матрица

Номера переменных	9	10	Номера переменных	9	10
1	-0.08	0.08	8	0.14	0.17
2	-0.29 <sup>x</sup>	-0.31	11	0.32 <sup>x</sup>	0.34 <sup>x</sup>
3	-0.29 <sup>x</sup>	-0.22	12	0.08	0.10
4	-0.33 <sup>x</sup>	-0.37*	13	0.18	0.20
5	-0.31 <sup>x</sup>	-0.30	14	0.14	0.10
6	0.12	0.11	15	-0.06	-0.07
7	-0.14	-0.19	16	0.22	0.22
			17	0.06	0.04

Факторный анализ позволил перейти от 17 переменных к 6 факторам, объясняющим около 70% общей дисперсии переменных (табл. 3)

Факторные нагрузки распределились так:

$$F_1 = \frac{40.33 \cdot 20.28 \cdot 30.24 \cdot 50.21}{130.37 \cdot 160.35 \cdot 90.31 \cdot 100.31 \cdot 110.25 \cdot 120.22} ;$$

$$F_2 = \frac{1}{60.47 \cdot 170.42 \cdot 10.41 \cdot 20.33 \cdot 40.29 \cdot 90.22 \cdot 100.22} ;$$

Таблица 3

Матрица значений факторных нагрузок

Пере- мен- ные	Ф А К Т О Р Ы					
	F <sub>1</sub>	F <sub>2</sub>	F <sub>3</sub>	F <sub>4</sub>	F <sub>5</sub>	F <sub>6</sub>
1	0.10	-0.41*	0.08	0.47*	0.07	0.18
2	0.28*	-0.33*	-0.26 <sup>x</sup>	-0.29*	0.27	0.12
3	0.24 <sup>x</sup>	0.12	0.05	0.31*	-0.31*	0.21 <sup>x</sup>
4	0.33*	-0.29*	-0.31*	-0.19	-0.02	0.17
5	0.21*	0.1	-0.20	0.26 <sup>x</sup>	-0.53*	-0.04
6	-0.10	-0.47*	0.12	0.03	0.02	-0.07
7	0.16	0.14	-0.19	-0.49*	-0.39*	-0.08
8	-0.13	-0.13	-0.08	-0.26 <sup>x</sup>	-0.06	-0.41*
9	-0.31*	-0.22 <sup>x</sup>	0.28*	-0.27*	-0.22 <sup>x</sup>	0.23 <sup>x</sup>
10	-0.31*	-0.22 <sup>x</sup>	0.29*	-0.16	-0.23 <sup>x</sup>	0.24 <sup>x</sup>
11	-0.25 <sup>x</sup>	-0.10	0.14	0.06	-0.19	-0.16
12	-0.22 <sup>x</sup>	-0.19	-0.43*	0.15	-0.09	0.08
13	-0.37*	-0.07	-0.39*	0.18	-0.03	0.02
14	-0.19	0.09	-0.22 <sup>x</sup>	-0.12	0.20	0.57*
15	0.24	-0.01	0.21 <sup>x</sup>	-0.14	-0.28*	0.39*
16	-0.35*	0.19	-0.28*	-0.02	-0.13	0.15
17	-0.02	-0.42*	-0.19	-0.03	-0.32	-0.21 <sup>x</sup>
клад	23.3	10.8	12.7	8.03	6.93	6.11
умма						67.87

100.29 . 90.28 . 150.21

120.43 . 130.39 . 40.31 . 160.28 . 20.26 . 140.22

$$F_4 = \frac{10.47 \cdot 30.31 \cdot 50.26}{70.49 \cdot 20.29 \cdot 90.27 \cdot 80.26}$$

$$F_5 = \frac{1}{50.53 \cdot 70.39 \cdot 30.31 \cdot 150.26 \cdot 100.23 \cdot 90.22}$$

$$F_6 = \frac{140.57 \cdot 150.39 \cdot 100.24 \cdot 90.23 \cdot 30.21}{80.41 \cdot 170.21}$$

Факторы  $F_1$ ,  $F_2$ ,  $F_3$  и  $F_4$ , имеющие максимальные вклады и значения нагрузки показателей закарстованности, были интерпретированы следующим образом:

- 1) фактор выровненности и платообразности мезорельефа;
- 2) фактор близости крупных речных долин (приближенности главных водотоков);
- 3) фактор деградации почв;
- 4) фактор неостектоники.

Анализ структуры фактора  $F_1$  выявил, что закарстованность увеличивается с уменьшением крутизны склонов (выровненность рельефа), долинной расчлененности, залесенности и глубины базиса эрозии, а также с увеличением значений таких почвенных показателей, как емкость поглощения, количество гумуса, сумма поглощенных оснований, глубина залегания подземных вод. В реальности подобный "набор" особенностей карстового ландшафта (слабохолмистая равнина, черноземовидные почвы, безводность, преобладание пашни) в настоящее время наиболее ярко представлен на интенсивно закарстованной платообразной поверхности междуречья Ирки и Кунгура. Схожие с этим описанием территории развития карста встречаются и на многих других участках Кунгурской лесостепи.

Рассматривая "поведение" показателей, используемых в факторном анализе, в связи с изменением значений плотности карстовых форм, следует иметь в виду, что фактор "выровненности и платообразности мезорельефа" является скорее следствием, а совсем не причиной (ус-

ловием) развития карста.

В отличие от  $F_1$  фактор  $F_2$  самым прямым образом обуславливает интенсивность карстообразования. Увеличение плотности воронок определяется принадлежностью ЗУ к долинам крупных водотоков, где обычно и наблюдается увеличение средней длины и крутизны склонов, повышение значений расчлененности рельефа (за счет как постоянных, так и временных водотоков), отмечается наибольшая мощность четвертичных отложений.

Фактор  $F_3$  состоит из показателей плодородия почв (сумма поглощенных оснований, емкость поглощения, количество гумуса и  $F_2O_5$ ), качество которых ухудшается с усилением закарстованности.

Деградация почв, как и в случае с фактором  $F_1$ , является ничем иным, как реакцией почвенного покрова на развитие карста. На участках со значительной интенсивностью процесса, характеризующегося массовым образованием коррозийных и суффозионно-карстовых воронок (просадок) с плотностью, достигающей часто нескольких тысяч шт./км<sup>2</sup>, происходит активный смыв почвенного слоя в эти понижения. Последнее обстоятельство и является главной причиной ухудшения характеристик почв, расположенных на верхних уровнях рельефа.

Фактор  $F_4$ , безусловно, является фактором - условием развития карстового процесса. Интенсивность последнего усиливается непосредственно с увеличением показателей густоты мегатрещиноватости, площади расчлененности. Неотектоническая природа фактора предопределила локализацию проявлений карста в основном вдоль линейментов, что сразу же сказалось и на структуре фактора  $F_4$  - он является единственным из 6 факторов, в котором отмечаются значительные различия в нагрузках показателей максимальной (9) и средней (10) закарстованности (соответственно -0.27 и -0.16). По этой причине последний параметр даже не вошел в состав фактора  $F_4$ .

Как уже было отмечено выше, из всей базы данных, подготовленной для изучения взаимосвязей между показателями природных условий и интенсивностью карстообразования, нормальному закону распределения подчинялись выборки лишь 17 из 36 выбранных показателей. Невозможность использования параметрических критериев для анализа оставшихся 19 показателей предопределила проведение вычислений коэффициента корреляции рангов (Спирмена).

Статистической обработке подвергались выборки следующих природных показателей: густота балочного расчленения 18), площадь вс-

досбора главной реки (ручья) ЭУ (19), среднее относительное превышение склонов (20), плотность мегатрещиноватости (21); плотность узлов пересечений линеаментов (22), относительная удаленность от осевой части морфоструктуры второго порядка (23), амплитуда подошвы нижнепермских отложений структуры второго порядка (24), наклон крыла структуры второго порядка по нижнепермским отложениям (25), средняя амплитуда по маркирующим горизонтам структуры второго порядка (26), средний наклон крыла структуры второго порядка по маркирующим горизонтам (27), амплитуда подошвы нижнепермских отложений локальной структуры (28), средняя амплитуда по маркирующим горизонтам локальной структуры (29), средний угол наклона слоев локальной структуры по маркирующим горизонтам (30), процент содержания в почве минеральных частиц размером 1.00-0.25 мм (31), 0.25-0.05 (32), 0.05-0.005 (33), менее 0.005 (34), pH почвы (35), гидролитическая кислотность почв (36), степень насыщенности почвы основаниями (37), а также показатели максимальной (9) и средней (10) плотности карстовых воронок в пределах ЭУ. Результаты анализа представлены в табл. 4

Таблица 4  
Коэффициенты корреляции рангов (Спирмена)

Номера пере- менных	Коэффициенты корреляции рангов (Спирмена)		Номера пере- менных	Коэффициенты корреляции рангов (Спирмена)	
	9	10		9	10
18	0.28*	0.32*	28	0.30*	0.32*
19	0.07	0.07	29	0.31*	0.32*
20	-0.05	-0.09	30	0.33*	0.34*
21	-0.09	-0.15	31	0.17	0.19
22	-0.08	-0.20 <sup>x</sup>	32	0.19	0.21 <sup>x</sup>
23	-0.14	-0.15	33	0.21 <sup>x</sup>	0.18
24	0.29*	0.25 <sup>x</sup>	34	0.25 <sup>x</sup>	0.21 <sup>x</sup>
25	0.32*	0.30*	35	0.16	0.18
26	0.38*	0.33*	36	0.08	0.04
27	0.34*	0.33*	37	0.03	0.06

Как видно из результатов представленных расчетов, наличие по-

положительных связей показателя плотности карстовых форм обнаружено со значениями густоты балочного расчленения, а также с величинами, характеризующими морфологические и морфометрические особенности тектонических структур, которые, как известно, определяют целый комплекс условий современного карстообразования (скорость движения и химический состав подаваемых вод, трещиноватость горных пород, густоту речной сети и т.д.) Другой группой показателей, обнаруживающих некоторые положительные связи с плотностью воронок, являются параметры, характеризующие количественное содержание мелкопесчаной и глинистой фракций в почвогрунтах.

Подводя краткий итог анализу результатов статистических исследований, необходимо остановиться на некоторых особенностях пространственного развития карстовых форм, зафиксированных в процессе исследования. С помощью коэффициентов ранговой корреляции были подтверждены многие из выводов, сделанных по итогам анализа главных компонент. Преобладание почвенных минеральных частиц размером 0.05 мм и мельче на интенсивно закарстованных участках говорит о выравненном характере рельефа данной территории (оклоновые участки обычно отличаются более грубым механическим составом почвогрунтов) и повышенной выветрелостью почвообразующих пород, что хорошо согласуется с интерпретацией фактора  $F_1$ .

Другой важной особенностью распространения карстовых форм, обнаруженной в процессе вычисления коэффициентов ранговой корреляции, является подтверждение обусловленности повышения плотности карстовых форм на наиболее активных в тектоническом отношении участках земной поверхности - в краевых зонах тектонических структур второго порядка (валов, поднятий и т.д.) и в пределах мелких (локальных) образований (фактор  $F_4$ ).

### **Влияние карста на рельеф**

Оценивая роль карста в формировании рельефа, исследователи обычно отмечают влияние процесса на его морфологические особенности, не обращая практически никакого внимания на морфометрические характеристики. Объяснением такого подхода, по-видимому, является ситуация, которая сложилась в науках геолого-геоморфологического направления в период преобладания "геологического подхода" в понимании закономерностей развития рельефа, при котором ведущая роль в



образовании мезоформ, однозначно отводилась эндогенным процессам. По логике популярного еще недавно тезиса о лишь моделирующей функции экзогенных процессов рельефа, а точнее его морфометрические характеристики, рассматривались в основном с позиций фактора, регулирующего интенсивность и активность карстообразования.

Обнаруживающаяся практически в каждой аналитической работе неоднозначность понимания роли показателей рельефа в развитии процесса заставляет более пристально взглянуть на характер причинно-следственных связей в системе морфогенеза карстовых территорий.

Важным моментом в наших попытках разобраться в этой проблеме стал сравнительный анализ морфометрии рельефа закарстованных и незакарстованных участков земной поверхности, характеризующихся по возможности максимально однородными (в пределах одного участка) природными условиями. Такой территорией в проведенных исследованиях выбран карстовый район, который уже по определению является отдельной морфоструктурой (или ее частью) и представлен одним ландшафтом.

Картометрические исследования, проведенные с использованием топокарт масштаба 1 : 100 000, выявили значительные различия, которые наблюдаются в морфометрических характеристиках рельефа данных территориальных единиц (рис.5,6).

Кенофонтовский район. Глубина местных базисов эрозии примерно на половине площади района составляет 100-150 м. Преобладающие значения долинной расчлененности (62% территории района) - 0.6-0.8 км/км<sup>2</sup>, что является средним показателем для Предуральяского региона. Крутизна склонов, в основном, колеблется в интервале от 2 до 15°, хотя преобладают значения - 8-15° (48 %).

Полазнинско-Шалашинский район. Долинная расчлененность колеблется от 0.2 до 1.0 км/км<sup>2</sup>. Характерно, что более 70 % всей территории района приходится на средние и высокие (более 0.6 км/км<sup>2</sup>) значения показателя. Отмечаются также довольно высокие (для равнинных территорий) значения глубин базисов эрозии. У подавляющего большинства ЭУ они превышают 100-150 м, что с учетом данных о долинной расчлененности характеризует рельеф района как весьма контрастный. Крутизна склонов, которая, как известно, функционально связана с рассмотренными выше морфометрическими показателями рельефа, также имеет самые высокие для Предуралья средние значения (10-15°).

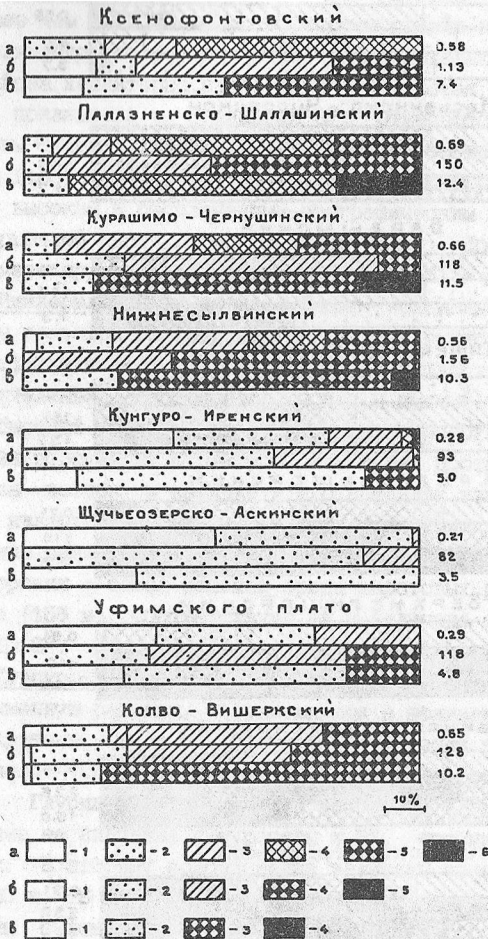


Рис. 5. Доли площади территорий карстовых районов (1-8) с различными геоморфометрическими показателями рельефа. Густота долинного расчленения (а), км/км<sup>2</sup>: 1 - менее 0,2; 2 - 0,2-0,4; 3 - 0,4-0,6; 4 - 0,6-0,8; 5 - 0,8-1,0; 6 - более 1,0. Глубина местных базисов эрозии (б), м: 1 - менее 50; 2 - 51-100; 3 - 101-150; 4 - 151-200; 5 - более 200. Крутизна склонов (в), град.: 1 - менее 2; 2 - 2-7; 3 - 8-15; 4 - более 15. Цифры - средние значения показателей по району

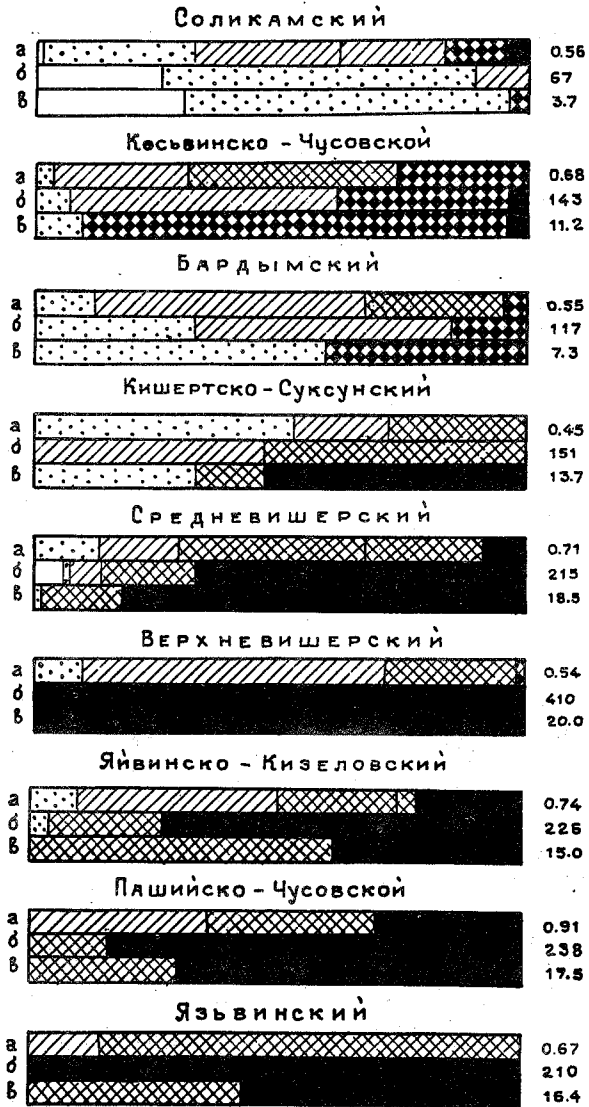


Рис. 6. Доли площади территорий карстовых районов (9-17) с различными морфометрическими показателями рельефа (см. условные обозначения к рис. 5)

Курашимо-Чернушенский район. Глубина местных базисов эрозии на более чем 70 % площади территории района превышает 100 м. Густота долинного расчленения меняется в пределах от 0.2 до 1.0 км/км<sup>2</sup>. Для района характерно равнообразие и частая сменяемость значений этого показателя по отдельным ЭУ. Отмечаются повышенные параметры крутизны склонов, что предопределено пространственным положением района (восточная часть Чернушенско-Юговских увалов, являющихся наиболее высоким и расчлененным орографическим образованием во всей платформенной части Пермского Предуралья). Почти 81% территории района имеет крутизну склона более 8°, а 15% - более 15°.

Нижнесылвинский район. Около половины площади района предопределены рельефом со средними значениями густоты долинного расчленения - 0.4-0.6 км/км<sup>2</sup>. В то же время на четверти его площади наблюдаются интенсивное расчленение (0.8-1.0 км/км<sup>2</sup>), что говорит о достаточно быстрой сменяемости геолого-геоморфологических условий в направлении погружения структуры. Небольшая протяженность района с запада на восток и наличие в его пределах такой крупной реки, как Сылва, являющейся главным для всей территории базисом эрозии, предопределили развитие контрастного рельефа. Средняя глубина местных базисов эрозии - самая большая среди карстовых районов Пермского Предуралья (156 м). Соответствует ей и величина средней крутизны склонов - 10.3°.

Кунгуро-Иренский район. Рельеф района представляет собой слабовходимую равнину, обрывающуюся в долинах рек Сылва, Ирени и Аквы крутыми уступами. Густота расчленения - одна из самых низких в регионе. Среднее значение показателя составляет всего 0.28 км/км<sup>2</sup>. Глубина базисов эрозии находится в пределах 50-150 м. Максимальные ее значения приурочены к ЭУ, примыкающим к долинам главных рек. В сторону водоразделов величины показателя быстро убывают до 10-30 м. В этом же направлении происходит уменьшение значений крутизны склонов. При средней величине этого показателя по району 5°, за пределами речных долин они редко достигают 1-2°.

Шучьеозерско-Аскинский район. Рельеф района в некоторой степени напоминает рельеф Кунгуро-Иренского района, что объясняется, видимо, принадлежностью обоих к одной морфоструктуре. Здесь отмечается наименьшая густота долинного расчленения среди карстовых районов - 0.21 км/км<sup>2</sup>. Абсолютный минимум в регионе принадлежит и значениям крутизны склонов - всего 3.5°. Основное же от-

личие рельефа Щучьеозерско-Аскинского района от смежного с ним Кургуро-Иренского состоит в отсутствии в его пределах крупных речных долин, в значительной степени обычно контролирующих общий характер рельефа. Данное обстоятельство предопределило здесь не только минимальные значения средней крутизны склонов, но и одну из самых незначительных величин глубин базиса эрозии - 82 м.

Район Уфимского плато. Долинная расчлененность района небольшая и в среднем составляет  $0.29 \text{ км/км}^2$ . На севере встречаются участки, измеряемые сотнями квадратных километров с полным отсутствием постоянной гидросети. В южной части района ровная поверхность Уфимского плато прорезана немногочисленными, но глубокими и узкими долинами рек. Более половины площади территории района (68%) имеет глубину местных базисов эрозии от 100 до 200 м, что заметно отличает ее по этому показателю от соседних карстовых районов. Сравнительно невелики и значения крутизны склонов. Четверть территории приходится на ЗУ с практически ровной поверхностью (крутизна - менее  $2^0$ ). Средняя же величина этого показателя для района -  $4.8^0$ .

Колво-Вишерский район. Густота долинного расчленения колеблется от  $0.1$  до  $1.0 \text{ км/км}^2$ , но 75 % площади района приходится все же на территорию с высокими ее значениями (более 0.6). Глубина местных базисов эрозии на трети территории находится в интервале значений 150-200 м, что и определяет довольно высокую среднюю величину этого показателя - 128 м.

Соликамский район. Долинная расчлененность меняется в широких пределах - от  $0.2-0.4$  (30 % территории) до  $1.0-1.2$  (4 %)  $\text{км/км}^2$ . Среднее значение этого показателя -  $0.56 \text{ км/км}^2$ . Отличительной чертой Соликамского карстового района от других, подобных ему территориальных образований, является небольшая глубина местных базисов эрозии. Здесь наблюдаются их самые малые значения для всего Пермского региона. На 25 % площади величина показателя не превышает 50 м, а в целом по району его среднее значение составляет лишь 67 м. Третий показатель - крутизну склонов также отличают минимальные значения. Его средняя величина по району одна из самых низких -  $3.7^0$ .

Косьюинско-Чусовской район. Средняя густота долинного расчленения одна из самых больших для всего Предуралья -  $0.68 \text{ км/км}^2$ . С учетом же суходольной сети (карстовых логов) горизонтальная расчлененность района на отдельных участках просто уникальна, подчас дос-

тигает 5-6 км/км<sup>2</sup>. Более 90 % от площади района приходится на участки, где глубина местных базисов эрозии превышает 100 м, что, с учетом других морфометрических показателей, характеризует его как район с исключительно контрастным рельефом.

Бардымский район. По своей величине морфометрические характеристики рельефа близки к их средним значениям. Густота долинного расчленения на 55 % площади составляет 0.4-0.6 км/км<sup>2</sup>. Средняя величина глубины местных базисов эрозии - 117 м. Крутизна склонов колеблется в интервале от 2<sup>0</sup> до 15<sup>0</sup>, а в среднем составляет 7.3<sup>0</sup>.

Кишертско-Суксунский район. Территориальная близость района с практически безводной частью Уфимского плато предопределили его слабую долинную расчлененность. Данный показатель, на более чем половине площади территории, имеет значения в пределах 0.2-0.4 км/км<sup>2</sup>. Средняя расчлененность района самая низкая среди подобных территориальных образований Сылвинско-Чусовского карстового округа - 0.45 км/км<sup>2</sup>. В то же время здесь зафиксировано одно из самых высоких значений средней глубины местных базисов эрозии для всей равнинной и предгорной частей региона - 151 м, что, с одной стороны, обусловлено наличием тектонического сброса по западной границе района, а с другой - близким расположением регионального базиса эрозии, которым является р.Сылва. Средняя величина показателя крутизны склонов по району составляет 13.7<sup>0</sup>, что является абсолютным максимумом для Предуралья.

Средневишерский район. Принадлежность данного района и всех, охарактеризованных ниже, к Уральской карстовой стране отразилась на величинах практически всех морфометрических показателей рельефа. Средняя по району густота долинного расчленения составила 0.71 км/км<sup>2</sup>. Примечательного, что почти 10 % всей площади занимают участки с максимальной величиной показателя - более 1.0 км/км<sup>2</sup>. Наиболее ощутимые изменения в характере рельефа, по сравнению с равнинным регионом, произошли в величинах значений глубин базисов эрозии - 69 % всей территории занимают ЭУ, где они превышают 200 м, а среднее значение показателя по району в целом составляет 215 м. Соответственно здесь наблюдается и резкое увеличение средней крутизны склонов, которая достигает 18.5<sup>0</sup>.

Верхневишерский район. Район включает наиболее высокогорную часть Уральского региона, в состав которой попадают отроги самых возвышенных орографических образований - хребтов ("каменной"). Здесь

наблюдаются довольно скромные для горной страны величины густоты долинного расчленения - в среднем всего  $0.54 \text{ км/км}^2$ . Однако два других морфометрических показателя по своим значениям являются рекордными для всей рассматриваемой территории. Средние значения глубины местных базисов эрозии и крутизны склонов составляют соответственно  $410 \text{ м}$  и  $20^\circ$ .

Яйвинско-Кизеловский район. Территория района представляет собой достаточно интенсивно расчлененные возвышенности и гряды Западно-Уральской зоны складчатости. Значения показателей рельефа исключительно разнообразны. Наряду с 9 % площади территории, приходящейся на ЭУ с небольшой густотой долинного расчленения ( $0.2-0.4 \text{ км/км}^2$ ), 20% ее занимают участки с максимальными величинами (более  $1.0 \text{ км/км}^2$ ). Меньшее разнообразие в величинах показателей наблюдается у двух других морфометрических характеристик. Более 70% площади территории составляют ЭУ с глубиной базиса эрозии - более  $200 \text{ м}$ . Что касается крутизны склонов, то наиболее часто встречающиеся ее значения  $8-15^\circ$  (61%).

Пашийско-Чусовской район. Отличительной особенностью района является самое высокое для всей рассматриваемой территории значение средней густоты долинного расчленения, которое достигает здесь  $0.91 \text{ км/км}^2$ . По всем остальным параметрам район во многом напоминает Яйвинско-Кизеловский. Чуть больше (84%) площади района приходится на территории с максимальной глубиной местных базисов эрозии (более  $200 \text{ м}$ ). 70% площади составляют ЭУ с крутизной склонов более  $15^\circ$ .

Язьвинский район. В связи с небольшой площадью района и особенностями его местонахождения (верховья р.Язьвы) его рельеф не отличается разнообразием значений морфометрических характеристик. Более 85% территории имеют долинную расчлененность в интервале от  $0.6$  до  $0.8 \text{ км/км}^2$ . Значения глубины местных базисов эрозии (более  $200 \text{ м}$ ) совершенно однородны. 43% территории имеет крутизну склонов  $8-15^\circ$  и 57% - более  $15^\circ$ .

Результаты картометрических исследований, совмещенные с полученными данными о закарстованности, позволили подготовить для анализа специальные матрицы. Последние давали представление о площади территории, каждой из сложившейся в карстовом районе комбинации характеристики рельефа с соответствующим значением плотности карстовых форм. Графический анализ, проведенный с использованием этих материалов, показал, что между отдельными районами имеется существен-

ная разница в силе и направленности хода процессов растворения и выщелачивания и степени их результирующего влияния на общий характер геоморфогенеза. Для равнинных территорий зависимость, по крайней мере, двух морфометрических характеристик рельефа от особенностей развития карста наглядно подтверждается на рис.7. Долинная расчлененность и средняя крутизна склонов увеличиваются по мере снижения интенсивности карста. Максимальные же их значения отмечаются на участках с полным отсутствием карстопоявлений.

Совершенно обратная картина наблюдается на графиках Косьювино-Чусовского карстового района, где отмечается увеличение значений всех трех морфометрических показателей рельефа по мере усиления степени пораженности территории процессом. Объясняется это особыми условиями (по сравнению с другими районами), которые сформировались здесь в ходе рельефообразования. Перекрытость карстующихся толщ верхнепермскими терригенными и терригенно-карбонатными отложениями значительной мощности (20-50 м) в совокупности с их высокой трещиноватостью спровоцировали усиление процессов долинообразования, что и нашло свое отражение в особом наборе характеристик рельефа. По нашим наблюдениям, подобная корректировка направленности морфогенеза, в более или менее явном виде, наблюдается практически по всей периферии карстовых областей, где "подныривание" растворимых пород под терригенные (терригенно-карбонатные) отложения формирует на некотором удалении от границы закарстованности зону интенсивно расчлененного контрастного рельефа шириной от 1-3 до 20-35 км.

Попытка отыскать зависимости между морфометрией рельефа и закарстованностью в районах горно-складчатого Урала на данном этапе исследований успеха пока не имела. Причиной этого, по-видимому, является значительное преобладание здесь эндогенной составляющей морфогенеза, не только подчиняющей себе деятельность экзогенных процессов, но и определяющей их "спектр". В отличие от равнинных территорий ведущую роль в рельефоформировании горных играют гравитационные и эрозионные процессы.



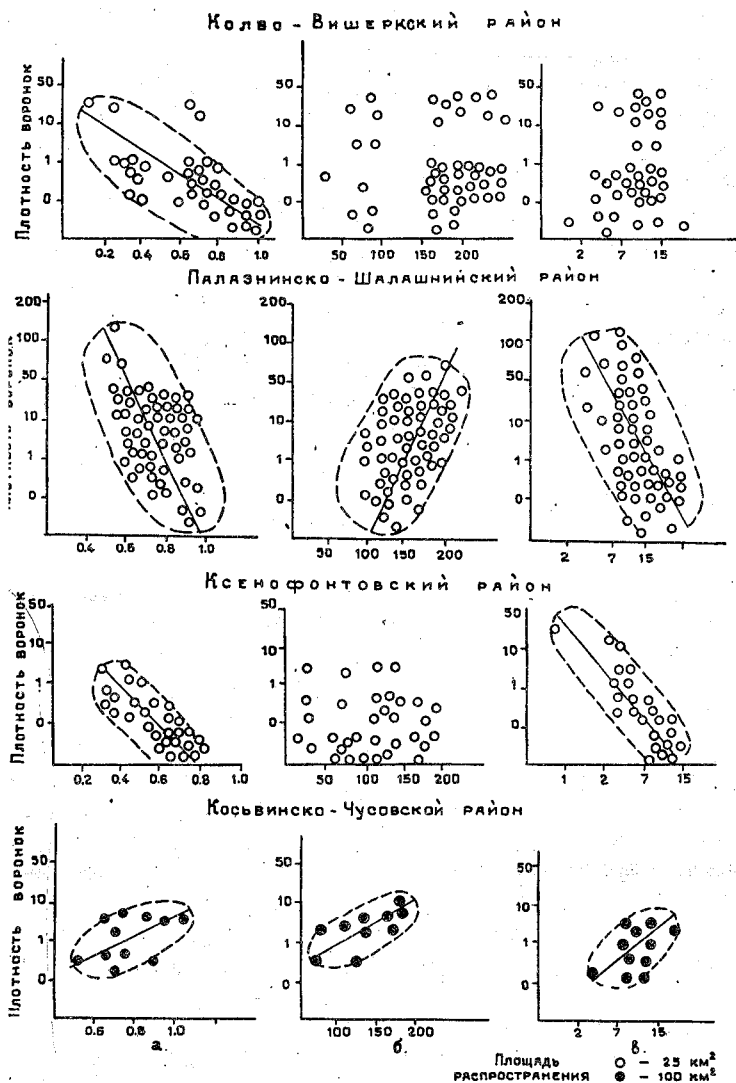


Рис.7. Взаимосвязь показателя закарстованности (плотность воронок, шт./км<sup>2</sup>) с морфометрическими характеристиками рельефа: а - с густотой долинного расчленения, км/км<sup>2</sup>; б - с глубиной базиса эрозии, м; в - с средней крутизной склонов, град.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

Варанник О.И. Оценка влияния природных факторов на карст статистическими методами // Факторы и процессы карстообразования. М.: Наука, 1986. С.14-17.

Бачинский Г.А., Дублянский В.Н., Штенгелов Е.С. Кривченская Кристалльная пещера в гипсах Подолии // Пещеры. Вып. 4(5). Пермь, 1964. С.49-56.

Беляев В.П., Толмачев В.В. Прогноз антропогенных изменений развития карста в городах как основа изысканий и инженерной защиты // Инженерная геология. 1990. №6. С.59-68.

Бутырина К.Г. Карстовые овраги центральной части Пермской области // Матер. по физ. геогр., охране природы Урала и сопредельных территорий: Учен. зап. Перм. ун-та. Пермь, 1973. N 281. С.60-92.

Бутырина К.Г. Карстовые районы и участки центральной части Пермской области // Вопросы физической географии Урала: Учен. зап. Перм. ун-та. Пермь, 1975. N 329. С.47-65.

Бутырина К.Г. Новые провалы на левобережье Камского водохранилища // География Пермской области. Пермь, 1964. Вып. 2. С.170-172.

Гвоздецкий Н.А. Карст. М.: Географгиз, 1954. 352 с.

Гвоздецкий Н.А. Карст. М.: Мысль, 1981. 216 с.

Гвоздецкий Н.А. Проблемы изучения карста и практика. М.: Мысль, 1972. 292 с.

Гидрология СССР. Урал. М.: Недра, 1972. Т XIV. 648 с.

Голубева Л.В. О плотности карстовых воронок в различных геоморфологических условиях // Докл. Акад. наук СССР. Т.90, N1. М, 1953. С.79-81.

Горбунова К.А. История изучения карстовых пещер Пермской области. 1703-1917 гг. // Пещеры. 1961. Вып.1. С.11-34.

Горбунова К.А. Карст гипса СССР. Пермь, 1977. 83 с.

Горбунова К.А. Карст приустьевой части р.Чусовой // Учен. зап. Перм. ун-та. 1956. Т.10, вып.2. С.59-70.

Горбунова К.А. Карстование: Вопросы типологии и морфологии карста. Пермь, 1985. 38 с.

Горбунова К.А. Карстово-эрозионные долины Усвинского района Кизеловского каменноугольного бассейна // Учен. зап. Перм. ун-та. 1955. Т.9, вып.1. С.85-100.

- Горбунова К.А. Карстовые озера окрестностей д.Дикое Озеро // География Пермской области. Пермь, 1962. Вып.1. С.123-128.
- Горбунова К.А. Опыт изучения плотности карстовых форм // География Пермской области. Пермь, 1966. Вып.3. С.133-142.
- Горбунова К.А. Типы карста и факторы карстообразования на примере карстовых районов Пермской области // Зап. Перм. отд. Геогр. об-ва СССР. Пермь, 1960. №1. С.25-45.
- Горбунова К.А., Андрейчук В.Н., Костарев В.П., Максимович Н.Г. Карст и пещеры Пермской области. Пермь : Изд-во Перм. ун-та, 1992. 200 с.
- Горбунова К.А., Бутырина К.Г. Карстовые депрессии в гипсах Пермской области // Вопросы ландшафтоведения, геоморфологии и исторической географии: Учен. зап. Перм. ун-та. Пермь, 1970. № 230. С.38-42.
- Горбунова К.А., Бутырина К.Г. Прикладные вопросы изучения закарстованных ландшафтов Пермского Прикамья // Современное состояние теории ландшафтоведения. Пермь, 1974. С.49-51.
- Дорофеев Е.П., Лукин В.С. Карстовые муьды оседания в северной части Соликамской депрессии // Вопросы карстоведения. Пермь, 1969. С.105-107.
- Дубах А.Д. Лес как гидрологический фактор. М.: Гослесбумиздат, 1951. 160 с.
- Дублянский В.Н. Ведущие факторы раввития карста и балльная оценка его интенсивности // Инженерная геология. 1990. №2. С.52-58.
- Дублянский В.Н. Карстовые пещеры и шахты Горного Крыма. Л.: Наука, 1977. 186 с.
- Дублянский В.Н. Карстовые пещеры Среднего Приднестровья // Вопросы изучения карста Русской равнины. М., 1966. С.36-48.
- Дублянский В.Н., Кикнадзе Т.З. Гидрогеология карста альпийской складчатой области юга СССР. М.: Недра, 1984. 126 с.
- Зайцев И.К. Вопросы изучения карста СССР. Л.; М.:Госгеолтехиздат, 1940. 88 с.
- Иванов К.Е., Дублянский В.Н. Инженерная геология СССР. М.: Недра, 1978. Т.1. 527 с.
- Козменко А.С. Мелиорация водоносности карстовых районов

Центрально-Черноземной и Южной части Московской области. М.: Сельхозколхозиз, 1931. 46 с.

Кореневский С.М. Соляной карст как фактор образования некоторых долин Верхне-Тиссенской впадины // Тр. Всес. НИИ галургии. 1955 Вып.30. С.253-257.

Кореневский С.М. Соляной карст Верхне-Тиссенской впадины // Тех. докл. на совещ. по изучению карста. 1956. Вып.11. С.3-25.

Корина А.С. О карсте Ковровского плато // Землеведение. 1948. Т.11. С.237-242.

Костарев В.П. О количественных показателях карста и их использовании при инженерно-геологической оценке закарстованных территорий // Инж.-строит. изыскания. М., 1979. №1. С.29-36.

Костарев В.П., Абросимов Э.И., Акимова Н.Г., Барков А.Ф., Серебренникова В.Н. К оценке устойчивости территории с.Усть-Кишерть Пермской области // Инженерная геология Западного Урала. Пермь, 1982. С.24-25.

Костарев В.П., Димухаметов М.Ш., Малохов В.Е., Спешков Л.Н. Активизация карстопоявлений при строительстве магистральных газопроводов (МГП) // Геологическая среда и рациональное использование минеральных ресурсов Пермской области. Пермь, 1986. С.52-53.

Костарев В.П., Димухаметов М.Ш., Папирова В.Т. Элементы мониторинга и аварийные ситуации на линейных сооружениях в карстовых регионах Пермского Приуралья // Катастрофы и аварии на закарстованных территориях. Пермь, 1990. С.31-32.

Котлов Ф.В. Антропогенный карст. Новости карстоведения и спелеологии // Докл. АН СССР. 1963. №3. С.40-41.

Котлов Ф.В. Антропогенные геологические процессы и явления на территории города. М.: Наука, 1977. 170 с.

Котлов Ф.В. Изменение геологической среды под влиянием деятельности человека. М.: Недра, 1978. 262 с.

Кротова Е.А. История изучения пещер и карста Пермской области (1956-1964 гг.) // Пещеры. Пермь, 1966. Вып.6 (7). С.147-165.

Кузнецова Л.С. Кизеловская Медвежья пещера // Пещеры. Пермь, 1965. Вып.5 (6). С.44-52.

Кузнецова Л.С. Некоторые особенности образования по-

лей карстовых воронок в Кизеловском районе // Записки Пермского отдела Географ. общ. СССР. Пермь, 1960. Вып.1. С.145-148.

Лосев А.С., Назаров Н.Н., Круже М.Е. Наблюдение провала на шахтном поле БКРУ-3 // Охрана геологической среды в связи с народохозяйственным освоением Прикамья. Пермь, 1990. С.45.

Лукин В.С. Вопросы эволюции ландшафтов карстовых областей Пермского Предуралья // Современное состояние теории ландшафтоведения. Пермь, 1974. С.52-54.

Лукин В.С. Карст в карбонатно-сульфатных толщах платформенной части Пермского Предуралья // Карст и гидрогеология Предуралья. Свердловск, 1979. С.8-15.

Лукин В.С. Карстовые рвы в районах развития сульфатного карста // Гидрология и карстование. Пермь, 1966. Вып.3. С.86-89.

Лукин В.С., Дорофеев Е.П. Карстовые провалы на автомобильных дорогах Предуралья // Инженерная геология Западного Урала. Пермь, 1982. С.63-64.

Лукин В.С., Ежов Ю.А. Карст и строительство в районе города Кунгура. Пермь, 1975. 167 с.

Лукин В.С., Ковалев В.Ф. Особенности литогенеза в области сульфатоносных отложений Предуралья // Тр. Ин-та геологии УФАН СССР. 1965. Вып.76. С.319-338.

Лыкошин А.Г., Соколов Д.С. Развитие карста в юго-западной части Уфимского плато // Булл. МОИП. 1954. Т. XXIX, №1. С.35-47.

Максимович Г.А. Карст восточной окраины Русской равнины // Вопросы изучения карста Русской равнины. М., 1966. С.32-39.

Максимович Г.А. Опыт геоморфологического районирования Пермской области // Зап. Перм. отд. Геогр. об-ва СССР. Пермь, 1960. С.5-23.

Максимович Г.А. Основы карстования. Пермь, 1963. Т.1. 530 с.

Максимович Г.А. Основы карстования. Пермь, 1969. Т.2. 529 с.

Максимович Г.А., Голубева Л.В. Генетические типы карстовых воронок // Доклады Академии наук СССР. 1952. Т.87, №4. С.653-655.

Максимович Г.А., Горбунова К.А. Карст Пермской области. Пермь, 1958. 183 с.

Максимович Г.А., Горбунов В.А. Типы карста Урала // Типы карста в СССР. М.: Наука, 1966. С.1-11.

Максимович Г.А., Костарев Н.И. Карстовые районы Урала и Приуралья // Вопросы географии Урала. Пермь, 1973. Вып.1. С.166-177.

Математическое обеспечение ЕО ЭММ. Минск: Изд-во АН ВССР, 1980. 175 с.

Миллер Н.С. Карст в меловых отложениях Вриной области // Тез. докл. на сов. по изуч. карста. М., 1966. Вып.2. С.1-10.

Мусин А.Г. Карст и ландшафтные особенности закарстованных территорий. Грозный, 1979. 96 с.

Назаров Н.Н. Карст Пермской области: распространение, пораженность, методы изучения, районирование // Вклад молодых специалистов ПГО "Уралгеология" в расширение минерально-сырьевой базы Урала в XI пятилетке. Свердловск, 1985. С.19-21.

Назаров Н.Н. Роль природных и антропогенных условий в развитии овражной эрозии Пермского Предуралья: Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. Ленинград, 1989. 19 с.

Назаров Н.Н. Экзогенные, геологические процессы Пермского Урала и Предуралья // Физико-геогр. основы развития и размещения производ. сил Нечерноземного Урала. Пермь, 1987. С.91-103.

Назаров Н.Н., Бутырина К.Г. Картирование карста с использованием дистанционных методов // Методика изучения карста. Пермь, 1985. С.21-22.

Николаев Н.И. Об эволюционном развитии карстовых форм и значении структурно-тектонического фактора // Советская геология. 1946. N10. С.5-17.

Овчинников А.М. К методике изучения трещиноватости // Разведка недр, 1938. N4-5. С.78-103.

Орлянкин С.М. Геология, гидрология и соленосность Колво-Вишерской водораздельной области и граничащих с ней участков // Зап. Всерос. минер. об-ва. 1941. Ч.70, вып.1. С.47-51.

Панарина Г.Н. История изучения пещер Пермской области (1965-1970 гг.) // Пещеры. Пермь, 1971. Вып.10-11. С.164-180.

Пашканг К.В. Карст бассейна реки Зуши // Уч. зап. Моск. пед. ин-та. Сер. географ. 1958. Т.70, вып.3. С.28-33.

Печеркин И.А. Геодинамика побережий камских водохранилищ. Пермь, 1969. Т.2. 308 с.

- Пещеры Урала и Приуралья. Пермь, 1992. 76 с.
- П о п о в И.В. Инженерная геология СССР. М.: Недра, 1971. Т. IV. 246 с.
- П о п о в И.В., Ч и к и ш е в А.Г. Основные закономерности распространения карста Урала // Землеведение. 1971. Т.9 (49). С.24-38.
- П о с л а в с к а я О.Ю. Особенности карстообразования в некоторых пустынных и полупустынных районах Средней Азии // Тр. Среднеазиатск. ун-та. Ташкент, 1954. Вып.50, кн.5. С.163-177.
- Рекомендации по проведению инженерно-геологических изысканий карстовых областей Черноморского побережья СССР. М.: Стройиздат, 1986. 62 с.
- С а в а р е н с к и й Ф.П. Гидрогеология. М.: Горгеоиздат, 1933. 319 с.
- С о к о л о в Д.С. Основные условия развития карста // Бюлл. Моск. об-ва испыт. прир. 1951. Т.26, вып.2. С.25-49.
- С о к о л о в Д.С. Основные условия развития карста. М.: Госгеолтехиздат, 1962. 322 с.
- С о к о л о в Д.С. Условия фильтрации через закарстованные известняки Белорецкого водохранилища // Карстование. Пермь, 1948. N 4. С.15-22.
- С о к о л о в а В.М. Карст долины реки Пьяны // Уч. зап. Моск. пед. ин-та. 1955. Т. XXXIX. С.17-25.
- С п и р и д о н о в А.И. Геоморфология Европейской части СССР. М.: Высшая школа, 1980. 343 с.
- С т у п и ш и н А.В. Равнинный карст и закономерности его развития на примере Среднего Поволжья. Казань, 1967. 120 с.
- Т а т а р и н о в К.А. Карстовые пещеры Среднего Преднепровья // Типы карста в СССР. М.: Наука, 1965. С.106-121.
- Типы карста в СССР // Тр. МОИП. М., 1965. 140 с.
- Т к а л и ч С.П. Карст Уфа-Бельского междуречья // Тез. докл. на совещ. по изуч. карста. М., 1957. Вып.16. С.1-17.
- Урал и Предуралье. М.: Наука, 1968. 461 с.
- Х о д ь к о в А.Е. К истории гидрогеологического изучения Верхне-Камского месторождения // Тр. Всес. науч.-исслед. ин-та галуэргии. Л., 1955. Вып.30. С.276-289.
- Х о д ь к о в А.Е. Об экзотических явлениях как следствии подзаемного выщелачивания галогенных пород // Тр. Всес. науч.-ис-

след. ин-та галургии. 1953. Вып.28. С.90-93.

Ч а з о в Б.А. Ландшафтная география Пермской области // Зап. Перм. отдела геогр. об-ва СССР. Пермь, 1960. С.91-114.

Ч и к и ш е в А.Г. Карст Русской равнины. М.: Наука, 1978. 191 с.

Ч и к и ш е в А.Г. Карст Среднего Урала и его народохозяйственное значение // Карст и его народохозяйственное значение. М.: Наука, 1964. С.5-32.

Ч и к и ш е в А.Г. Районирование подземных карстовых вод Урала // Землеведение. 1967. Т.7. С.128-141.

Ч и к и ш е в А.Г. Роль растительности в карстообразовании // Факторы и процессы ландшафтообразования. М.: Наука, 1986. С.10-11.

Ч и к и ш е в А.Г. Типы карста и географические ландшафты закарстованных территорий // Землеведение. 1985. Т.XVI. С.11-22.

Ш е п е т о в В.О., В о л о ш е н к о Э.Г., Е м е л ь я н о в Л.Ф., Р ы ж к о в А.Ф., Л о б а н о в Ю.Е. Крупная пещера на Южном Урале // Пещеры. Пермь, 1965. Вып. 5(6). С.64-68.

Ш и м а н о в с к и й Л.А. Изучение карста при мелкомасштабных гидрогеологических съемках на примере Уфимского плато и прилегающих территорий // Методика изучения карста. Пермь, 1963. Вып.6. С.26-43.

Ш к л я е в А.С., Б а л к о в В.А. Климат Пермской области. Пермь: Перм. изд-во, 1963. 192 с.

Я к у ч Л. Морфогенез карстовых областей. М.: Прогресс, 1979. 388 с.

B i e s e W. Uber Hohlenbildung: Entstehung der Gipshohlen am sublichen Harzrand und am Kyffhauser. Abh.Preuss. Geol.Landesanst. Berlin, 1931.

B i r d P. Problemes de mophologie Karstigue Ann. Geogr. V. LXI-II. 1954.

B u l l a B. Altalanos termeszeti foldrajz // Tankonyvkiado. Budapest, 1954 a. Vol. 11.

B u l l a B. Atermeszeti foldrajz uj utjai // Hidrologiai Kozlong. Budapest, 1950.

B u l l a B. Klimatikus morfológia területi rendszere // MTA Tarsadalm - es Tortenettudományi Osztály Kozlemenyei. Budapest, 1954 b. N 1-4.

F u l d a E. Die Verbreitung und Eutsehung und der Schlotten



in Mansfelder Mulde. Thesis, Preuss. Geol. Landesanstalt. 1912.

Gerstenhauer A., Preffer D. Beiträge zur Frage der Lösungsfreudigkeit vor Kalkgesteinen // Abh. zur Karst- u. Höhlenkunde. München, 1966. Heft 2.

Gvozdeckij N.A. Types of karst in the U.S.S.R // Probl. of the spelaeocarch. Prague, 1965.

Kemmerly P.R., Towse S.K. Karst depressional time context // Earth Surf. Process. 1978. Vol. 3, N4. P.355-361.

Kosaek H.P. Die Verbreitung der Karst und Pseudokarst-tcheinungen über die Erde. Petermanns Geogr. Mitteil. 96 Jg. 1952. N 1.

Lehmann H. Der Kegelkarst auf den Grossen Antillen // Die Erde. Berlin, 1948. N 2.

Lehmann H. Der tropische Kegelkarst auf den Grossen Antillen // Erdkunde. Bonn, 1954. Bd. VIII.

Lehmann H. Der Einfluss des Klimas auf die morphologische Entwicklung des Karstes. Rep. of Karst Phenomena. Int. Geographical Society. New York, 1956.

Mazuel E.A. L'évolution souterraine. Paris, 1908.

Quinlan J.F. Classification of Karst and pseudokarst types: a review and synthesis emphasizing the North American literature, 1941-1966. Paper, 123rd Meeting of Amer. Assoc. Adv. Sci., Sympos. on 25. Years of Amer. Spel. 1966.

Sweeting M.M. Karst land forms. London and Basingstoke, 1972.

Szabo P.Z. Magyarországi karstformák klimatorténeti vonatkozásai. Ibid., Pécs. 1956.

Szabo P.Z. A karszt, mint klimatikus morfológiai probléma. Ibid., Pécs. 1957.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ.....	3
ГЛАВА 1. НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ОБЩЕГО И РЕГИОНАЛЬНОГО КАРСТОВЕДЕНИЯ.....	5
Краткая история изучения карста Пермского Предуралья и Урала.....	5
Карстовые формы.....	6
Природные и антропогенные факторы развития карста.....	8
Вопросы классификации карста.....	19
ГЛАВА 2. РАЙОНИРОВАНИЕ КАРСТА ПЕРМСКОГО ПРЕДУРАЛЬЯ И УРАЛА.....	22
ГЛАВА 3. ТЕРРИТОРИАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ КАРСТООБРАЗОВАНИЯ.....	31
ГЛАВА 4. РАЗВИТИЕ КАРСТА В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ. ДИНАМИКА ПРОЦЕССА.....	56
ГЛАВА 5. АНАЛИЗ СВЯЗИ ИНТЕНСИВНОСТИ КАРСТООБРАЗОВАНИЯ С ПРИРОДНЫМИ И АНТРОПОГЕННЫМИ ФАКТОРАМИ.....	64
Изучение взаимосвязи природных условий развития карста в Подлазвинско-Шалашином районе.....	64
Изучение взаимосвязи развития карста и его природных условий в Нижнесылвинском, Кунгуро-Иренском и Кишертско-Суксуинском районах.....	69
Влияние карста на рельеф.....	75
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК .....	85

Николай Николаевич Назаров  
Карст Прикамья: Физико-географические (геоморфологические) аспекты: Учебное пособие

Редактор Л. В. Хлебникова  
Технический редактор Г. А. Ковальчук  
Корректор М. И. Андреева

ИБ N 86

Лицензия ЛР N 020408 от 12.02.92

Подписано в печать 05.01.96. Формат 60 x 84 1/16. Бум. тип 3.  
Печать офсетная. Усл. печ. л. 5,58. Уч. - изд. л. 5,5. Тираж 500 экз.  
Заказ 301. С 1

Издательство Пермского университета  
614600. Пермь, ул. Букирева, 15

Типография Пермского университета  
614600. Пермь, ул. Букирева, 15

